

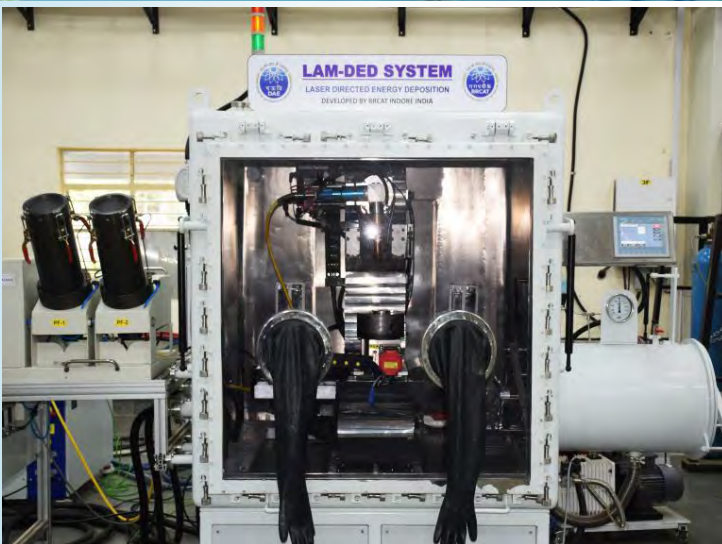
भारत सरकार / Government of India
परमाणु ऊर्जा विभाग / Department of Atomic Energy

राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केन्द्र, इंदौर

**Raja Ramanna Centre for Advanced Technology,
Indore**



वार्षिक प्रतिवेदन 2023-24
Annual Report 2023-24



राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केन्द्र, इंदौर
Raja Ramanna Centre for Advanced Technology, Indore

वार्षिक प्रतिवेदन 2023-24
Annual Report 2023-24

| | विषय सूची Contents | पृ.क्र. Page No. |
|---|--|---------------------|
| | कार्यकारी सारांश / Executive Summary | 1 - 4 |
| | विवरणात्मक भाग / Descriptive Part | 5 - 66 |
| A | प्रगत प्रौद्योगिकियां, विकिरण प्रौद्योगिकियां और उनके अनुप्रयोग / Adv tech, Radiation tech and their applications | 5 - 33 |
| B | बुनियादी अनुप्रयोग / Basic and Applied research | 34 - 52 |
| C | प्रौद्योगिकी हस्तांतरण और सहयोगात्मक अनुसंधान / Technology transfer and collaborative research | 53 - 56 |
| D | सूचना प्रौद्योगिकी अनुप्रयोग विकास / Information Technology Application Development | 57 |
| E | जनसम्पर्क गतिविधियां / Public Outreach Activities | 58 - 59 |
| F | अवसंरचना / Infrastructure | 60 - 61 |
| G | अन्य गतिविधियां / Other Activities | 62 - 66 |

वार्षिक प्रतिवेदन 2023-24 Annual Report 2023-24

कार्यकारी सारांश

राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केन्द्र (राराप्रप्रौके), इंदौर लेसर, कण त्वरक और संबंधित प्रौद्योगिकियों के अनुसंधान, विकास और अनुप्रयोगों के क्षेत्र में काम करने वाला प्रमुख केंद्र है।

450 MeV इंडस-1 और 2.5 GeV इंडस-2 इलेक्ट्रॉन सिंक्रोट्रॉन एक राष्ट्रीय अनुसंधान सुविधा के रूप में संचालित होते हैं। वर्तमान में इंडस-1 में 7 बीम लाइनें और इंडस-2 में 18 बीम लाइनें चालू हैं। उपयोगकर्ताओं के लिए सिंक्रोट्रॉन विकिरण किरण की उपलब्धता इंडस-1 में 22 घंटे/दिन और इंडस-2 में 17 घंटे/दिन रही है। 140 से अधिक शोध प्रकाशनों के साथ लगभग 1000 उपयोगकर्ता प्रयोग किए गए हैं।

इंडस-1 के उन्नयन अंतर्गत मल्टी-फंक्शन चुंबक बिजली आपूर्ति पावर कन्वर्टर, वैक्यूम सिस्टम और डायग्नोस्टिक सिस्टम के संबंध में गतिविधियां चल रही हैं।

15 किलोवाट औसत शक्ति के इलेक्ट्रॉन लिनाक के लिए एक स्थिर प्रवण प्रगामी दैर्घ्य (टीडब्ल्यू) इलेक्ट्रॉन त्वरणी संरचना को डिजाइन और विकसित किया गया है। लिनाक के लिए एक क्लिस्ट्रॉन एम्पलीफायर आधारित सुगढ़ स्पंदित माइक्रोवेव प्रणाली विकसित की गई है।

एआरपीएफ स्थित इलेक्ट्रॉन लिनैक द्वारा 1.9 मिलियन चिकित्सा उपकरणों को विकिरित किया गया है। इस सुविधा का उपयोग कीमती रत्नों के रंग संशोधन के लिए भी उद्योगों द्वारा किया गया है।

Executive Summary

Raja Ramanna Centre for Advanced Technology (RRCAT), Indore is premier centre working in the areas of Research, Development and applications of lasers, particle accelerators and associated technologies.

The 450 MeV Indus-1 and 2.5 GeV Indus-2 electron synchrotrons are operated as a national research facility. At present 7 beam lines in Indus-1 and 18 beam lines in Indus-2 are operational. The availability of synchrotron radiation beam for users has been 22 hours/day in Indus-1 and 17 hours/day in Indus-2. Around 1000 user experiments have been carried out with more than 140 research publications.

Upgradation activities for Indus-1 have been taken up with respect to power converters for multi-function magnet power supplies, vacuum systems and diagnostic systems.

A Constant Gradient (CG) type traveling wave (TW) electron accelerating structure has been designed and developed for electron linac rated for 15 kW average power. A klystron amplifier based compact pulsed microwave system has been developed for the linac.

The electron linac facility is used for irradiating 1.9 million medical devices for Industry. The facility is also used for colour modification of precious gem stones by the industry.

राराप्रप्रौके में अनुसंधान में अपनाई जाने वाली मानक प्रसंस्करण तकनीक में शामिल करने हेतु एक उच्च β सिंगल-सेल सुपरकंडक्टिंग रेडियो फ्रीक्वेंसी कैविटी (HB92-RRCAT-104) को सफलतापूर्वक नाइट्रोजन डोप किया गया।

5-सेल कैविटी ड्रेसिंग प्रक्रिया पूरी हो गई है, जिसमें हीलियम वेसल, बेलो और एडॉप्टर रिंग जैसे घटकों को अनावृत कैविटी में एकीकृत किया गया है।

एल्यूमीनियम बॉडी से बना 20 लीटर/सेकंड क्षमता का एक प्रोटोटाइप स्पटर आयन पंप (एसआईपी) विकसित किया गया है। स्टेनलेस-स्टील के बजाय एल्यूमीनियम का उपयोग करने के फायदे हैं: न्यून भार, न्यून गैस निष्क्रमण दर तथा निम्न प्रेरित रेडियोधर्मिता (न्यून जेड पदार्थ)।

2 किलोवाट ऑल-फाइबर Yb-doped CW लेजर का विकास किया गया है। पदार्थ प्रसंस्करण समाबंधी अनुप्रयोगों के लिए लेसर आउटपुट को 20 मीटर लंबे क्वार्ट्ज ब्लॉक होल्डर (क्यूबीएच) डिलीवरी फाइबर ऑप्टिक केबल के माध्यम से पहुंचाया गया है।

मास्टर ऑसिलेटर पावर एम्पलीफायर (एमओपीए) कॉन्फिगरेशन का उपयोग करके 100 वाट औसत शक्ति Yb-डोप्ड Q-स्विचड फाइबर लेसर का विकास किया गया है। इस लेसर का उपयोग धातु सतहों की सफाई के लिए किया जाएगा।

एफएफ, तारापुर में उत्पादन लाइन में पीएफबीआर ईंधन पिन की वेल्डिंग के लिए फाइबर युग्मित स्पंदित Nd:YAG लेसर प्रणाली विकसित और तैनात की गई है।

तारापुर परमाणु ऊर्जा केंद्र में रीसर्क्युलेशन लूप पाइपों को काटने के लिए एक लेसर आधारित प्रणाली विकसित की है। प्रयुक्त लेसर 1 किलोवाट औसत शक्ति का फाइबर

A high β single-cell superconducting radio frequency cavity (HB92-RRCAT-104) was successfully nitrogen doped as a part of R&D efforts to induct this processing technique in the standard procedures followed at RRCAT.

The 5-cell cavity dressing process has been completed involving the integration of components, such as the helium vessel, bellow, and adopter ring, into the bare cavity.

A prototype sputter ion pump (SIP) of 20 l/s capacity made of Aluminium body has been developed in-house. The advantages of using aluminum body instead of stainless-steel body are: light weight, low out-gassing rate and low induced radioactivity (low Z material).

Development of 2 kW all-fiber Yb-doped CW laser has been completed. Laser output has been delivered through a 20 m long quartz block holder (QBH) delivery fiber optic cable for material processing applications.

Development of 100 W average power Yb-doped Q-switched fiber laser has been carried out using master oscillator power amplifier (MOPA) configuration. This laser will be utilized for cleaning of metal surfaces.

Fiber coupled pulsed Nd:YAG laser system has been developed and deployed for FF, Tarapur for welding of PFBR fuel pins in production line.

RRCAT developed a laser based system for cutting of recirculation loop pipes at TAPS, Tarapur. The laser used is 1 kW average power fiber coupled pulsed Nd:YAG laser developed in-house.

युग्मित स्पंदित Nd:YAG लेसर है जिसे संस्थान में ही विकसित किया गया है।

राजस्थान परमाणु ऊर्जा केंद्र-3 में, राराप्रप्रौके द्वारा विकसित लेसर आधारित प्रणाली का उपयोग करके एन-मास कूलेंट चैनल रिप्लेसमेंट (ईएमसीसीआर) ऑपरेशन के दौरान सभी 612 बेलो लिप वेल्ड जोड़ों की इन-सीटू कटिंग सफलतापूर्वक की गई

लेसर एडिटिव विनिर्माण अनुप्रयोगों के लिए 10 किलोवाट फाइबर लेसर आधारित डायरेक्टेड एनर्जी डिपोजिशन (डीईडी) प्रणाली विकसित की गई है। इसी प्रकार हीटिंग बिल्ड प्लेट के साथ नियंत्रित वातावरण के उपयुक्त 500 W लेसर आधारित पाउडर बेड फ्यूजन (एलपीबीएफ) प्रणाली विकसित की गई है।

एक पराद्रुत फाइबर मैमिशेव ऑसिलेटर (एमओ) विकसित किया गया है जो नियंत्रणीय विविध स्पंदाकार की स्थिर अत्यल्प स्पंदावलि उत्पन्न करता है।

त्रिकोणीय मोड क्लीनर कैविटी का डिज़ाइन और विकास पूरा हो चुका है। इस गुहा का प्राथमिक कार्य राराप्रप्रौके में विकसित किए जा रहे 10 मी के व्यतिकरण मापी में संचरण से पहले लेसर प्रकाश की विधा गुणता को बढ़ाना है। इस इंटरफेरोमीटर को LIGO-भारत परियोजना के लिए एक प्रशिक्षण सुविधा के रूप में विकसित किया जा रहा है।

राराप्रप्रौके द्वारा निम्न ऊर्जा प्रायोगिक अध्ययन के लिए एक CO₂ लेसर आधारित प्रणाली विकसित और वीएसएससी, इसरो तिरुवनंतपुरम में स्थापित की है। सेमीकंडक्टर क्वांटम संरचनाओं के विकास के लिए नाइट्राइड आण्विक बीम एपिटैक्सी (एमबीई) की सुविधा स्थापित की गई है।

एक निम्न-ताप फूरियर ट्रांसफॉर्म इंफ्रारेड (एफटीआईआर) स्पेक्ट्रोस्कोपी प्रणाली ऐसे अर्धचालक पदार्थ जिनकी

In RAPS-3, the in-situ cutting of all the 612 bellow lip weld joints was carried out successfully during the En-masse Coolant Channel Replacement (EMCCR) operation using RRCAT developed laser based system.

A 10-kW fiber laser based Directed Energy Deposition (DED) System has been developed for laser additive manufacturing applications. Similarly, a 500 W Laser based Powder Bed Fusion (LPBF) system with the controlled atmosphere and heating build plate has been developed.

An ultrafast fiber Mamyshev oscillator (MO) has been developed generating stable train of ultrashort pulses with controllable diverse pulse patterns.

Design and Development of a triangular mode cleaner cavity has been completed. The primary function of this cavity is to enhance the mode quality of the laser light before its transmission into the 10 m interferometer being developed at RRCAT. This interferometer is being developed as a training facility for LIGO-India project.

RRCAT developed and installed a CO₂ Laser based system at VSSC, ISRO Thiruvananthapuram for low power experimental studies.

A facility for nitride molecular beam epitaxy (MBE) has been established for development of semiconductor quantum structures.

A low temperature Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy system has been made for to

ऑप्टिकल/कंपन संक्रमण ऊर्जा इंफ्रारेड (आईआर) क्षेत्र में आती है, उनको चरित्रांकित करने के लिए बनाई गई है।

मेसर्स टाटा मोटर्स लिमिटेड द्वारा तरल नाइट्रोजन कूलिंग तकनीक 'शिवाय' पर आधारित रेफ्रिजरेटेड ट्रक (रीफर) का शीतलन प्रभावकारिता के लिए परीक्षण किया गया। यह उत्पाद राराप्रप्रौके की इनक्यूबेशन गतिविधियों के तहत विकसित किया जा रहा है।

AIC π -हब RRCAT को लेसर आधारित मेटल एडिटिव मैनुफैक्चरिंग के इनक्यूबेशन के माध्यम से एडिटिव मैनुफैक्चरिंग तकनीक के स्वदेशीकरण की दिशा में किए गए प्रयासों के लिए भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान बॉम्बे में आयोजित एक सम्मेलन में 'इनक्यूबेशन सेंटर ऑफ द ईयर' पुरस्कार से सम्मानित किया गया।

AIC π -Hub RRCAT और लोकेश मशीन टूल्स हैदराबाद द्वारा सह-विकसित मेटल 3D प्रिंटिंग मशीन को AMTECH-2023 के दौरान लॉन्च किया गया।

'10 वें भोपाल विज्ञान मेला एवं आरोग्य एक्सपो 2023' में राराप्रप्रौके की प्रदर्शनी को भारत सरकार के संस्थानों के लिए विज्ञान मंडप श्रेणी में 'प्रथम' पुरस्कार से सम्मानित किया गया।

स्वच्छ सर्वेक्षण 2023 के तहत इंदौर स्वच्छ वार्ड रैंकिंग में राराप्रप्रौके को सबसे स्वच्छ कॉलोनी का पुरस्कार मिला है।

characterizing the semiconductor materials whose optical/vibrational transition energy falls in the infrared (IR) region.

Refrigerated truck (reefer) developed by M/s Tata Motors Ltd based on liquid nitrogen cooling technology 'SHIVAY' is tested for its cooling efficacy performance. This product is being developed under incubation activities of RRCAT.

AIC π -Hub RRCAT has been conferred with 'Incubation Centre of the year' award in a conference held at Indian Institute of Technology Bombay for the efforts towards the indigenization of additive manufacturing technology through incubation of Laser based Metal Additive Manufacturing.

Metal 3D Printing Machine co-developed by AIC π -Hub RRCAT and Lokesh Machine Tools Hyderabad has been launched during AMTECH-2023.

In the '10th Bhopal Vigyan Mela & Arogya Expo 2023' the exhibition by RRCAT was awarded the 'First' position in the Vigyan Pavilion Prize category for Government of India Institutions.

RRCAT has bagged cleanest Colony award in Indore Swachh Ward ranking under Swachh Survekshan 2023 conducted by Indore Municipal Corporation.

विवरणात्मक भाग

Descriptive Part

राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केन्द्र (राराप्रप्रौके), इंदौर लेसर, कण त्वरक और संबंधित प्रौद्योगिकियों के अनुसंधान और विकास तथा अनुप्रयोगों के लिए एक प्रमुख केन्द्र है। वर्ष 2023-24 के लिए वार्षिक रिपोर्ट नीचे दी गई है:

A. प्रगत प्रौद्योगिकियां, विकिरण

प्रौद्योगिकियां और उनके अनुप्रयोग:

A.1. इंडस-1 संयुक्त फंक्शन मल्टीपोल मैग्नेट के लिए पावर कन्वर्टर का विकास:

इंडस-1 सिंक्रोट्रॉन विकिरण स्रोत में, बंद-कक्षा विरूपण सुधार के लिए आठ संयुक्त फंक्शन मल्टीपोल मैग्नेट का एक सेट स्थापित किया जा रहा है। प्रत्येक चुंबक चार चुंबकीय क्षेत्र घटक उत्पन्न करेगा, अर्थात्, सेक्सटुपोल, स्क्यू क्वाड्रुपोल, और ऊर्ध्वाधर / क्षैतिज द्विध्रुव। तिरछा क्वाड्रुपोल और ऊर्ध्वाधर/क्षैतिज द्विध्रुवीय घटकों के लिए कॉइल्स को सक्रिय करने के लिए, ± 12 A, ± 7 V के उच्च-स्थिरता, करंट-आउटपुट नियंत्रित द्विध्रुवीय शक्ति के 24 कन्वर्टर विकसित किये गये हैं। सेक्सटुपोल कॉइल्स के दो श्रृंखला सर्किटों को सक्रिय करने के लिए अधिकतम आउटपुट रेटिंग 125 A / 25 V और ± 100 PPM की आउटपुट स्थिरता के दो एकध्रुवीय पावर कन्वर्टर भी विकसित किये गये हैं। विकसित 26 पावर कन्वर्टर की स्थापना और कमीशनिंग पूर्ण की गयी।

Raja Ramanna Centre for Advanced Technology (RRCAT), Indore is a premier centre for Research & Development and applications of lasers, particle accelerators and associated technologies. Annual Report for the year 2023-24 is given below:

A. Advanced technologies, Radiation technologies and their applications:

A.1. Development of power converters for Indus-1 combined function multipole magnets:

In Indus-1 synchrotron radiation source, a set of eight combined function multipole magnets are being installed to facilitate Closed-Orbit Distortion (COD) correction. Each magnet will generate four magnetic field components, namely, sextupole, skew quadrupole, and vertical/horizontal dipole respectively. To energize the coils for skew quadrupole and vertical/horizontal dipole components, 24 Nos of high-stability, output-current controlled bipolar power converters rated for ± 12 A, ± 7 V have been developed. Two unipolar power converters of maximum output rating 125 A/25 V and output current stability of ± 100 ppm have also been developed to energize the two series circuits of sextupole coils. Installation and commissioning of the developed 26 power converter has been completed.



चित्र A.1: इंडस-1 संयुक्त फंक्शन मल्टीपोल मैग्नेट पावर कन्वर्टर

Fig. A.1: Indus-1 combined function multipole magnet power converters

A.2. इंडस-1 में ट्यून मापन के लिए स्ट्रिप लाइन किकर और पिकअप का विकास:

इंडस-1 में मौजूदा बीटाट्रॉन ट्यून मेजरमेंट सिस्टम (BTMS) आरएफ नॉकआउट विधि पर आधारित है, जो प्रकृति में ध्वंसात्मक है। इसलिए, इंडस-1 में ऑनलाइन ट्यून मापन के लिए एक उन्नत BTMS विकसित किया गया है। उन्नत BTMS का प्राथमिक उद्देश्य सटीक माप हेतु बीम में नियंत्रित बीटाट्रॉन दोलनों को प्रेरित करने के लिए एक स्ट्रिप लाइन किकर और पिक-अप इंडस-1 को डिजाइन, निर्माण और एकीकृत करना था (चित्र A.2)। इंडस-1 की आरएफ आवृत्ति 31.6 MHz है। BTMS को चौथे हार्मोनिक यानी 126.4 MHz पर संचालित करने के लिए डिज़ाइन किया गया है यांत्रिक डिजाइन में 50 Ω की विशिष्ट प्रतिबाधा सुनिश्चित करने के लिए ज्यामिति, आयाम और सामग्री चयन शामिल है। उन्नत स्ट्रिपलाइन किकर और पिकअप को बीटाट्रॉन ट्यून मापन प्रणाली के लिए इंडस-1 में स्थापित और कमीशन किया गया है।

A.2. Development of Strip line Kicker and Pickup for tune measurement in Indus-1:

The betatron tune measurement system (BTMS) in existing Indus-1 is based on RF knockout method, which is destructive in nature. Therefore, an upgraded BTMS has been developed for online measurement of tune in Indus-1. The primary objective of upgraded BTMS was to design, fabricate, and integrate a strip line kicker and Pickup in Indus-1 to induce controlled betatron oscillations in the beam for accurate tune measurement (Fig.A.2). RF frequency of Indus-1 is 31.6 MHz. The BTMS is designed to operate at 4th harmonic i.e. 126.4 MHz The mechanical design encompasses the geometry, dimensions, and material selection to ensure the characteristic impedance of 50 Ω .

Upgraded stripline kicker and pickup are installed and commissioned in Indus-1 for betatron tune measurement system.



चित्र A.2: इंडस-1 के लिए स्ट्रिप लाइन किकर

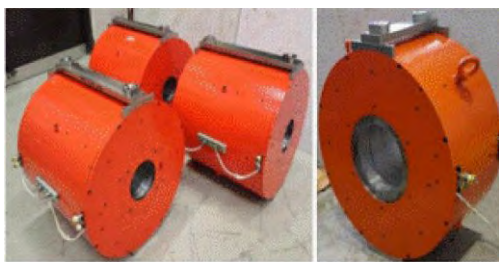
Fig.A.2: Strip line Kicker for Indus-1

A.3. एल्यूमीनियम पट्टी का उपयोग करके सोलनॉइड का डिजाइन और विकास:

सोलनॉइड का उपयोग औद्योगिक इलेक्ट्रॉन लिनैक्स में न्यून से उच्च ऊर्जा तक त्वरित इलेक्ट्रॉन बीम में फोकस करने के लिए किया जाता है। पूर्व में, ये सोलनॉइड आयातित ऑक्सीजन मुक्त तांबे के जल-शीतित खोखले सुचालक से बने थे। उच्च शक्ति अपव्यय के कारण इन तांबे के सोलनॉइड की प्रचालन लागत अधिक है। राराप्रौके में चौड़ी एनोडाइज्ड एल्यूमीनियम पतली स्ट्रिप्स का उपयोग करके कम शक्ति अपव्यय वाले किफायती सोलनॉइड का डिजाइन और विकास किया गया है। विकसित एल्यूमीनियम स्ट्रिप सोलनॉइड्स को हॉल सेंसर का उपयोग करके चुंबकीय रूप से चरित्रांकित किया गया है। इन एल्यूमीनियम सोलनॉइड्स का प्रदर्शन डिजाइन किए गए चुंबकीय क्षेत्र की आवश्यकताओं को पूरा करता है, जो लिनैक में इलेक्ट्रॉन बीम पर फोकस करने के लिए उपयुक्त है। एल्यूमीनियम पतली स्ट्रिप्स से बने सोलनॉइड का शक्ति अपव्यय खोखले तांबे सोलनॉइड का लगभग 1/5 वां हिस्सा है। इसके अलावा सामग्री सहित निर्माण लागत एल्यूमीनियम सोलनॉइड खोखले तांबे सोलनॉइड का लगभग आधा है।

A.3. Design and development of solenoids using aluminium strip:

Solenoids are used for focus in the electron beam when it is accelerated from low to high energy in the industrial electron linacs. In the past, these solenoids were made from imported oxygen-free hollow copper water-cooled conductors. The running cost of these copper solenoids is large due to their higher power dissipation. Recently, RRCAT has designed and developed cost-effective solenoids having low power dissipation using wide anodised aluminum thin strips. The developed aluminum strip solenoids have been magnetically characterised using a hall sensor. The performance of these aluminum solenoids satisfies the designed magnetic field requirements, suitable for focussing the electron beam in the linac. The power dissipation of solenoid made of aluminum thin strips is about 1/5th of that of the hollow copper solenoid. Also the fabrication cost aluminum solenoid with material is about half of that of hollow copper solenoid.

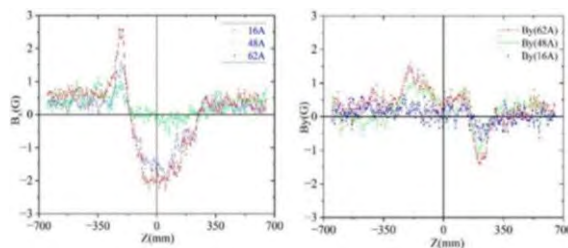


चित्र A.3(a): लिनेक के लिए एल्युमीनियम पट्टी का उपयोग करके विकसित सोलनॉइड

Fig.A.3(a): Developed solenoids using aluminium strip for linac.

A.4. स्थिर प्रवण प्रगामी तरंग त्वरण संरचना का डिजाइन और निरूपण:

औद्योगिक इलेक्ट्रॉन लिनेक के लिए राराप्रौके में 10 MeV, 2856 MHz स्थिर प्रवण (Constant Gradient) प्रगामी तरंग (Travelling wave) त्वरण संरचना डिजाइन और विकसित की गई है। यह एक डिस्क लोडेड आरएफ संरचना है, जहां सेल ज्यामिति को सटीक तरीके से परिवर्तित किया जाता है। जब इनपुट आरएफ-पावर संरचना के माध्यम से विचरण करता है, तो क्रमागत सेलों में त्वरण विद्युत क्षेत्र स्थिर रहता है। यह संरचना को पूर्व में विकसित स्थिर-प्रतिबाधा संरचना की तुलना में अधिक ऊर्जा दक्ष बनाता है। 58-सेल संरचना को डिजाइन करने के लिए त्रिआयामी विद्युत चुम्बकीय अनुरूपण किए गए। सभी घटकों को राराप्रौके कार्यशाला में तैयार किया गया, जो 10 μm से बेहतर सख्त सहायता की आवश्यकता को पूरा करते थे। एक इन-हाउस निर्मित बीड पुल सेट-अप (चित्र A.4(a)) का उपयोग करके ब्रेजिंग से पहले एकीकृत संरचना का आरएफ-निरूपण किया गया था, जहां क्षेत्र की गुणवत्ता + 5 डिग्री (चित्र A.4 (b)) से बेहतर, सेल-टू-सेल चरण में आयाम त्रुटि 6% से बेहतर है, और पोस्ट-ब्रेजिंग आरएफ ट्यूनिंग के दौरान इसमें और सुधार होगा। यह देश में



चित्र A.3(b): सोलनॉइड के केंद्रीय अक्ष पर विभिन्न धाराओं पर त्रुटि फ़ील्ड B_x (बाएं) और B_y (दाएं) सह फ़ील्ड प्रोफाइल
Fig.A.3(b): Field profile of error fields B_x (Left) and B_y (Right) on the central axis of solenoid along the length for different currents.

A.4. Design and characterization of a constant gradient type traveling wave accelerating structure:

A 10 MeV, 2856 MHz constant gradient (CG) type traveling wave (TW) structure has been designed and developed at RRCAT for industrial electron linac. It is a disk loaded RF structure, where the cell geometry is varied in a precisely calculated manner such that when the input RF power propagates through the structure, the accelerating electric field remains constant in consecutive cells. This makes the structure more efficient compared to earlier developed Constant Impedance type structure. Complete end-to-end 3-dimensional electromagnetic simulations were performed to design a 58-cell structure. All the components were fabricated at RRCAT workshop, meeting the strict tolerance requirements of better than 10 microns. RF characterization of the assembled structure was done before brazing, using an in-house built bead pull set-up (Fig.A.4(a)), where the field quality has been found to be acceptable with error in cell-to-cell phase better than + 5 degree (Fig.A.4(b)), and amplitude error better than 6%, which is quite good and will be improved further during post-brazing RF tuning. This is the first CG type TW

सफलतापूर्वक विकसित पहली CGTW संरचना है, और कई अनुप्रयोगों के लिए उपयोगी होगी।

कॉन्स्टेंट ग्रेडिएंट (सीजी) टाइप ट्रैवलिंग वेव (टीडब्ल्यू) एक्सेलेरेटिंग स्ट्रक्चर की ब्रेजिंग पूरी करने के बाद, सबसे पहले परीक्षण बेंच पर कम पीआरआर (1-2 हर्ट्ज) पर बीम परीक्षण प्रयोग किए गए। 15 किलोवाट की लक्षित बीम शक्ति हासिल की गई, और लिनाक-4 के भौतिकी डिजाइन को विभिन्न प्रयोगों के माध्यम से मान्य किया गया।



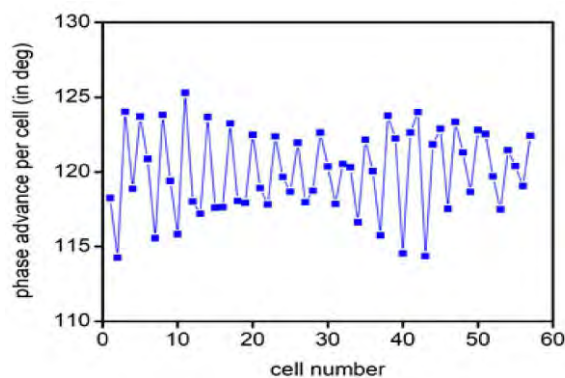
चित्र.A.4(a): विकिरण अनुप्रयोगों के लिए राराप्रौके में विकसित CGTW त्वरण संरचना का बीड-पुल परीक्षण।
Fig.A.4(a): Bead-pull test of the CG type TW accelerating structure developed at RRCAT for irradiation applications.

A.5. प्रोटॉन त्वरक के फ्रंट एंड टेस्ट स्टैंड के लिए निम्न-ऊर्जा बीम-ट्रांसपोर्ट लाइन (LEBT) का विकास:

उच्च ऊर्जा प्रोटॉन त्वरक के लिए इंजेक्टर प्रणाली के विकास की दिशा में, राराप्रौके में एक फ्रंट-एंड टेस्ट-स्टैंड विकसित किया जा रहा है। इसमें आयन स्रोत, LEBT, 3 MeV रेडियो फ्रीक्वेंसी क्वाड्रूपोल (RFQ) और एक बीम डंप शामिल हैं। आयन स्रोत से RFQ तक बीम के प्रसारण के लिए, एक कॉम्पैक्ट निम्न-ऊर्जा बीम-ट्रांसपोर्ट लाइन के भौतिकी और इंजीनियरिंग डिजाइन किए गए। सोलेनॉइड्स, वैक्यूम चैंबर, बीम डायग्नोस्टिक डिवाइस और आधार संरचना

structure successfully developed in the country, and will be useful for several applications.

After completing the brazing of the Constant Gradient (CG) type Traveling Wave (TW) accelerating structure, beam test experiments were first done at low PRR (1-2 Hz) on the test bench. The targeted beam power of 15 kW was achieved, and physics design of the Linac-4 was validated through various experiments.



चित्र.A.4(b): क्रमागत कोशिकाओं के साथ प्रति कोशिका चरण प्रगति में भिन्नता

Fig.A.4(b): Variation in phase advance per cell along the consecutive cells

A.5. Development of low energy Beam Transport Line for front end test stand of proton accelerator:

Towards development of injector system for high energy proton accelerator, a front end test stand is being developed at RRCAT, Indore. It consists of Ion Source, LEBT, 3 MeV RFQ and a Beam Dump. For transmission of beam from Ion source to Radio Frequency Quadrupole (RFQ) physics and engineering design of a compact Low Energy Beam Transport Line (LEBT) was carried out. Engineering design and fabrication of solenoids, vacuum chambers, beam diagnostic devices and

का इंजीनियरिंग डिजाइन और निर्माण किया गया। स्वदेशी रूप से विकसित आरएफ आधारित ऋणात्मक हाइड्रोजन आयन स्रोत को बीम परिवहन और निरूपण के लिए LEBT के साथ जोड़ा गया (चित्र A.5(a))। LEBT के केंद्र पर नैदानिक कक्ष में स्थापित बीम प्रोफाइल मॉनिटर पर बीम स्पॉट दर्ज किया गया (चित्र A.5(b))। बीम प्रोफाइल और करंट का प्रारंभिक निरूपण 350 A तक विभिन्न सोलनॉइड करंट द्वारा किया गया था।

प्रभावी किरण संचरण के लिए, एलईबीटी के ऑपरेटिंग मापदंडों को हाइड्रोजन गैस प्रवाह दर, सोलनॉइड और स्टीयरिंग चुंबक करंट जैसे मापदंडों के लिए अनुकूलित किया गया था। बीम उत्सर्जन को एक्स और वाई अक्ष में पेपर पॉट उत्सर्जन मॉनिटर पर तीव्रता प्रोफाइल का उपयोग करके मापा गया था। आयन स्रोत आउटलेट पर मापा गया असामान्य आरएमएस उत्सर्जन लगभग 24.23 π मिमी-एमआरएडी था।



चित्रA.5(a): LEBT के साथ युग्मित। RFआधारित ऋणात्मक हाइड्रोजन आयन स्रोत

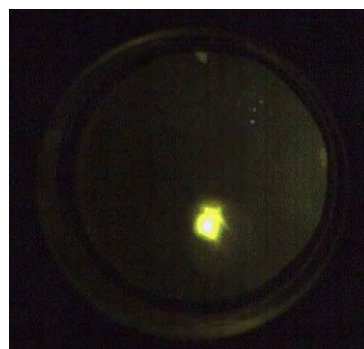
Fig.A.5(a): RF based negative hydrogen ion source coupled to LEBT

A.6. एचटीएस दूसरी इकाई के रूप में 650 MHz पर 32 kW ठोस अवस्था प्रवर्धक (Solid State Amplifier (SSPA)) का विकास:

32 kW, 650 MHz ठोस अवस्था प्रवर्धक के लिये, 85 Nos. 500 W प्रवर्धक (ड्राइवर सहित), 80 दिशात्मक

support structure was carried out. Indigenously developed RF based negative hydrogen ion source was coupled with LEBT for beam transportation and characterization (Fig.A.5(a)). Beam spot was recorded on beam profile monitor installed in the diagnostic chamber at central location of LEBT (Fig.A.5(b)). Initial characterization of beam profile and current was carried out by varying solenoid current up to 350 Amp.

For effective beam transmission the operating parameters of LEBT were optimized for parameters like hydrogen gas flow rate, solenoid and steering magnet current. Beam emittance was measured using a Pepper pot emittance monitor in X and Y axis. Measured unnormalized rms emittances at the ion source outlet were approximately 24.23 π mm-mrad.



चित्रA.5(b):ON-position में सोलनॉइड के साथ रिकॉर्ड किया गया एच-आयन बीम स्पॉट

Fig.A.5(b): Recorded H-ion beam spot with solenoid in ON condition

A.6. Development of 32 kW solid state amplifier (SSPA) at 650 MHz as second unit for HTS:

For the 32 kW, 650 MHz solid-state amplifier, 85 numbers of 500 W amplifiers (including drivers), 80 directional couplers, and a set of rigid line RF

युग्मक और दृढ़-लाइन आरएफ घटकों के एक सेट का परीक्षण किया गया। आरएफ घटकों के अलावा, प्रवर्धक में विभिन्न DAQ कार्ड के साथ FPGA आधारित नियंत्रण और इंटरलॉक सिस्टम है। प्रणाली के योग्यता परीक्षण के बाद, इसका उपयोग उच्च शक्ति पर स्वदेशी रूप से विकसित वेवगाइड एडाप्टर, परिसंचारक आदि के परीक्षण के लिए किया गया।



चित्र A.6(a): RRCAT में HTS-2 के लिए 32 kW, 650 MHz SSPA

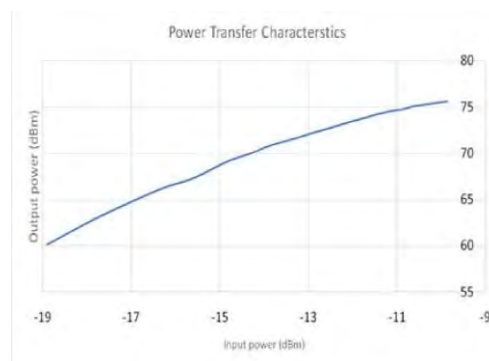
Fig.A.6(a): 32 kW, 650 MHz SSPA for HTS-2 at RRCAT.

A.7. आरएफ प्रवर्धक के लिए 50 V, 150 A जल शीतलक DC पावर मॉड्यूल का डिजाइन और विकास:

राराप्रप्रौके में 50 V, 150 A वाटर कूल्ड डीसी पावर मॉड्यूल के दो सेट का डिजाइन, विनिर्माण और 150 A डमी-लोड पर परीक्षण किया गया। इन पावर मॉड्यूल को मास्टर/स्लेव विन्यास में समानांतर संचालित किया और 300 A डमी लोड पर परीक्षण किया जाता है। इनपुट करंट THD 30%, आउटपुट वोल्टेज रिपल (पीक टू पीक) ≤ 175 mV, आउटपुट वोल्टेज स्थिरता $\leq 0.8\%$ और समग्र दक्षता $\geq 90\%$ हासिल की गई है।

दोनों 50 V/150 A पावर मॉड्यूल को समानांतर में संचालित कर 16 नग 500 वॉट, 505.8 मेगाहर्ट्ज रेडियो आवृत्ति प्रवर्धकों के साथ परीक्षण किया। परीक्षण के दौरान, डीसी पावर मॉड्यूलों को इष्टतम किया गया।

components were individually tested and then assembled in two cabinets. In addition to RF components, the amplifier has FPGA based control and interlock system with various DAQ cards. After qualification of the system, it was used for the testing of indigenously developed waveguide adaptors, circulator etc. at high power.



चित्र A.6(b): 32 kW, 650 MHz एसएसपीए की निर्गत V/S आगत शक्ति के परीक्षण परिणाम

Fig.A.6(b): Test result as O/P V/S I/P power of 32 kW, 650 MHz SSPA

A.7. Design and development of 50 V, 150 A water cooled DC power module for RF amplifiers:

Two numbers of 50 V, 150 A water cooled DC power modules have been designed, fabricated and tested on 150 A dummy load at RRCAT. These power modules are operated in parallel in master slave configuration and tested on a 300A dummy load. The input current THD $\leq 30\%$, output voltage ripple (peak to peak) ≤ 175 mV, output voltage stability $\leq 0.8\%$ and overall efficiency $\geq 90\%$ have been achieved.

Both the 50 V/150 A modules were operated in parallel to feed 16 numbers of 500 W, 505.8 MHz RF amplifiers. During testing with RF amplifiers, DC power modules were optimized.

A.8. RFQ के लिए 325 MHz आरएफ ऑपरेटिंग आवृत्ति पर टेट्रोड-आधारित पल्स आर एफ पावर प्रवर्धक का डिजाइन और विकास:

सघनता, किफायती, उच्च दक्षता, तुलनात्मक रूप से निम्न एनोड वोल्टेज ऑपरेशन जैसे विभिन्न लाभों को ध्यान में रखते हुए 100 kW/325 MHz TH 391 टेट्रोड ट्यूब स्पंदित आरएफ सिस्टम का निर्माण शुरू किया गया था। इसके लिए, TH 391 टेट्रोड के उपयुक्त आरएफ प्रवर्धक कैविटी-सर्किट असेंबली को वर्ग-बी ग्रीड बायस, कैथोड संचालित कॉन्फिगरेशन में संचालित करने के लिए डिज़ाइन किया गया है और यह 10% के अधिकतम ड्यूटी-अनुपात के साथ 325 MHz आरएफ आवृत्ति पर 100 kW पल्स आरएफ पावर को संभालने में सक्षम है। प्रवर्धक गुहा का निम्न शक्ति परीक्षण ट्यून करने योग्य आवृत्ति सीमा पर इनपुट और आउटपुट प्रतिबाधा मिलान के सत्यापन के लिए किया जाता है।

A.8. Design and development of tetrode-based pulse RF power amplifier at 325 MHz RF operating frequency for RFQ:

Considering various advantages like compactness, cost effectiveness, high efficiency, comparatively lower anode voltage operation the work of 100 kW/325 MHz TH391 tetrode tube pulsed RF system was taken up. To this end, RF amplifier cavity-circuit assembly compatible to TH391 is designed to operate the tube in grid-bias, class-B, cathode driven configuration and capable to handle 100 kW pulse RF power at 325 MHz RF frequency with a maximum duty ratio of 10%. Fabrication of amplifier structure is done with help of local industry. Low power characterization of the amplifier cavity is done for verification of input and output impedance matching, over the tuneable frequency range.



चित्र A.8: TH टेट्रोड आधारित 100 kW / 325 MHz आरएफ प्रवर्धक

Fig. A.8: TH Tetrode based 100 kW/325 MHz RF amplifier

A.9. 15 kW इलेक्ट्रॉन लिनाक के लिए कॉम्पैक्ट, स्पंदित उच्च शक्ति माइक्रोवेव प्रणाली का डिजाइन और विकास:

खाद्य और चिकित्सा रोगाणुनाशन अनुप्रयोगों वाले 15 kW इलेक्ट्रॉन लिनाक के लिए 2856 MHz क्लिस्ट्रॉन प्रवर्धक आधारित सघन, 6.5 मेगावाट, स्पंदित माइक्रोवेव प्रणाली विकसित की गई है। 130 kV, 90 A क्लिस्ट्रॉन को सक्रिय करने के लिए एक स्पंदित मॉड्युलेटर, 20-stage PFN type थायराट्रॉन स्विच मॉड्युलेटर है। मॉड्युलेटर क्लिस्ट्रॉन प्रवर्धक के साथ एकीकृत है। यह विकास 10 MV उच्च शक्ति लिनेक्स के लिए महत्वपूर्ण माइक्रोवेव प्रौद्योगिकी के स्वदेशी विकास का मार्ग प्रशस्त करेगा।



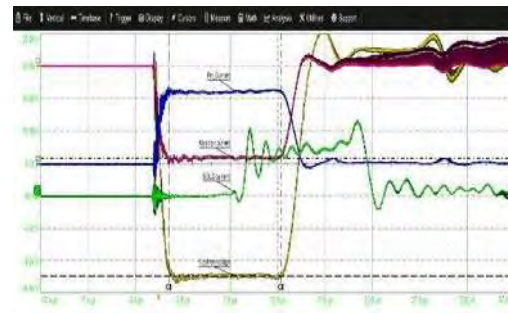
चित्र A.9(a): माइक्रोवेव प्रणाली का दृश्य
Fig.A.9(a): View of the microwave system

A.10. एकल-सेल एसआरएफ गुहा का सफल नाइट्रोजन डोपिंग:

साराप्रप्रौके में अपनाई जाने वाली मानक प्रक्रियाओं में इस प्रसंस्करण तकनीक को शामिल करने के लिए अनुसंधान एवं विकास प्रयासों के रूप में, एक उच्च β एकल-सेल सुपरकंडक्टिंग रेडियो फ्रीक्वेंसी कैविटी (HB92-RRCAT-104) को नाइट्रोजन डोप किया

A.9. Design and development of compact, pulsed high power microwave system for 15 kW electron linac:

A 2856 MHz klystron amplifier based compact, 6.5 MW, pulsed microwave system has been developed for 15 kW electron linac meant for food and medical product sterilization applications,. The 130 kV; 90 A pulsed modulator to energize the klystron, is a classical twenty stage PFN type Thyatron switched modulator. The modulator is integrated with klystron amplifier. This development will pave the way for indigenous development of the crucial microwave technology for 10 MeV, high power linacs.



चित्र A.9(b): क्लिस्ट्रॉन बीम वोल्टेज (पीला) का तरंगरूप: ~ 129.2 kVp, बीम धारा (गुलाबी) : ~ 91.93 A, प्राथमिक धारा (नीला) : ~ 1270 A, क्लिस्ट्रॉन वोल्टेज पल्स चौड़ाई: 13.8 us (70% पर)।

Fig.A.9(b): Waveform of klystron beam voltage (yellow) : ~129.2 kVp , beam current (pink) : ~91.93 A, Primary current (blue) : ~1270 A , Klystron voltage pulse width: 13.8 us (at 70%)

A.10. Successful nitrogen doping of single-cell SRF cavity:

A high β single-cell superconducting radio frequency cavity (HB92-RRCAT-104) was nitrogen doped as a part of R&D efforts to induct this processing technique in the standard procedures followed at RRCAT. The cavity was then light electro polished, followed by ultrasonic cleaning

गया। कैविटी को इलेक्ट्रो पॉलिश किया गया था, इसके बाद अल्ट्रासोनिक सफाई और अल्ट्रा-शुद्ध पानी के साथ HPR किया गया, जिसे ISO क्लास -4 क्लीनरूम में सुखाया और असेंबली किया गया, 2 K पर इस कैविटी के कम शक्ति आरएफ परीक्षण से 18.8 MV/m पर 3×10^{10} के गुणवत्ता कारक (Qo) के साथ 24.7 MV/m तक उत्कृष्ट क्षेत्र उत्सर्जन मुक्त प्रवण का पता चला जो सामान्य गुहा विनिर्देश से तुलनीय है।



चित्र A.10 : भट्ठी में भारित एकल-सेल गुहा

and HPR with ultra-pure water, drying and assembly in an ISO Class-4 cleanroom. Low power RF testing of this cavity at 2 K revealed excellent field emission free gradient up to 24.7 MV/m with quality factor (Qo) of 3×10^{10} at 18.8 MV/m which is comparable to typical worldwide bare cavity specification.

Fig.A.10 : Single-cell cavity loaded in furnace.

A.11. उन्नत वातावरण नियंत्रित ग्लोव बॉक्स में 5-सेल 650 MHz एससीआरएफ गुहा की ड्रेसिंग:

कैविटी ड्रेसिंग प्रक्रिया में हीलियम पात्र, बेलो, और एडप्टर रिंग, 5-सेल 650 MHz उच्च बीटा एससीआरएफ गुहा जैसे घटकों का एकीकरण शामिल है, इस सटीक वेल्डिंग प्रक्रिया में लगभग 20 कार्य दिवस लगते हैं। विशेष रूप से, हर 50-60 मिमी के वेल्डिंग रन के बाद, लगभग एक घंटे की नियंत्रित शीतलन अवधि सावधानीपूर्वक रखी जाती है, जिससे गुहा की संरचनात्मक अखंडता और आरएफ प्रदर्शन ठीक रहते हैं। ड्रेसिंग के बाद, कैविटी को ASME कोड के अनुसार निर्वात और दबाव योग्यता सहित कठोर योग्यता परीक्षणों से गुजरना पड़ता है। इसके अतिरिक्त, गुहा के आरएफ गुणों, जैसे कि अनुनाद आवृत्ति और विद्युत क्षेत्र फ्लैटनेस, की जांच की जाती

A.11. Dressing of five-cell 650 MHz SCRF cavity in upgraded environment controlled glove box:

The cavity dressing process involves the integration of components, such as the helium vessel, bellow, and adopter ring, into the bare 5-cell 650 MHz high beta SCRF cavity. This precision welding procedure takes around 20 working days. Notably, after every 50-60 mm of welding run, a controlled cooling period of about one hour was meticulously observed, safeguarding the cavity's structural integrity and RF performance. Post-dressing, the cavity undergoes rigorous qualification tests, including vacuum and pressure qualification in accordance with ASME codes. Additionally, the cavity's RF properties, such as resonating frequency and electric field flatness, are examined and found to be well within the

है और चित्र A.11(a) और चित्र A.11(b) में दर्शाई गई निर्धारित सीमाओं के भीतर रखा जाता है। ये व्यापक प्रक्रियाएं और परीक्षण गुहा की विश्वसनीयता और अपेक्षित 2 K परिचालन हेतु कड़े मानकों का अनुपालन सुनिश्चित करते हैं।

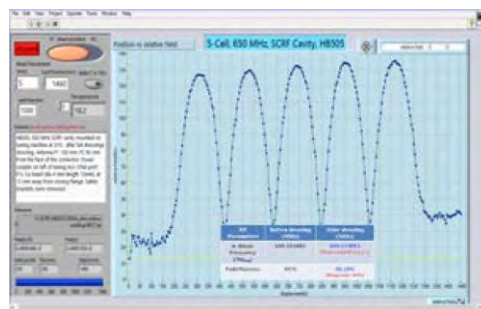


चित्र.A.11(a): अंतिम ड्रेसिंग के बाद ग्लोव बॉक्स से निकलने वाली जैकेटेड कैविटी
Fig.A.11(a): Jacketed cavity after final dressing coming out of glove box

A.12. एल्यूमीनियम से बने 20 लीटर/सेकंड क्षमता के स्पुटर आयन पंप (SIP) के प्रथम प्रतिमान का इन-हाउस विकास:

एल्यूमीनियम(Al) से बने 20 लीटर/सेकंड (lps) क्षमता के प्रतिमान स्पुटर आयन पंप (SIP) को इन-हाउस विकसित किया गया है और प्रारंभिक परीक्षण के दौरान 150 °C पर बेक-आउट के बाद कमरे के तापमान पर $\sim 5 \times 10^{-10}$ मिलीबार का परम दाब हासिल किया गया है। एल्यूमीनियम से बना एसआईपी देश में पहली बार विकसित किया गया है। जंगरोधी स्टील का उपयोग पारंपरिक रूप से एसआईपी बनाने के लिए किया जाता है, जो एक महंगा विकल्प है। जंगरोधी-स्टील के बजाय एल्यूमीनियम का उपयोग करने के फायदे हैं: कम वजन, कम आउट-गैसिंग दर और कम प्रेरित रेडियोधर्मिता (Low-Z सामग्री)।

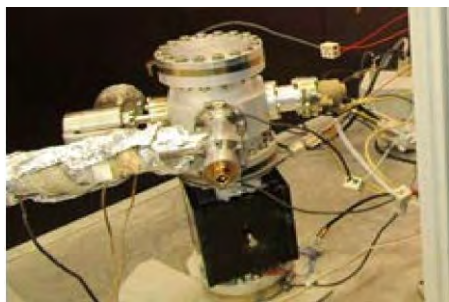
prescribed limits as shown in Fig.A.11(a)&(b). These comprehensive procedures and tests collectively ensure the cavity's reliability and adherence to stringent standards for its intended 2 K operating conditions.



चित्र.A.11(b): ड्रेसिंग के बाद फ़िल्ड फ्लैटनेस मापन परिणाम।
Fig.A.11(b): Field flatness measurement result after dressing

A.12. In-house development of first prototype of sputter ion pump of 20 l/s capacity made of Aluminum body

Prototype sputter ion pump (SIP) of 20 l/s capacity made of Aluminum body has been developed in-house and ultimate pressure of $\sim 5 \times 10^{-10}$ mbar at room temperature has been achieved after bake-out at 150 °C during preliminary test. SIP made of Aluminum body has been developed first time in the country. In the industry, stainless steel is conventionally used to manufacture SIPs, which is an expensive option. The advantages of using aluminum body instead of stainless-steel body are: light weight, low out-gassing rate and low induced radioactivity (low Z material).



चित्र 12(a): परीक्षण सेटअप में AI से बना SIP (20 lps)
Fig.A.12(b): Ultimate pressure shown by BA Gauge controller



चित्र A.12(b): BA गेज नियंत्रक द्वारा दिखाया गया परम दाब
Fig.A.12(a): Prototype SIP (20 lps) made of Al body in test setup

A.13. चिकित्सा उपकरण निर्जंतुकरण के लिए इलेक्ट्रॉन बीम विकिरण प्रसंस्करण सुविधा:

9.5 MeV, 6 kW लिनाक पर आधारित इलेक्ट्रॉन बीम विकिरण प्रसंस्करण सुविधा ने 1.9 मिलियन चिकित्सा उपकरणों की ई-बीम निर्जंतुकरण करके एक नई उपलब्धि हासिल की है। दो प्रमुख चिकित्सा उपकरण निर्माताओं के साथ उनके उत्पादों, जैसे आईवी कैनुला और पीपी वायल को सशुल्क वाणिज्यिक विकिरण सेवा प्रदान करने के लिए विकिरण समझौतों पर हस्ताक्षर किए गए हैं।

ISO 13485, ISO 11137, ISO 13004, ISO 51649 मानकों की गुणवत्ता आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए सुविधा में एक कड़ा गुणवत्ता कार्यक्रम लागू किया गया है। सीडीएससीओ अधिसूचित निकाय द्वारा ISO 9001: 2015 और ISO 13485: 2016 के लिए सुविधा की वार्षिक निगरानी ऑडिट की गई है। विकिरणमापी परिणामों का विश्लेषण सभी बैचों के लिए किया गया और संतोषजनक पाया गया है, जिसने पुष्टि की है कि उत्पाद को दी गई मात्रा निर्जंतुकरण मात्रा से अधिक या उसके बराबर है और अधिकतम स्वीकार्य मात्रा से अधिक नहीं है।

अब तक 19 लाख चिकित्सा उपकरणों (~ 16 टन) का ई-बीम द्वारा रोगाणुनाशन किया गया है और उपयोग के लिए जारी किया गया है।

A.13. Electron beam radiation processing facility for medical device sterilization

Electron beam radiation processing facility at RRCAT, Indore based on 9.5 MeV, 6 kW Linac has reached a new milestone by carrying out e-beam sterilization of 1.9 million medical devices. Irradiation agreements have been signed with two major medical device manufacturers for providing commercial irradiation service on chargeable basis to their products, IV cannula and PP vials, respectively.

Stringent quality assurance programme has been implemented at the facility to meet the quality requirements of ISO 13485, ISO 11137, ISO 13004, ISO 51649 standards. Annual surveillance audit of the facility for ISO 9001:2015 & ISO 13485:2016 have been carried out by CDSCO notified body. Analysis of dosimetry results has been carried out for all batches and is found satisfactory, which confirmed that the dose delivered to the product is greater than or equal to sterilization dose ($D_{ster.}$) and does not exceed the maximum acceptable dose ($D_{max,ac}$).

So far 1.9 million medical devices (~16 Tons) have been e-beam sterilized and released for use.

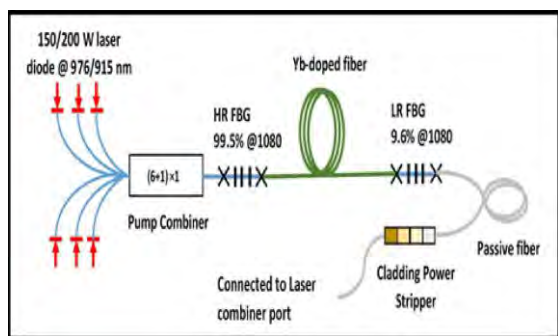


चित्र.A.13(a): ई-बीम विकिरण प्रसंस्करण सुविधा
Fig.A.13(a): E-beam radiation processing facility

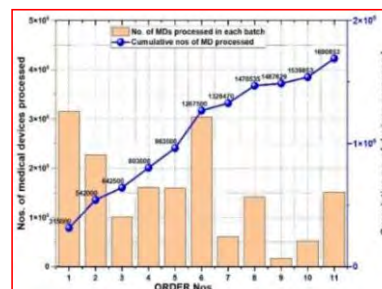
चिकित्सा उपकरण निरजंतुकरण के अलावा, एआरपीएफ ने कीमती रत्न पत्थरों के रंग संशोधन के लिए वाणिज्यिक आधार पर रत्न उद्योग को विकिरण सेवाएं प्रदान की हैं।

A.14. 2 kW Yb-डोपड CW फाइबर लेसर का विकास:

975 नैनोमीटर पंपिंग का उपयोग करके 2 kW ऑल-फाइबर Yb-डोपड CW लेसर का विकास 3-मॉड्यूल संरचना का उपयोग करके पूरा किया गया है। लेसर आउटपुट सामग्री प्रसंस्करण अनुप्रयोगों के लिए 20 मीटर लंबे क्वार्ट्ज ब्लॉक होल्डर (QBH) डिलीवरी फाइबर ऑप्टिक केबल के माध्यम से वितरित किया गया है।



चित्र A.14: फाइबर लेसर मॉड्यूल और लेसर बीम कंबाइनेर का योजनाबद्ध आरेख
Fig. A.14: Schematic of individual fiber laser modules and laser beams combiner.

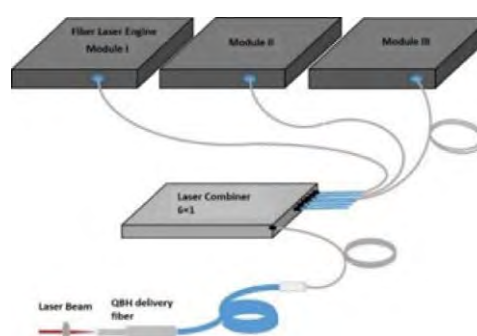


चित्र.A.13(b):ARPFI, इंदौर में लिनाक द्वारा निर्जंतुकृत चिकित्सा उपकरणों की कुल संख्या
Fig.A.13(b):Total number of medical devices sterilized by LINAC at ARPFI, Indore

Apart from medical device sterilization, ARPFI has provided irradiation services to gem industry on commercial basis for colour modification of precious gem stones.

A.14. Development of 2 kW Yb-doped CW fiber laser:

Development of 2 kW all-fiber Yb-doped CW laser using 975 nm pumping has been completed using a three module configuration. Laser output has been delivered through a 20 m long quartz block holder (QBH) delivery fiber optic cable for material processing applications.



A.15. ईंधन पिन की लेसर वेल्डिंग के लिए 500 W औसत पावर फाइबर युग्मित स्पंदित ND:YAG लेसर का विकास और स्थापना:

फाइबर युग्मित स्पंदित 500 वॉट औसत शक्ति और 10 kW पीक पावर की ND:YAG लेसर प्रणाली विकसित की गई है। यह प्रणाली पीएफबीआर ईंधन पिन की वेल्डिंग के लिए FF-BARC, तारापुर के लिए तैनात की गई है। लेसर पल्स ऊर्जा को 100-300 एम्पियर, पल्स अवधि 4-40 मिलीसेकेंड और पुनरावृत्ति दर 1-100 Hz की सीमा में परिवर्तित किया जा सकता है। लेसर आउटपुट 90% ट्रांसमिशन दक्षता के साथ 600 माइक्रोमीटर और 400 माइक्रोमीटर कोर व्यास ऑप्टिकल फाइबर के माध्यम से कुशलतापूर्वक वितरित किया गया है और प्रत्येक लेसर को तीन साझा फाइबर पोर्ट से लैस किया गया है। निकास फाइबर छोर पर, ईंधन पिन की वेल्डिंग के लिए 0.5", 1" और 1.5" ऑप्टिक्स के वेल्डिंग हेड संलग्न किए गए हैं।

A.15. Development and installation of 500 W average power fiber coupled pulsed Nd:YAG lasers for laser welding:

Fiber coupled pulsed Nd:YAG laser system of 500 W average power and 10 kW peak power have been developed. This system is deployed for FF, Tarapur for welding of PFBR fuel pins in production line. Laser pulse energy can be varied by changing the current in the range of 100-300 Amp, pulse duration in the range of 4-40 ms and repetition rate in the range of 1-100 Hz. Laser output has been delivered efficiently through 600 μ m and 400 μ m core diameter optical fibers with 90% transmission efficiency and each laser has been equipped with three time shared fiber ports. At the exit fiber ends, welding heads of 0.5", 1" and 1.5" optics have been attached for welding of fuel pins.



चित्र A.15: FF तारापुर में ईंधन पिन वेल्डिंग हेतु प्रदत्त 500 W औसत शक्ति और 10 kW स्पंदित शीर्ष शक्ति का ND:YAG लेसर
Fig. A.15: 500 W average power and 10 kW peak power pulsed Nd:YAG laser for fuel pin welding at FF, Tarapur.

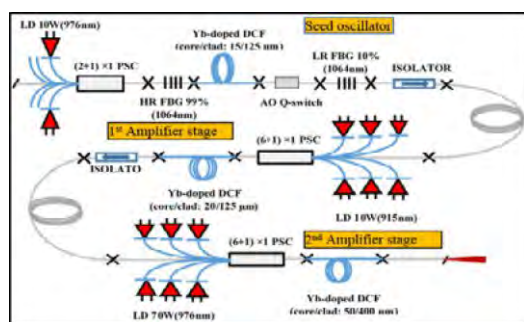
A.16. 100 W औसत पावर नैनो-सेकंड Q-स्विचड फाइबर लेसर का विकास:

मास्टर ऑसिलेटर पावर एम्पलीफायर (MOPA) संरचना का उपयोग करके 30 kHz पुनरावृत्ति दर पर 180 ns पल्स अवधि के साथ 100 W औसत पावर Yb-डोपड Q-स्विचड फाइबर लेसर का विकास किया

A.16. Development of 100 W average power ns Q-switched fiber laser:

Development of 100 W average power Yb-doped Q-switched fiber laser with 180 ns pulse duration at 30 kHz of repetition rate has been carried out using master oscillator power amplifier (MOPA) configuration. Maximum average output power of

गया है। 100.8 W की अधिकतम औसत आउटपुट शक्ति 30 kHz पुनरावृत्ति दर और ~ 64% की दक्षता के साथ, 140 W की इनपुट पंप शक्ति पर हासिल की गई थी। 3.3 mJ की अधिकतम पल्स ऊर्जा और 18 kW उच्चतम पावर हासिल की गई थी। इस विकास में, उष्मा प्रबंधन, एम्पलीफायर और ऑसिलेटर चरणों को प्रतिबिंब और आत्म-स्पंदन के कारण नुकसान से रोकना, और अरेखीय प्रभावों को कम करना प्रमुख चुनौतियां थीं। इस लेसर का उपयोग धातु की सतहों की सफाई के लिए किया जाएगा।

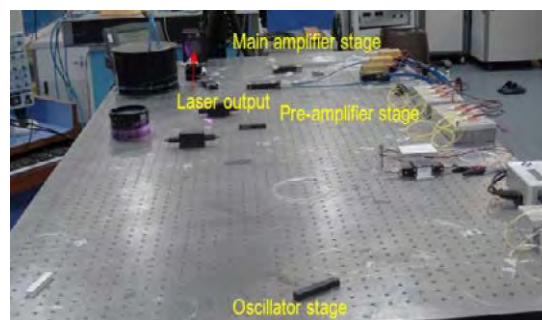


चित्र A.16 (a): 100 W औसत शक्ति Yb-डोपड Q-स्विचड फाइबर लेसर का योजना आरेख
Fig. A.16(a): Schematic of 100 W average power Yb-doped Q-switched fiber laser

A.17. पदार्थ प्रसंस्करण अनुप्रयोगों के लिए लेसर डायोड पंप 1 kW फाइबर लेसर के लिए पावर सप्लाई का स्वदेशी विकास:

मौजूदा 1 kW Yb-डोपड CW फाइबर लेसर के लिए 3-kW पावर सप्लाई का स्वदेशी विकास किया गया है। इस पावर सप्लाई में 7 लेसर डायोड को श्रृंखला में चलाने के लिए 270 V के अधिकतम अनुपालन वोल्टेज पर 1-11 A से समायोज्य प्रवाह है। लेसर डायोड के साथ पावर सप्लाई का परीक्षण किया गया है और संतोषजनक ढंग से काम कर रही है।

100.8 W was achieved at 30 kHz of repetition rate and input pump power of 140 W with a conversion efficiency of ~64 %. Maximum pulse energy of 3.3 mJ and 18 kW of peak power was achieved. In this development, thermal management, preventing amplifier and oscillator stages from damage due to back reflection and self-pulsing, and mitigating nonlinear effects were the major challenges. This laser will be utilized for cleaning of metal surfaces.



चित्र A.16(b): 100 W औसत शक्ति Yb-डोपड Q-स्विचड फाइबर लेसर

Fig. A.16(b): 100 W average power Yb-doped Q-switched fiber laser

A.17. Indigenous development of power supply for laser diode pumped 1 kW fiber laser for material processing applications:

Indigenous development of a 3-kW power supply for the existing 1 kW Yb-doped CW fiber laser has been carried out. This power supply has adjustable current from 1-11 A at the maximum compliance voltage of 270 V to drive a stack of 7 laser diodes in series. Power supply has been tested with laser diodes and is working satisfactorily.

A.18. उच्च ऊर्जा लेसर कार्यक्रम के लिए 12-डिस्क Nd:Glass एम्पलीफायर का विकास:

उच्च ऊर्जा एम्पलीफायर मॉड्यूल में Nd:ग्लास की 12 डिस्क, ज़ेनॉन फ्लैश लैंप, इन्वोल्यूट रिफ्लेक्टर, और ब्लास्ट ग्लास शील्ड एक डिस्कटेड स्टील जेकेट में होते हैं। बीम इंजेक्शन और स्टीयरिंग मिरर के लिए 15 मीटर लंबे वीएसएफ में दो बेलनाकार कक्षों को इकट्ठा किया गया है। मूल लेसर प्रणाली में एक Nd:YLF ऑसीलेटर शामिल है जो 10 mJ / 10 ns लेसर पल्स को 1053 nm उत्पन्न करता है। इन लेसर पल्स को मल्टीपास प्रवर्धन विन्यास में 10 J तक बढ़ाया जाता है। फ्लैश लैंप को छह, स्वनिर्मित, 10 kV कैपेसिटर चार्जिंग पावर सप्लाई, पूर्व-आयनीकरण इकाइयों और एक नियंत्रण प्रणाली द्वारा सक्रिय किया जाता है। 12 Nd:Glass डिस्क की ऑप्टिकल पंपिंग के लिये 400 mm आर्क लंबाई वाले 72 ज़ेनॉन फ्लैश लैंप का उपयोग किया गया है। मूल लेसर प्रणाली, वीएसएफ और डिस्क एम्पलीफायर को सुदूर क्षेत्र अंतःक्षेपण (फार-फील्ड इंजेक्शन) योजना द्वारा एकीकृत किया गया है।



चित्र.A.18(a):12-डिस्क ND:ग्लास एम्पलीफायर असेंबली
Fig. A.18(a): 12-disc Nd: Glass amplifier assembly

A.18. Development of 12-disc ND: Glass amplifier for high energy laser program:

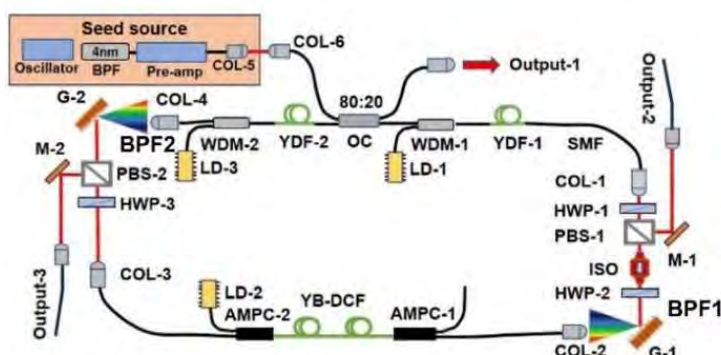
The high energy amplifier module comprises 12 numbers of ND: Glass disks, Xenon flash lamps, involute reflectors, and blast glass shields assembled in a desiccated SS housing. A 15-meter-long arm VSF, having two cylindrical chambers for beam injection and steering mirrors has been assembled. The seed laser system comprises of an Nd: YLF oscillator to generate 10 mJ/10 ns laser pulses at $\lambda=1053$ nm. These laser pulses are further amplified to 10 J, in multi pass amplification configuration. The flash lamps are energized by six, in house developed, 10 kV capacitor charging power supplies, pre-ionization units and a control system. The optical pumping of 12 numbers of Nd:Glass discs has been realized by using 72 numbers of 400 mm arc length xenon flash lamps. The seed laser system, VSF and disc amplifier are integrated by far field injection scheme.



चित्र A.18(b):12-डिस्क ND:ग्लास एम्पलीफायर वैक्यूम स्थानिक फिल्टर के साथ
Fig. A.18(b) :12-disc Nd: Glass amplifier with long arm vacuum spatial filter

A.19. मोड-लॉक फाइबर मैमिशेव ऑसिलेटर (MO) का विकास और परिलक्षण:

एक अतितीव्र फाइबर मैमिशेव ऑसिलेटर विकसित किया गया है जो नियंत्रणीय विविध पल्स पैटर्न के साथ अति लघु पल्स की स्थिर ट्रेन पैदा करता है। MO से प्राप्त पल्स 9.6 MHz की पुनरावृत्ति दर के साथ अत्यधिक स्थिर (एसएनआर ~ 65 डीबी) हैं। लगभग 112 mW औसत शक्ति ~ 12 nJ की पल्स ऊर्जा के अनुरूप प्राप्त की जाती है।



चित्र.A.19 : फाइबर MO सेटअप आरेख

Fig. A.19 : Schematic of fiber MO setup

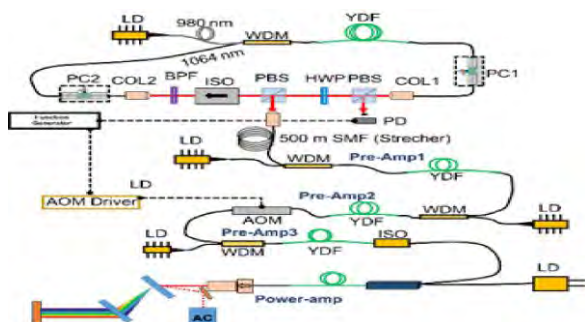
A.20. 1 μ J ऊर्जा की, ~ 750 fs, 1 μ m तरंग दैर्ध्य पल्स को उत्पन्न करने के लिए ऑसिलेटर एम्पलीफायर सेटअप का विकास:

अत्यल्प स्पंदों का मल्टी-फोटॉन माइक्रोस्कोपी, सटीक माइक्रो-मशीनिंग, असमान पदार्थों की वेल्डिंग आदि में उपयोगी हैं। राराप्रप्रौके में, मूल स्रोत के रूप में Yb-डोप्ड मोड लॉकड (ML) फाइबर ऑसिलेटर के आधार पर एक मोड लॉकड फाइबर लेसर विकसित किया है और chirped पल्स प्रवर्धन (CPA) के आधार पर मल्टी-स्टेज फाइबर एम्पलीफायर में पल्स का प्रवर्धन किया जाता है। एम्पलीफायर चरण के अंत में, ट्रांसमिशन ग्रेटिंग पर आधारित एक पल्स कंप्रेसर को ~ 260 mW की औसत शक्ति के साथ < 750 fs अवधि की संपीड़ित पल्स को उत्पन्न

A.20. Development of oscillator amplifier setup to generate 1 μ J energy pulses of ~750 fs duration at 1 μ m wavelength:

Ultrashort pulses find applications in multi photon microscopy, precision micromachining, welding of dissimilar materials etc. In RRCAT, a mode locked (ML) fiber laser is developed based on Yb doped ML fiber oscillator as a seed source and amplification of the seed pulses in multi-stage fiber amplifier based on chirped pulse amplification (CPA). At the end of amplifier stage, a pulse compressor based on transmission gratings is developed to generate compressed pulses of < 750 fs duration, with an average power of ~260 mW resulting in >1 μ J pulse energy.

करने के लिए विकसित किया है, जिसके परिणामस्वरूप $>1 \mu\text{J}$ पल्स ऊर्जा उत्पन्न होती है।

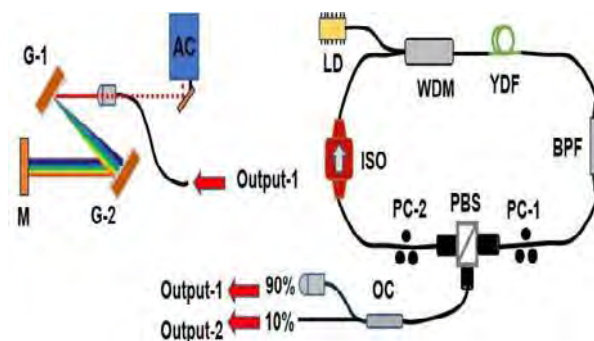


चित्र.A.20(a): मोड-लॉक ऑसिलेटर एम्पलीफायर सेटअप का आरेख

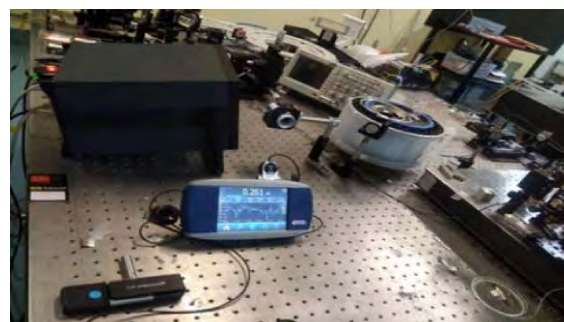
Fig.A.20(a): Schematic of mode-locked oscillator amplifier setup.

A.21. 1μ तरंग दैर्ध्य 1 nJ ऊर्जा प्रदान करने वाले $< 300 \text{ fs}$ पल्स फाइबर लेसर सिस्टम का विकास:

एक मोड-लॉक Yb डोप्ड ऑल-फाइबर ऑसिलेटर को पूर्व सिमुलेशन के आधार पर पूर्ण प्रसामान्य वर्ण विक्षेपण डिज़ाइन और विकसित किया गया है। रिकॉर्ड किए गए मोड-लॉक पल्स ट्रेन और स्पेक्ट्रम स्पष्ट रूप से $\sim 1 \mu\text{m}$ पर स्थिर पल्स और व्यापक ऑप्टिकल स्पेक्ट्रम का संकेत देते हैं। छोटी और लंबी रेंज के RF स्पेक्ट्रा S/N अनुपात के लिए अच्छे संकेत और 23.7 MHz पर मोड लॉक पल्स के स्थिर संचालन का प्रदर्शन करते हैं। पल्स ऊर्जा $\sim 2 \text{ nJ}$ मापी है।



चित्र A.21: मोड-लॉक लेसर सेटअप का योजनाबद्ध आरेख



चित्र.A.20(b): मोड-लॉक ऑसिलेटर एम्पलीफायर सेटअप

Fig.A.20(b): Mode-locked oscillator amplifier setup.

A.21. Development of engineered fiber laser system delivering $< 300 \text{ fs}$ duration pulses and 1 nJ energy at $1 \mu\text{m}$ wavelength:

A mode-locked ytterbium doped all-fiber oscillator in all-normal dispersion configuration is designed and developed based on prior simulation. The recorded mode-locked pulse train and optical spectrum clearly indicate stable pulse operation and broad optical spectrum at $\sim 1 \mu\text{m}$. Short- and long-range radio frequency spectra exhibit good signal to noise ratio and stable operation of the mode locked pulses at 23.7 MHz . The individual pulse energy is measured to be $\sim 2 \text{ nJ}$.

AC: Auto Correlator
LD: Laser Diode
WDM: Wave Division Multiplexing
YDF: Ytterbium-Doped Fiber
BPF: Band Pass Filter
ISO: Isolator
G1 & G2: Grating 1 & 2
PC1 & PC2: ध्रुवीकरण नियंत्रक 1&2
PBS: ध्रुवीकरण Beam Splitter

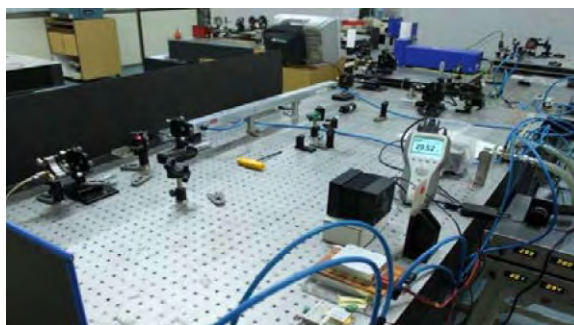
Fig. A.21: Schematic of the mode-locked laser setup

A.22. 30W मोड लॉक फाइबर अल्ट्राफास्ट ऑसिलेटर-एम्पलीफायर सिस्टम का विकास:

इस सेट-अप में एक पूर्ण प्रसामान्य वर्ण विक्षेपण विन्यास मोड लॉक फाइबर ऑसिलेटर (सीड सिग्नल 20 mW), एक chirp फाइबर ब्रैग ग्रेटिंग (CFBG) आधारित फाइबर स्ट्रेचर (पल्स को 500 ps तक खींचने के लिए), एक Yb-डोपड फाइबर-आधारित प्री-एम्पलीफायर (सीड सिग्नल 100 mW), एक डबल क्लैड Yb-डोपड फाइबर-आधारित एम्पलीफायर (3 W तक प्रवातद्धित करने वाला), एक Yb-डोपड रॉड फाइबर एम्पलीफायर और एक वॉल्यूम ब्रैग ग्रेटिंग (VBG) शामिल हैं। Yb-डोपड फाइबर एम्पलीफायर से कोलिमेटेड आउटपुट (3 W) केंद्रित ($f = 100$ mm) है और Yb-डोपड रॉड फाइबर गेन मॉड्यूल के कोर ($80 \mu\text{m}$) में युग्मित है। सिग्नल को 30 W स्तर तक बढ़ाया जाता है। प्रवर्धित आउटपुट सिग्नल को VBG आधारित कंप्रेसर (दक्षता $\sim 70\%$) में संपीड़ित किया जाता है। इष्टतम पल्स संपीड़न के लिए ऑटो कलेक्टर पर संपीड़ित पल्स की निगरानी करते समय CFBG के द्वितीय और तृतीय क्रम के वर्ण विक्षेपण में भिन्नता होती है। न्यूनतम संपीड़ित पल्स अवधि 3 W स्तर पर 445 fs मापा गया है।

A.22. Development of 30-Watt mode locked fiber ultrafast oscillator-amplifier system:

The set-up consists of an all-normal dispersion mode locked fiber oscillator (seed signal 20 mW), a chirped fiber Bragg grating (CFBG) based fiber stretcher (for stretching the pulses to 500 ps), an Yb-doped fiber-based pre-amplifier (scales seed signal to 100 mW), a double clad Yb-doped fiber-based amplifier (scales signal to 3 W), an Yb-doped rod fiber amplifier and a volume Bragg grating (VBG) based pulse compressor. The collimated output (3 W) from Yb-doped fiber amplifier is focused ($f=100$ mm) and coupled into core ($80 \mu\text{m}$) of Yb-doped rod fiber gain module. The signal is amplified to a 30 W level. The amplified output signal is compressed into VBG based compressor (efficiency $\sim 70\%$). For optimum pulse compression the second and third order dispersion of CFBG are varied while monitoring the compressed pulse at Auto Correlator. The minimum compressed pulse duration is measured to be 445 fs at the 3 W level.

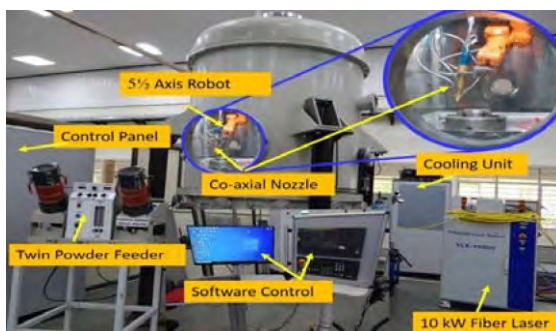


चित्र A.22: 30 W औसत प्रवर्धित सिग्नल का मोड लॉक फाइबर ऑसिलेटर-एम्पलीफायर सेट-अप

Fig. A.22: Mode locked fiber oscillator-amplifier set-up of 30 W average amplified signal

A.23. बड़े आकार के घटक निर्माण के लिए 10 kW फाइबर लेसर आधारित दिष्ट ऊर्जा निक्षेपण योगात्मक निर्माण प्रणाली का विकास :

एक नियंत्रित वातावरण कक्ष में 10 kW फाइबर लेसर, बीम डिलीवरी सिस्टम, 5½-अक्ष वर्कस्टेशन तथा पाउडर फीडर को एकीकृत करके 10 kW फाइबर लेसर आधारित दिष्ट ऊर्जा निक्षेपण (DED) प्रणाली विकसित की गई है। घूर्णी चक्र आधारित पाउडर फीडर, परिष्करण प्रणाली को नियंत्रित वायुमंडल कक्ष में एकीकृत किया गया है। 1400 mm व्यास और 1600 mm ऊंचाई वाले एक बंद कक्ष में 500 mm x 500 mm x 500 mm का निर्मित आयतन प्राप्त किया गया। निर्मित भाग की आयामी सहायता परखने और 50 µ के भीतर सटीकता प्राप्त करने के लिए 250 mm x 250 mm की प्लेट पर 10 mm x 10 mm x 5 mm के 16 ब्लॉकों के निर्माण करके विकसित प्रणाली को जांचा गया है।



चित्र A.23: 10 kW फाइबर लेसर आधारित दिष्ट ऊर्जा निक्षेपण प्रणाली

A.23. Development of 10 kW Fiber laser based Directed Energy Deposition additive manufacturing System for large size component fabrication:

A 10-kW fiber laser based Directed Energy Deposition (DED) System is developed by integrating 10 kW fiber laser, beam delivery system, 5½ axis workstation, twin powder feeder in a controlled atmosphere chamber. Further rotating wheel-based powder feeder, purging system are assembled in the controlled atmosphere chamber. The built volume of 500 mm x 500 mm x 500 mm is achieved in a closed chamber having 1400 mm diameter and 1600 mm height. The developed system is characterized by building 16 blocks of 10 mm x 10 mm x 5 mm on a plate of 250 mm x 250 mm to check the dimensional tolerance of the built part and accuracy within 50 microns is achieved.

Fig. A.23: 10 kW fiber laser based directed energy deposition system

A.24. 500 W फाइबर लेसर आधारित पाउडर बेड संलयन योगात्मक निर्माण प्रणाली का विकास:

नियंत्रित वातावरण और हीटिंग बिल्ड प्लेट के साथ एक 500 W लेसर आधारित पाउडर बेड फ्यूजन (LPBF) प्रणाली गैलवानो स्कैनर, PBF मुख्य संरचना, PBF नियंत्रक, निष्क्रिय गैस पुनर्योजन और परिष्करण इकाई और सॉफ्टवेयर नियंत्रण इकाई

A.24. Development of 500 W fiber laser-based powder bed fusion additive manufacturing system:

A 500 W Laser based Powder Bed Fusion (LPBF) system with the controlled atmosphere and heating build plate is developed by integrating 500 W fiber laser system with Galvano scanner, PBF main structure, PBF controller, inert gas regeneration and purging unit and software control unit. The

के साथ 500 W फाइबर लेसर सिस्टम को एकीकृत करके विकसित की गई है। PBF प्रणाली के नियंत्रित कक्ष में अति-शुद्ध आर्गन गैस के 5 mbar धनात्मक दाब पर ऑक्सीजन और नमी के स्तर को लगभग 5 ppm बनाए रखने की क्षमता है। बिल्ड प्लेट के हीटिंग को कॉइल हीटिंग के द्वारा नियंत्रित किया जाता है और अधिकतम तापमान 350 °C प्राप्त किया जा सकता है। विकसित LPBF प्रणाली द्वारा X और Y दोनों दिशाओं में विभिन्न स्थानों पर 150 mm x 150 mm की प्लेट पर 10 mm x 10 mm x 5 mm के 13 वर्ग ब्लॉक 50 μ सटीकता से प्राप्त किये गये हैं।

controlled chamber of the PBF system has capability to maintain the oxygen and moisture level about 5 ppm at 5 mbar positive pressure of ultra-pure Argon gas. The heating of the build plate is controlled with coil heating element and the maximum temperature is achievable up to 350 °C. The developed LPBF system is characterized by building 13 square blocks of 10 mm x 10 mm x 5 mm on a plate of 150 mm x 150 mm at different location both X and Y directions and an accuracy within 50 microns is achieved.



चित्र A.24: नियंत्रित वातावरण के साथ विकसित LPBF मशीन

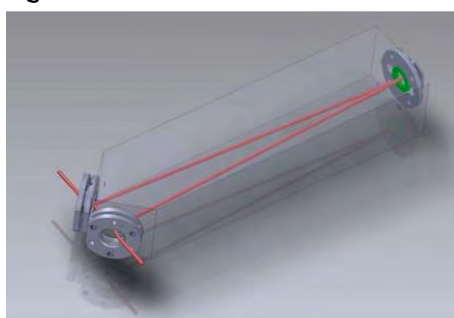
Fig. A.24: LPBF machine developed with controlled atmosphere

A.25. 1064 nm NPRO लेसर के लिए एक त्रिकोणीय मोड क्लीनर गुहा का डिजाइन और विकास: असाधारण उच्च मोड शुद्धता के साथ लेसर प्रकाश स्रोत नॉन-प्लेनर रिंग ऑसिलेटर (NPRO) में माइकल्सन इंटरफेरोमीटर के आउटपुट पर उच्च फ्रिंज कंट्रास्ट और उच्च S/N अनुपात प्राप्त करने के लिए आवश्यक है। यह विशिष्ट त्रिकोणीय फैब्री-पेरोट गुहा मौलिक TEM₀₀ मोड के लिए विशेष रूप से अनुनादी है, जिसे इस मोड को संचारित करने के लिए डिज़ाइन किया गया है। साथ ही यह अवांछित उच्च क्रम मोड को कुशलतापूर्वक प्रतिबिंबित और क्षीण करती है।

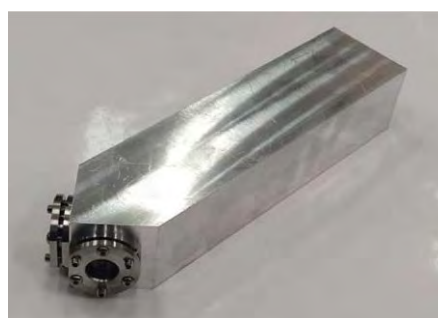
A.25. Design and Development of a triangular mode cleaner cavity for 1064 nm NPRO laser:

Laser light source with exceptionally high mode purity is prerequisite to achieve high fringe contrast and a high signal-to-noise ratio at the Michelson Interferometer's output in Non-Planer Ring Oscillator (NPRO). This specific triangular Fabry-Perot cavity is exclusively resonant for the fundamental TEM₀₀ mode, designed to transmit this mode while efficiently reflecting and attenuating undesired higher order modes by a substantial factor. The design and optimization of

गुहा का डिजाइन और अनुकूलन फिनेसे सॉफ्टवेयर का उपयोग करके किया गया था, जिसे इसकी त्रिकोणीय ज्यामिति के लिए चुना गया था, जो लेसर में प्रतिबिंबित उच्च क्रम मोड प्रकाश को पश्च-युग्मित करने के जोखिम को कम करता है। परिणामी अनुकूलित डिजाइन को एल्यूमीनियम 6061 T-6 मिश्र धातु में मूर्त रूप दिया गया था, जो समय के साथ लंबे समय तक स्थिरता और न्यूनतम उष्मा बहाव सुनिश्चित करता है।



the cavity were conducted using Finesse software, chosen for its triangular geometry that mitigates the risk of back coupling the reflected higher order mode light back to the laser. The resultant optimized design was materialized in Aluminium 6061 T6 alloy, ensuring prolonged stability and minimal thermal drifts over time.



चित्र A.25: SolidWorks से मिले ऑप्टिकल लेआउट और विकसित त्रिकोणीय गुहा की तस्वीरें
Fig. A.25: Optical layout with SolidWorks and the photograph of the developed triangular cavity

A.26. नाभिकीय ईंधन और नाभिकीय परमाणु ईंधन संकुल घटकों के गुणवत्ता नियंत्रण के लिए यंत्र-दृष्टि आधारित मेट्रोलॉजी और निरीक्षण प्रणालियों का विकास:

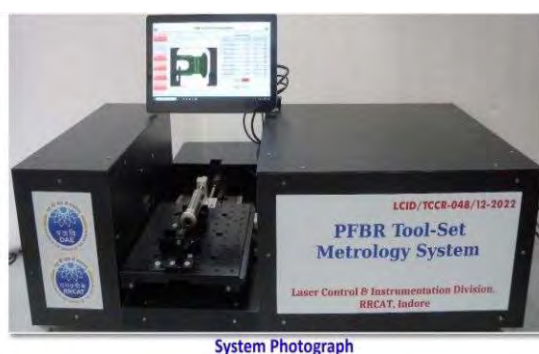
राराप्रप्रौके में डिजाइन और विकसित छाया ग्राफ तकनीक पर आधारित मेट्रोलॉजी सिस्टम DAE की विभिन्न इकाइयों में स्थापित किए गए हैं। इनमें PHWR के ईंधन पंचों के लिए, उच्च परिशुद्धता ट्यूब रोलर (HPTR) के लिए, स्वचालित ईंधन प्लेट छंटाई स्टेशन फास्ट ब्रीडर टेस्ट रिएक्टर (FBTR) के लिए और दाबित फास्ट ब्रीडर रिएक्टर (PFBR) के टूल सेट के आयाम माप शामिल हैं। इन प्रणालियों में $\pm 10 \mu$ और 10μ की पुनरावर्तनीयता है। इसके अलावा, PHWR ईंधन बंडलों की अंतिम प्लेटों पर उत्कीर्ण अल्फान्यूमेरिक वर्णों को पढ़ने के लिए एक

A.26. Development of machine vision-based metrology & inspection systems for quality control of nuclear fuel & nuclear fuel assembly components:

Metrology systems based on shadow graph technique designed and developed at RRCAT have been installed at various units of DAE. These include, for fuel punches of PHWR, for high precision tube roller (HPTR), for automated fuel pellet sorting station fast breeder test reactor (FBTR) and for dimension measurement of tool set of pressurized fast breeder reactor (PFBR). These systems have an accuracy of $\pm 10 \mu$ and repeatability of 10μ . Also, an optical character recognition (OCR) / optical character verification (OCV) system is developed to read alphanumeric characters engraved on end plates of PHWR fuel

ऑप्टिकल कैरेक्टर रिकग्निशन (OCR)/ऑप्टिकल कैरेक्टर वेरिफिकेशन (OCV) सिस्टम विकसित किया गया है। यंत्र-दृष्टि आधारित प्रणाली इन उत्कीर्ण अल्फ़ान्यूमेरिक वर्णों को एक साथ पढ़ती है और एक टैग पर एक उपयुक्त QR कोड प्रिंट करती है। इन टैग को QR कोड स्कैनर का उपयोग करके परिवहन के क्रमिक चरणों में पहचान के लिए बंडल से जोड़ा जाएगा। राराप्रप्रौके ने NFC के लिए 2 प्रणालियाँ विकसित की हैं।

bundles. Machine vision-based system reads these engraved alphanumeric characters simultaneously and prints an appropriate QR code on a tag. These tags will be attached to the bundle for identification in successive stages of transportation using QR code scanner. RRCAT has developed 2 such systems for NFC.



चित्र A.26: दाबित फास्ट ब्रीडर रिएक्टर (PFBR) टूल-सेट के लिए मेट्रोलॉजी प्रणाली

Fig.A.26: Metrology system for pressurized fast breeder reactor (PFBR) tool-set

A.27. PW Ti: sapphire लेसर द्वारा इलेक्ट्रॉन त्वरण पर प्रयोग:

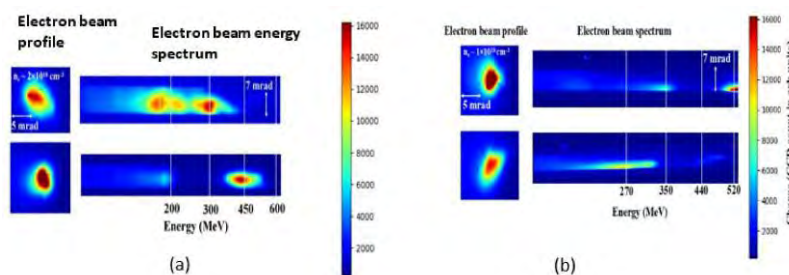
राराप्रप्रौके में एक PW Ti: sapphire लेसर सिस्टम (Make- M/s Thales LAS France SAS, Elancourt Cedex, France Model: ALPHA 0.1 x S 1 PW) शुरू किया गया है। PW लेसर वैक्यूम बीम लाइन और बीम लाइन सहायक उपकरणों को चालू किया गया और वैक्यूम प्लाज्मा चैंबर के साथ जोड़ा गया है। 220 mm व्यास के PW बीम को वैक्यूम बीम लाइन के माध्यम से प्रचारित किया जाता है और इसे 4 m की फोकल लंबाई के बड़े एपर्चर के अवतल दर्पण का उपयोग करके वैक्यूम प्लाज्मा कक्ष में केंद्रित किया जाता है। बीम फोकस $\sim 30 \mu$ (FWHM) मापा जाता है। PW लेसर बीम का उपयोग करके गैस जेट (नाइट्रोजन $\sim 10^{18}$

A.27. PW Ti: sapphire laser experiments on electron acceleration:

A PW Ti-Sapphire laser system (Make- M/s Thales LAS France SAS, Elancourt Cedex, France Model: ALPHA 0.1 x S 1 PW) has been commissioned at RRCAT Indore. The PW laser vacuum beam line and beam line accessories have been commissioned and coupled to the vacuum Plasma Chamber. The PW beam of 220 mm diameter is propagated through vacuum beam line and it is focused in the vacuum plasma chamber using large aperture dielectric concave mirror of focal length 4 m. The beam focus is characterized and it is measured ~ 30 microns (FWHM). The experiments on the laser Wakefield acceleration in gas jet (Nitrogen at gas density $\sim 10^{18}$ gm per cc)

gm/cc) में लेसर वेकफील्ड त्वरण पर प्रयोग 2×10^{19} W/cm² की लेसर तीव्रता पर किए गए हैं। लेसर को 400 TW की शक्ति पर संचालित किया गया था और बाद में इसकी शक्ति ~ 530 TW तक बढ़ाई गयी। >500 MeV की बीम ऊर्जा के साथ < 10 mrad विचलन से संयोजित इलेक्ट्रॉन बीम प्राप्त किया गया है।

using PW laser beam have been carried out at laser intensity of $\sim 2 \times 10^{19}$ W/cm². The laser was operated at power of 400 TW and subsequently its power is increased to ~ 530 TW. The well collimated electron beam of < 10 mrad divergence with a maximum beam energy > 500 MeV is achieved.



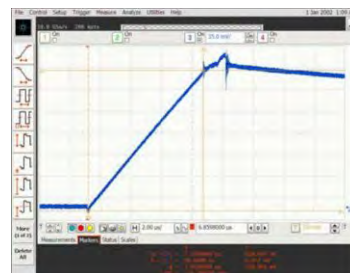
चित्र A.27: PW लेसर इलेक्ट्रॉन बीम प्रोफाइल और ऊर्जा स्पेक्ट्रा (a) 400 TW, (b) 530 TW
Fig. A.27: PW laser electron Beam profile and Energy Spectra (a) 400 TW and (b) 530 TW

A.28. IRFEL में तेज स्टीयरिंग मैग्नेट पावर सप्लाई की स्थापना और कमीशनिंग:

IRFEL में इलेक्ट्रॉन बीम के ऊर्जा प्रसार में वृद्धि को मापने के लिए एक सघन तीव्र स्टीयरिंग चुंबक पावर सप्लाई की आवश्यकता थी। यह मापन लेसिंग के दौरान लेसर दक्षता का अनुमान लगाने में मदद करेगा। एक मैक्रो पल्स में ऊर्जा विस्तार का अध्ययन करने के लिए तेजी से ऊर्ध्वाधर द्विध्रुवीय किकर चुंबक को सक्रिय करने के लिए एक पावर सप्लाई डिजाइन, विकसित, परीक्षण और कमीशन की गई थी। बिजली आपूर्ति विनिर्देश हैं: उच्चतम धारा: 2.6 kA, लोड प्रेरकत्व: 0.2 μ H, पल्स पुनरावृत्ति दर: 1 Hz, रैप अप (रैखिक): 7 μ s और रैप डाउन: 500 μ s, पीक वर्तमान स्थिरता $\pm 0.1\%$ । चुंबक में रैखिक रूप से बढ़ती धारा पल्स उत्पन्न करने के लिए ट्रांसफार्मर के प्राथमिक पर एक चरण वोल्टेज लागू किया गया है। लोड धारा को करंट ट्रांसफार्मर से मापा गया है।

A.28. Installation and commissioning of fast steering magnet power supply in IRFEL Tunnel:

A compact fast steering magnet power supply was required to measure the increase in energy spread of the spent electron beam in IRFEL. This measurement will help estimate the laser efficiency during lasing. A power supply was designed, developed, tested and commissioned to energize fast vertical dipole kicker magnet to study the beam energy spread within a macro pulse. The power supply specifications are: Peak current: 2.6 kA, Load inductance: 0.2 μ H, Pulse Repetition Rate: 1 Hz, Ramp up (linear): 7 μ s and Ramp down: 500 μ s, peak current stability $\pm 0.1\%$. A step voltage has been applied across the primary of transformer for generating a linearly rising current pulse in the magnet. The load current has been measured with current transformer



चित्र A.28: IRFEL सुरंग में तेज स्टीयरिंग चुंबक हेतु शक्ति आपूर्ति और इसकी धारा तरंग
Fig. A.28: Fast steering magnet power supply in IRFEL Tunnel and its current waveform

A.29. TAPS-1 और 2 रिएक्टर रिसर्कुलेशन लूप के प्रतिस्थापन के लिए लेसर कटिंग तकनीक की तैनाती:

TAPS-1 और 2 ने 1969 में अपना वाणिज्यिक संचालन शुरू किया था और ये जनवरी 2020 से रखरखाव के लिए बंद हैं। इनके रिएक्टर रिसर्कुलेशन लूप का प्रतिस्थापन किया जाना है। उच्च विकिरण मात्रा, स्थान की कमी, पथ में आने वाले कई उपकरणों और क्रमशः 30 mm मोटाई और 682 mm व्यास के कारण इसे लेसर द्वारा काटने को उचित पाया गया। इस उद्देश्य के लिए, 1kW औसत पावर फाइबर युग्मित स्पंदित ND:YAG लेसर को परिवर्तनीय पल्स ऊर्जा, पल्स अवधि और पल्स आवृत्ति के साथ साइट पर स्थापित किया गया था। पांच ट्रॉलियों पर आधारित एक नए मोटर चालित उपकरण का डिजाइन और विकास किया गया था। इस उपकरण को पाइप के 150 mm सीधे खंड में रखा गया था और रोटेशन की गति 5 से 100 mm/min. की सीमा में है। 30 mm मोटी SS-316L ट्यूब के लिए सिंगल पास लेसर काटने की प्रक्रिया को भी अनुकूलित किया गया है और न्यूनतम विकिरण मात्रा के साथ द्वितीयक स्टीम जनरेटर (SSG) और पंप के बीच TAPS-1 लूप-ए वेल्ड संयुक्त के सबसे जटिल स्थानों में से एक के इन-सीटू लेसर कटिंग के लिए सफलता पूर्वक तैनात किया गया है।

A.29. Deployment of laser cutting technology for replacement of TAPS-1&2 reactor recirculation loop:

TAPS-1&2, started their commercial operation in 1969 and are in shut down for maintenance since Jan. 2020. Replacement of TAPS-1&2 reactor recirculation loop is to be carried out. Due to high radiation dose involvement, space constraints, several equipments falling in the path, large thickness and diameter of 30 mm and 682 mm respectively, laser cutting was found to be appropriate solution. For this purpose, RRCAT developed 1 kW average power fiber coupled pulsed Nd:YAG laser with variable pulse energy, pulse duration and pulse frequency was installed at site. Design and development of a novel motor driven tool based on five trolleys was carried out. This tool was mounted in a 150 mm straight section of the pipe and speed of rotation is in the range of 5 to 100 mm/min. Single pass laser cutting process for 30 mm thick SS316L tube has also been optimized and deployed successfully for in-situ laser cutting of one of the most complex locations of TAPS-1 Loop-A weld joint between secondary steam generator (SSG) and pump with minimum radiation dose consumption.



चित्र A.29: TAPS-1 में SSG और पंप के बीच लूप-ए वेल्ड जोड़ की इन-सीटू लेसर कटिंग।

Fig. A.29: In-situ laser cutting of Loop-A weld joint between SSG and pump in TAPS-1.

A.30. CECE आधारित भारी जल विसंदूषण अनुप्रयोग के लिए प्लैटिनम लोडेड कार्बन एरोजेल (Pt-CA) लेपित संरचित पैकिंग उत्प्रेरक मॉड्यूल का विकास:

प्लैटिनम लोडेड कार्बन एरोजेल लेपित संरचित पैकिंग उत्प्रेरक मॉड्यूल के विकास का उद्देश्य एक्सचेंज रिएक्टर आयतन में विशिष्ट प्लैटिनम लोडिंग को बढ़ाना है, जिससे परिशोधन संयंत्र का आकार कम हो जाता है। कार्य में HWD, BARC के सहयोग से Pt लोडेड कार्बन एरोजेल (Pt-CA) का संश्लेषण शामिल था। राराप्रौके में हाइड्रोजन-जल विनिमय कॉलम में इन मॉड्यूल के परीक्षण ने 15 lpm के H_2 गैस प्रवाह पर 44 ppm से 106 ppm तक D / H मान के संदर्भ में ड्यूटेरियम संवर्धन के साथ अच्छी उत्प्रेरक गतिविधि दिखाई।



चित्र A.30(a): इकट्ठे संरचित पैकिंग उत्प्रेरक मॉड्यूल।
Fig.A.30(a): Assembled structured packing catalyst module.

A.30. Development of Platinum loaded carbon aerogel (Pt-CA) coated structured packing catalyst modules for CECE based heavy water decontamination application:

The development of Platinum loaded carbon aerogel coated structured packing catalyst modules is aimed at enhancing specific Platinum loading per volume of the exchange reactor thereby reducing the size of decontamination plant. The work involved synthesis of Pt loaded carbon aerogel (Pt-CA) in collaboration with HWD, BARC. Testing of these modules in the hydrogen-water exchange column at RRCAT showed good catalytic activity with deuterium enrichment measured in terms of D/H value from 44 ppm to 106 ppm at H_2 gas flow of 15 lpm.



चित्र A.30(b): 45 नमूने तैयार संरचित पैकिंग उत्प्रेरक मॉड्यूल।
Fig. A.30(b): 45 nos. of finished structured packing catalyst modules.

A.31. पुराने सील-ऑफ ग्लास ट्यूब CO₂ लेसर और 150 W RF उत्तेजित सील-ऑफ CO₂ लेसर के लिए नवीनीकरण तकनीक का विकास:

पुराने ग्लास ट्यूब आधारित सील-ऑफ CO₂ लेसर के लिए एक स्वदेशी नवीनीकरण तकनीक विकसित की गई है। रॉकेट ईंधन परीक्षण अनुप्रयोग के लिए VSSC, ISRO तिरुवनंतपुरम में विकसित नियंत्रण प्रणाली के साथ एक नवीनीकृत 80W ग्लास ट्यूब लेसर स्थापित किया गया है। नवीनीकृत लेसर संतोषजनक ढंग से काम कर रहा है। इसके अलावा, VSSC, तिरुवनंतपुरम से प्राप्त एक गैर-कार्यशील आयातित 150 W मेटल-ट्यूब आधारित आरएफ-संचालित सील-ऑफ CO₂ लेसर को भी नवीनीकृत और तैनात किया गया है।



चित्र A.31(a): नियंत्रण प्रणाली के साथ नवीनीकृत ग्लास ट्यूब-आधारित CO₂ लेसर।
Fig.A.31(a): Refurbished glass tube-based CO₂ laser with Control System.

A.32. RAPS-3 में एन-मास कूलेंट चैनल रिप्लेसमेंट (EMCCR) अभियान के दौरान सभी 612 बेलो लिप वेल्ड जोड़ों की लेसर कटाई:

RAPS-3 रिएक्टर ने जून 2000 में अपना वाणिज्यिक संचालन शुरू किया और ~ 22 वर्षों के परिचालन के बाद, मूल्यांकन अध्ययनों के आधार पर, AERB ने 2023 में बड़े पैमाने पर शीतलक चैनल प्रतिस्थापन (EMCCR) अभियान के लिए जाने का फैसला किया। मई-जून 2023 में, बेलो लिप वेल्ड जोड़ों के लिए लेसर आधारित कटिंग तकनीक तैनात

A.31. Development of refurbishment technology for aged sealed-off glass tube CO₂ lasers and 150 W RF excited sealed-off CO₂ laser:

An indigenous refurbishment technology has been developed for aged glass tube based sealed-off CO₂ lasers. A refurbished 80 W glass tube laser, along with in-house developed control system, has been installed at VSSC, ISRO Thiruvananthapuram for rocket fuel testing application. The refurbished laser has been working satisfactorily. In addition, a non-functioning imported 150 W metal-tube based RF-powered sealed-off CO₂ laser, received from VSSC, Thiruvananthapuram has also been refurbished and deployed.



चित्र A.31(b): नवीनीकृत RF संचालित 150 W CO₂ लेसर हेड। Fig.A.31(b): Refurbished RF-powered 150 W CO₂ Laser Head.

A.32. Laser cutting of all the 612 bellow lip weld joints during en-masse coolant channel replacement (EMCCR) campaign at RAPS-3:

RAPS-3 reactor started its commercial operation in June 2000 and after an operational life of ~22 years, based of life assessment studies, AERB decided to go for en-masse coolant channel replacement (EMCCR) campaign in 2023. In May-June 2023, laser based cutting technology for bellow lip weld joints was deployed and in-situ cutting of all the 612 bellow lip weld joints was

की गई थी और सभी 612 बेलो लिप वेल्ड जोड़ों की इन-सीटू कटिंग सफलतापूर्वक की गई। सभी बेलो लिप के लिए छल्ले को अलग करना सुनिश्चित किया गया था। दो स्वदेशी रूप से विकसित 250 W औसत शक्ति Nd: YAG लेसर सिस्टम के साथ फाइबर ऑप्टिक बीम डिलीवरी का उपयोग उत्तर और दक्षिण वॉल्ट से रिमोट कटिंग के लिए किया गया फाइबर ऑप्टिक बीम डिलीवरी, टूल रोटेशन और लेसर सिस्टम के रिमोट कंट्रोल के माध्यम से रिमोट ऑपरेशन के साथ विकिरण मात्रा की खपत को कम किया गया। 3 महीने की अनुमानित आवश्यकता की तुलना में एक सप्ताह ही लगा।



चित्र.A.32: RAPS -3 और 4 साइट पर बेलो लिप का लेसर कटिंग मॉकअप।

carried out successfully and separation of all the bellow rings was ensured for all the bellow lips. Two indigenously developed 250 W average power Nd: YAG laser systems with fiber optic beam delivery were utilized for remote cutting from north and south vaults. Radiation dose consumption was minimized with remote operation by means of fiber optic beam delivery and remote control of tool rotation and laser system. The time required was one weeks as against the estimated requirement of 3 months.

Fig.A.32: Laser cutting mockup of bellow lip at RAPS-3&4 site

A.33. लेसर दिष्ट ऊर्जा निक्षेपण का उपयोग करके Ti प्लेट पर Cu परत का विकास:

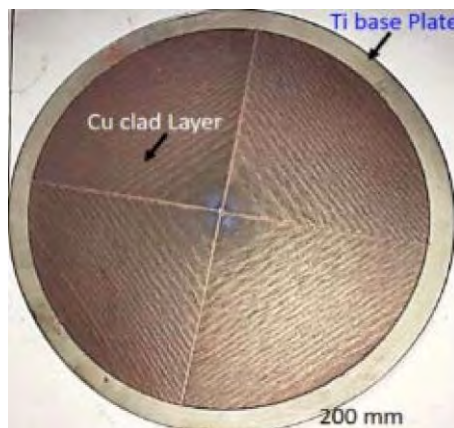
पारंपरिक प्रक्रिया का उपयोग करते हुए Ti (>400 मिमी) की बड़ी बेस प्लेट पर लगभग 500 μm मोटाई की Cu परत का विकास उस परत के विपटलन के कारण चुनौतीपूर्ण है। इस चुनौती को दूर करने के लिए, लेसर दिष्ट ऊर्जा निक्षेपण जैसी उन्नत विनिर्माण प्रक्रिया अत्यधिक उपयुक्त है। इसके लिए नियंत्रित वातावरण के साथ एक स्वदेशी रूप से विकसित 2 kW फाइबर लेसर आधारित LDED तकनीक का उपयोग किया जाता है। लेसर क्लैडिंग के लिए, -106 से 45 μm की सीमा में गोलाकार

A.33. Development of Cu clad Layer on Ti Plate using laser directed energy deposition:

Development of Cu clad layer of thickness around 500 μm on large base plate of Ti (>400 mm), using conventional process, is challenging due to delamination of clad layer. To overcome this challenge, advanced manufacturing process such as laser directed energy deposition is highly suitable. For this project, an indigenously developed 2 kW fiber laser based LDED technique with controlled atmosphere is employed. For the laser cladding, gas atomized Cu powder with spherical shape and particle size in the range of -106 to 45 μm is used. To achieve crack and defect

और कण आकार के साथ गैस एटमाइज्ड Cu पाउडर का उपयोग किया जाता है। Ti पर Cu की दरार और दोष मुक्त परत प्राप्त करने के लिए लेसर पावर, स्कैन गति और पाउडर फीड दर जैसे विभिन्न प्रक्रिया मापदंडों को अनुकूलित किया जाता है। क्लैड परत की मोटाई $\sim 500 \mu\text{m}$ के लगभग हो जाती है।

free clad layer of Cu on Ti plate different process parameters such as laser power, scan speed and powder feed rate are optimized. The thickness of clad layer is turned out to be of the order of $\sim 500 \mu\text{m}$.



चित्र A.33: बड़े Ti सबस्ट्रेट (व्यास 450 मिमी) पर जमा Cu क्लैड परत।

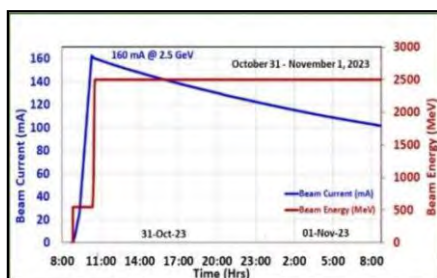
Fig. A.33: Cu clad layer deposited on large Ti substrate (diameter 450 mm).

B. मूलभूत एवं अनुप्रयुक्त अनुसंधान:

B.1. अनुसंधान अनुप्रयोगों हेतु इंडस सिंक्रोट्रॉन सुविधा :

राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केंद्र में सिंक्रोट्रॉन विकिरण स्रोत, इंडस-1 व इंडस-2, एक राष्ट्रीय सुविधा है जो सिंक्रोट्रॉन विकिरण (SR) उपयोगकर्ताओं के लिए चौबीसों घंटे प्रचालित की जाती है। इंडस-2 पर 18 बीमलाइनें और इंडस-1 पर 07 बीमलाइनें प्रचालित हैं जिनका उपयोग बड़ी संख्या में विश्वविद्यालयों, शैक्षणिक संस्थानों, राष्ट्रीय प्रयोगशालाओं और उद्योगों के शोधकर्ताओं द्वारा किया जा रहा है। इंडस बीमलाइन्स पर उपयोगकर्ता द्वारा किए गए प्रयोगों की कुल संख्या 775 से अधिक है तथा मार्च 2024 तक इसकी संख्या लगभग 1000 होना अपेक्षित है।

उपयोगकर्ताओं के लिए SR बीम की उपलब्धता इंडस-1 में लगभग 22 घंटे/प्रतिदिन और इंडस-2 में 17 घंटे/प्रतिदिन है। इस कार्य निष्पादन के साथ, वर्ष 2023-24 के लिए अनुमानित बीम उपलब्धता इंडस-1 के लिए ~5700 घंटे और इंडस-2 के लिए ~5600 घंटे होने की आशा है। यह कार्य निष्पादन अन्य देशों में प्रचालित समरूप सिंक्रोट्रॉन विकिरण स्रोतों के बराबर है। इंडस मशीनों का उपयोगकर्ता मोड ऑपरेशन नीचे चित्र B.1(a) और 1(b) में दिया गया है :



चित्र B.1(a): मशीन अध्ययन प्रयोगों का इंडस-1 प्ररूपी उपयोक्ता मोड प्रचालन

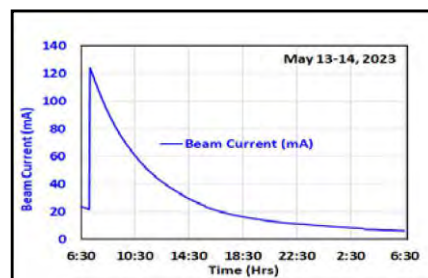
Fig.B.1(a): Typical user mode operation of Machine studies experiments Indus-1

B. Basic and Applied Research:

B.1. Indus Synchrotrons facility for research applications:

Synchrotron radiation sources, Indus-1 and Indus-2 at RRCAT, constituting a national facility, are operated for the synchrotron radiation (SR) user community in round-the-clock mode. Eighteen beamlines on Indus-2 and seven beamlines on Indus-1 are operational which are being utilized by a large number of researchers from universities, academic institutions, national laboratories and industries. The total number of user experiments carried out on Indus beamlines have been more than 775 and expected to be around 1000 by the March 2024.

The availability of SR beam for users has been around 22 hours/day in Indus-1 and 17 hours/day in Indus-2. With this performance, the projected beam availability for the year 2023-24 is expected to be ~ 5700 hours for Indus-1 and ~ 5600 hours for Indus-2. This performance is at par with similar synchrotron radiation sources operating in other countries. A typical user mode operation of Indus machines is given in Fig. B.1(a) and (b) below.



चित्र B.1(b): इंडस-2 का प्ररूपी उपयोक्ता मोड प्रचालन

Fig.B.1(b): Typical user mode operation of Indus-2

इंडस मशीन के अध्ययन और सुधार संबंधी प्रयोगों के लिए प्रत्येक माह में दो दिन आरक्षित रखे जाते हैं। इस वर्ष इंडस-2 में किए गए प्रयोग इस प्रकार हैं: (a) ब्रॉडबैंड इम्पीडेन्स मापन प्रयोग (b) बीबीए तकनीक का उपयोग करके बीपीआई के एलाइनमेंट ऑफसेट की गणना (c) द्विध्रुवीय वैक्यूम कक्षों के तापमान वृद्धि को हल करने के लिए प्रयोग, (d) न्यूनतम क्लोज्ड ऑर्बिट डिस्टॉर्शन (सीओडी)-ऑर्बिट में मशीन का प्रचालन, और (a) निम्न उत्सर्जन प्रकाशिकी पर परीक्षण प्रचालन। इन प्रयोगों का उद्देश्य इंडस-2 एवं इसकी उप-प्रणालियों के कार्य निष्पादन को बेहतर करना है।

ऑपरेशन स्टाफ का प्रशिक्षण और अर्हता:

ऑपरेटरों के 5वें बैच के लिए प्रशिक्षण, अर्हता एवं लाइसेंसिंग कार्य इस वर्ष जून में पूरा हो गया है। इस बैच में, कुल 39 ऑपरेटरों को प्रशिक्षित किया गया तथा उन्होंने लेवल 3, 4 व 5 की अर्हता प्राप्त की। इन कर्मिकों को इंडस सुविधा के चौबीसों घंटे प्रचालन के लिए नियुक्त किया गया है।

B.2. इसरो अनुसंधान समूह द्वारा इंडस बीमलाइन्स पर विभिन्न उपकरणों का परीक्षण और अंशांकन गतिविधियाँ :

इसरो के उपयोगकर्ताओं ने अपने अंतरिक्ष अभियानों से संबंधित विभिन्न डिटेक्टरों का अंशांकन करने के लिए इंडस-2 बीमलाइनों का उपयोग किया है। आदित्य-एल1 उपग्रह पर सोलर लो एनर्जी एक्स-रे स्पेक्ट्रोमीटर (SoLEXS) पेलोड के समान सॉलिड स्टेट ड्रिफ्ट (SDD) डिटेक्टरों का ऊर्जा रेंज 6 - 22 keV में परीक्षण किया गया है। आदित्य-एल1 उपग्रह पर HEL1OS पेलोड पर संस्थापित कैडमियम टेल्यूराइड (CdTe) और कैडमियम जिंक टेल्यूराइड (CZT) डिटेक्टरों का 10 - 27 keV की एनर्जी रेंज में परीक्षण किया गया है। HEL1OS पेलोड एक हार्ड एक्स-रे स्पेक्ट्रोमीटर है जिसे 10 - 150 keV की एनर्जी रेंज में सौर फ्लेयर्स का अध्ययन करने के लिए डिज़ाइन किया गया है। स्वेप्ट

Two days are reserved every month for experiments related to machine studies and improvements. The experiments carried out in Indus-2 during this year are: (a) Broadband impedance measurement experiment (b) Calculation of alignment offsets of BPIs using BBA technique (c) Exercises to address the temperature rise issue of dipole vacuum chambers, (d) Operation of machine at the minimised closed orbit distortion (COD) orbit, and (a) Trial operation at low emittance optics. These experiments are aimed towards enhancing the performance of Indus-2 and its sub-systems.

Training & qualification of operation staff:

The Training, Qualification and Licensing programme for 5th batch of operators has been completed in June this year. In this batch, a total of 39 operators have been trained & qualified at levels 3, 4 and 5. These personnel have been deployed for round-the clock operation of the Indus facility.

B.2. Testing and calibration activities of various on-board instruments at Indus beamlines by ISRO research group:

Users from ISRO have used Indus-2 beamlines to perform calibration of various detectors related to their space missions. Solid state drift (SDD) detectors identical to the ones on the SoLEXS (Solar Low Energy X-ray Spectrometer) payload, on-board the Aditya-L1 satellite, have been tested in the energy range 6 - 22 keV. Cadmium telluride (CdTe) and Cadmium Zinc Telluride (CZT) detectors, installed on the HEL1OS payload, on-board the Aditya-L1 satellite have been tested in the energy range of 10 - 27 keV. HEL1OS payload

चार्ज डिवाइस (SCD) डिटेक्टर्स, जो सेलेस्टियल बॉडीज पर स्पेक्ट्रल अध्ययन करने के लिए डिज़ाइन किए गए हैं, आगामी XPoSat अभियान के XSPECT पेलोड पर लगाए जाएंगे, और 0.5 – 16 keV की एनर्जी रेंज में परीक्षण किया गया है।

is a hard x-ray spectrometer that is designed to study solar flares in the energy range of 10 – 150 keV. Swept Charge Device (SCDs) detectors, which are designed to perform spectral studies on celestial bodies, will be mounted on the XSPECT payload of the upcoming XPoSat mission, and have been tested in the energy range of 0.5 – 16 keV.



चित्र. B.2: इंडस-2 के BL-03 पर लगा हुआ इसरो का स्वेप्ट चार्ज डिवाइस डिटेक्टर

Fig. B.2: Swept Charge Device (SCDs) detector of ISRO mounted on BL-03 of Indus-2 for soft x-ray testing.

B.3. इंजीनियरिंग एप्लीकेशन बीमलाइन, BL-02, इंडस में इन-सीटू एक्स-रे डिफ्रैक्शन के लिए मैकेनिकल लोडिंग चरण का इंस्टॉलेशन और कमीशनिंग :

एक्स-रे डिफ्रैक्शन पैटर्न की रिकॉर्डिंग के दौरान डीफोर्मिंग धातुएं, माइक्रोस्ट्रक्चर और मैकेनिकल गुण के मध्य कपलिंग का गहन अध्ययन करने के लिए एक उपयोगी उपकरण है। अध्ययन के लिए इंजीनियरिंग एप्लीकेशन बीमलाइन, BL-02, इंडस-2 में इन-सीटू एक्स-रे डिफ्रैक्शन मापन के लिए एक मैकेनिकल लोडिंग स्टेज संस्थापित और कमीशन किया गया था। मैकेनिकल लोडिंग स्टेज नमूने का अधिकतम आकार 70 मिमी लंबाई, 5 मिमी चौड़ाई और 3 मिमी मोटाई के साथ 0-5000N रेंज में संपीड़न और तनन भार लगाने में सक्षम है।

B.3. Installation and commissioning of mechanical loading stage for in-situ x-ray diffraction at Engineering Applications Beamline, BL-02, Indus:

Deforming metals during the recording of x-ray diffraction patterns, is a useful tool to get a deeper understanding of the coupling between microstructure and mechanical behaviour. A mechanical loading stage for in-situ x-ray diffraction measurements was installed and commissioned at Engineering Applications Beamline, BL-02, Indus-2, for carrying out the studies. The mechanical loading stage is capable of applying compressive and tensile load in the range 0-5000 N with a maximum sample size of 70 mm in length, 5 mm in width and 3 mm in thickness.

B.4. नए ट्रांसमिशन इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप, टैलोस का इंस्टॉलेशन और कमीशनिंग:

टैलोस F200X एक अत्याधुनिक ट्रांसमिशन इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप (टीईएम) है जिसमें कम्पोजीशनल मैपिंग और सेलेक्टिव एरिया इलेक्ट्रॉन डिफ्रैक्शन के लिए ऊर्जा फैलाने वाले एक्स-रे स्पेक्ट्रोस्कोपी (EDS) के साथ उत्कृष्ट हाई-रिज़ॉल्यूशन (एस) टीईएम और टीईएम इमेजिंग क्षमताएं हैं। यह प्रणाली इंडस कॉम्प्लेक्स में संस्थापित और कमीशन की गई है।

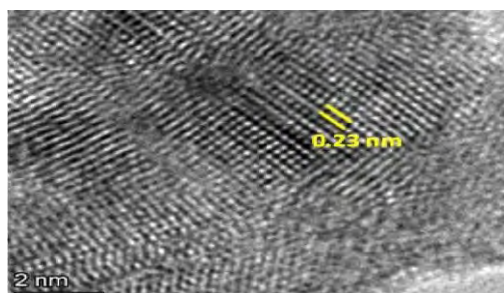


चित्र.B.4(a): इंडस कॉम्प्लेक्स में संस्थापित ट्रांसमिशन इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप (TEM)

B.4. Installation and commissioning of new Transmission Electron Microscope, Talos at RRCAT:

Talos F200X is a state-of-the-art transmission electron microscope (TEM) that combines outstanding high-resolution (S)TEM and TEM imaging with energy dispersive x-ray spectroscopy (EDS) for compositional mapping and selective area electron diffraction capabilities. This system has been installed and commissioned in Indus Complex.

Fig.B.4(a): Transmission Electron Microscope (TEM) installed in Indus Complex



चित्र.B.4(b): 0.25 nm से बेहतर बिन्दु विभेदन दर्शाती गोल्ड क्रॉस ग्रेटिंग की उच्च विभेदन टीईएम इमेज

Fig.B.4(b): High resolution TEM image of Gold cross grating demonstrating the point resolution better than 0.25 nm

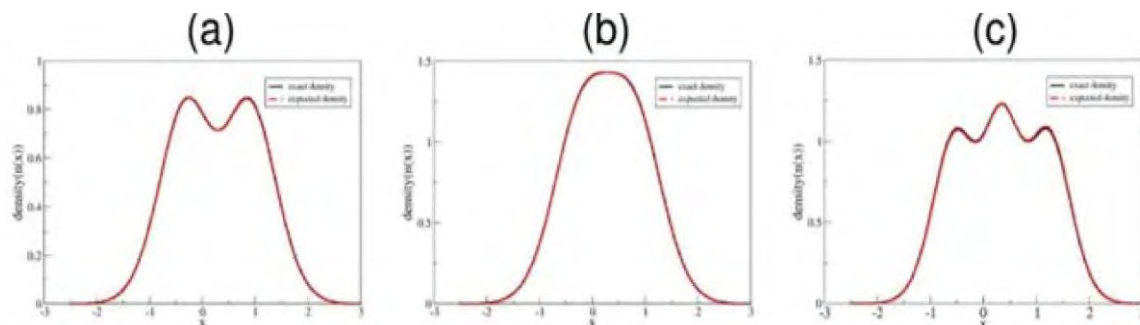
B.5. कक्षक मुक्त घनत्व फलनीय सिद्धांत की उन्नति के लिए न्यूरल नेटवर्क-आधारित पाउली क्षमता का विकास :

पाउली गतिज ऊर्जा कार्यात्मक और इसके कार्यात्मक व्युत्पन्न, जिसे पाउली क्षमता कहा जाता है, इलेक्ट्रॉनिक संरचना गणना के लिए कक्षक मुक्त घनत्व फलनीय

B.5. Development of Neural Network-based Pauli potential for the advancement of orbital-free density functional theory:

The Pauli kinetic energy functional and its functional derivative, termed as Pauli potential, play a crucial role in the successful implementation of orbital-free density functional theory for

सिद्धांत के सफलतापूर्वक कार्यान्वयन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। न्यूरल नेटवर्क निदर्शों के लाभों का उपयोग करने हेतु, पाउली क्षमता के लिए एक आगरा पुष्टि न्यूरल नेटवर्क आधारित निरूपण विकसित किया गया है। इसका उपयोग करके, ऊर्जा न्यूनन सिद्धांत के द्वारा 1-डी निदर्श प्रणाली की मूलावस्था घनत्व की गणना की जाती है।



चित्र B.5: तीन अलग-अलग मूलावस्था विन्यास के लिए अचूक (काली रेखा) और अपेक्षित (लाल रेखा) घनत्व में मिलान का स्तर (a) एकल रूप से दो निम्नतम ऊर्जा स्टेड्स को धारण करने वाले दो स्पिन-लेस कण (b) पाउली एक्सक्लूजन सिद्धांत के अनुसार दो निम्नतम ऊर्जा स्टेड्स को धारण करने वाले तीन इलेक्ट्रॉन्स (स्पिन -1/2) (c) एकल रूप से तीन निम्नतम ऊर्जा स्टेड्स को धारण करने वाले तीन स्पिन-लेस कण

electronic structure calculations. To exploit the advantages of neural network models, a feed-forward neural network based representation for the Pauli potential has been developed. Using the neural network-based representation of the Pauli potential, the ground-state densities of the 1-D model system by exploiting the energy minimization principle are calculated.

Fig B.5: The degree of match between the exact (black line) and expected (red line) density for three different ground-state configurations: (a) two spin-less particles singly occupying two lowest energy states, (b) three electrons (spin-1/2) occupying two lowest energy states according to the Pauli exclusion principle, and (c) three spin-less particles singly occupying three lowest energy states

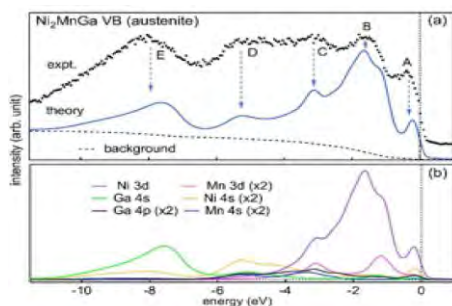
B.6. स्टोइकोमेट्रिक Ni_2MnGa हेस्लर एलॉय के मार्टेसाइट फेज की बल्क इलेक्ट्रॉनिक संरचना :

उपलब्ध सैद्धांतिक मॉडल संरचनाओं और Ni_2MnGa एलॉय की विभिन्न प्रयोगात्मक रूप से निर्धारित मॉड्युलेटेड संरचनाओं का उपयोग करके घनत्व फलनीय सिद्धांत (DFT) का अध्ययन किया गया है। प्राप्त किए गए अण्वी मॉड्युलेटेड सावधि संरचनाओं के लिए, वैलेंस बैंड (VB) स्पेक्ट्रा में सभी अभिलाक्षणिक विशेषताएं, जो सैद्धांतिक रूप से डीएफटी का उपयोग करके अवस्थाओं के घनत्व की गणना से प्रकट की जाती हैं, कम तापमान वाले हार्ड एक्स-रे फोटोइलेक्ट्रॉन स्पेक्ट्रोस्कोपी परिणामों से मेल खाती हैं। फर्मी लेवल के पास VB के आकार से मार्टेसाइट फेज में

B.6. Bulk electronic structure of martensite phase of stoichiometric Ni_2MnGa Heusler alloy:

Density functional theory (DFT) study, using the available theoretical model structures as well as various experimentally determined modulated structures of Ni_2MnGa alloy, has been carried out. For the obtained atomically modulated periodic structures, all of the characteristic features in the theoretically obtained valence band (VB) spectra, calculated from the density of states using DFT, are in excellent agreement with the low temperature hard x-ray photoelectron spectroscopy results. The existence of a charge

चार्ज डेंसिटी वेव (CDW) अवस्था का होना प्रतिपादित होता है। यह कार्य इस बात पर बल देता है कि अण्वी माँड्यूलेशन बल्क Ni_2MnGa मिश्र धातु में सीडीडब्ल्यू फेज की होस्टिंग में एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है।



चित्र.B.6: Ni_2MnGa मिश्र धातु के क्यूबिक ऑस्टेनाइट और मार्टेसाइट फेज के लिए डीएफटी-सिम्युलेटेड तथा प्रयोगात्मक (फोटोइलेक्ट्रॉन स्पेक्ट्रोस्कोपी) वैलेंस बैंड स्पेक्ट्रा की तुलना

B.7. अवरक्त फ्री-इलेक्ट्रॉन-लेसर (IR-FEL) से प्रकाश का उपयोग करके प्रयोगों का पहला सेट :

राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केन्द्र इंदौर में विगत वर्षों में $\pm 5\%$ की पावर स्थिरता के साथ ~ 20 mW आउटपुट पावर हेतु अवरक्त फ्री-इलेक्ट्रॉन-लेसर (IR-FEL) के प्रचालन मापदंडों के इष्टतमीकरण के पश्चात, 45 मीटर लंबी ड्राई-नाइट्रोजन फ्लश ऑप्टिकल बीम ट्रांसपोर्ट लाइन को 17 बृहदाकार दर्पणों की मदद से उपयोक्ता क्षेत्र तक ~ 4 mW IR-पावर ले जाने के लिए इष्टतमीकृत किया गया है। एक मानक टीपीएक्स पदार्थ और एक मानक सिलिकॉन नमूने के माध्यम से FEL विकिरण के संचरण का अध्ययन करने के लिए पहला प्रयोग IR-FEL तरंग दैर्ध्य को 15 – 30 μm से ट्यून करके किया गया और फूरियर ट्रांसफॉर्म इन्फ्रा-रेड (FTIR) स्पेक्ट्रोमीटर से मापन के साथ अनुरूपता पायी गयी है।

आयरन ऑक्साइड की अलग-अलग संघटनों की पतली फिल्में जमा की गई हैं, और IR-FEL विकिरण का उपयोग करके उनके अध्ययन के लिए उपयुक्तता स्थापित करने

density wave (CDW) state in the martensite phase from the shape of the VB near the Fermi level is established. The work emphasizes that the atomic modulation plays an important role in hosting the CDW phase in the bulk Ni_2MnGa alloy.

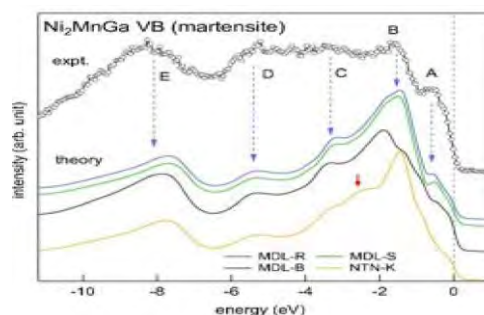


Fig.B.6: Comparison of experimental (photoelectron spectroscopy) valence band spectra with the DFT-simulated ones for the cubic austenite and martensite phase of Ni_2MnGa alloy

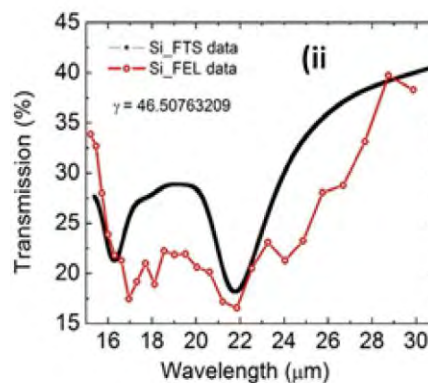
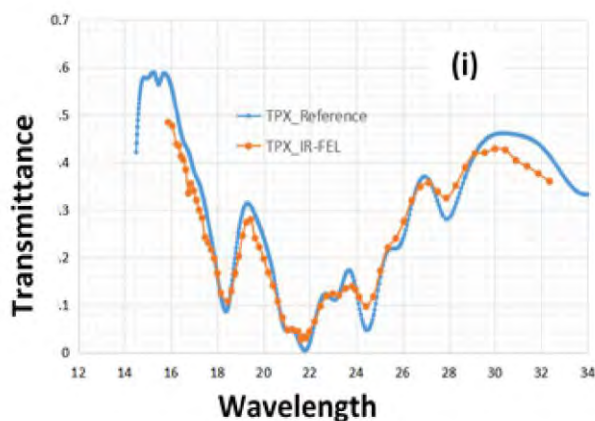
B.7. First set of experiments using light from the IR-FEL:

After optimization of the operation parameters of the infra-red free electron laser (IR-FEL) at RRCAT, Indore to obtain an output power ~ 20 mW with power stability of $\pm 5\%$ in the previous years, the 45 m long dry-Nitrogen flushed optical beam transport line has been optimized to transport ~ 4 mW IR power up to the user area using 17 large size mirrors. First experiments to study the transmission of FEL radiation through a standard TPX material and a standard silicon sample have been done by tuning the IR-FEL wavelength from 15 - 30 μm , and a good agreement with the measurements using a Fourier transform infra-red (FTIR) spectrometer have been obtained.

Iron oxide thin films of different compositions have been deposited, and characterization of these films for structural and electrical properties has

के लिए संरचनात्मक और इलेक्ट्रिकल प्रॉपर्टीज के लिए इन फिल्मों का चरित्रांकन पूर्ण कर लिया गया है।

been completed to establish their suitability for their study using the IR-FEL radiation.



चित्र.B.7: FEL विकिरण का संचरण: (i) एक मानक टीपीएक्स पदार्थ (ii) एक मानक सिलिकॉन नमूना

Fig.B.7: Transmission of FEL radiation through: (i) a standard TPX material, and (ii) a standard silicon sample.

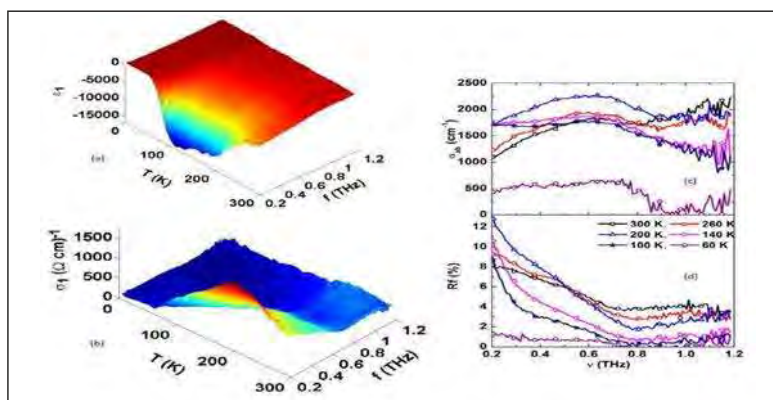
B.8. संभावित स्पिंट्रोनिक्स और अन्य अनुप्रयोगों के लिए आयरन ऑक्साइड की पतली फिल्मों का अध्ययन :

B.8. Studies of iron oxide thin films for potential spintronics and other applications:

भविष्य के आईआर-एफईएल उपयोग के उद्देश्य से सिलिकोन सबस्ट्रेट पर जमा विभिन्न रचना और मोटाई की लौह ऑक्साइड की पतली फिल्मों के तापमान 2-300 K की सीमा में वैद्युत पारगम्यता और टेराहर्ट्ज़ (0.2-1.2 THz) चालकता की जांच उनके माइक्रोस्ट्रक्चर, कणाकार, कणसीमा, एंटी-फेज सीमाओं और लेटिस बेमेल के कारण तनाव विकार के संदर्भ में की गई। इन चुंबकीय पतली फिल्मों में ग्रेन और ग्रेन की बाउंड्री के बीच प्रतिबाधा बेमेल के कारण चार्ज स्थानीयकरण के संकेत देखे गए, जो टेराहर्ट्ज़ स्पिंट्रोनिक्स में उनकी प्रासंगिकता का संकेत देते हैं। परिणामों से पता चलता है कि $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$ मिश्रित

The dielectric permittivity and terahertz (0.2-1.2 THz) conductivity in the temperature range 2- 300 K [Fig.B.8(a)&(b)] of a series of iron oxide thin films of different compositions and thicknesses deposited on Si substrate were investigated in terms of their microstructure, grain size, presence of grain boundaries, anti-phase boundaries and strain disorder due to lattice mismatch, with an aim of future IR-FEL utilization. Signature of charge localization due to impedance mismatch between the grains and grain boundaries were observed in these magnetic thin films, indicating their relevance in terahertz spintronics. The results

पतली फिल्म एक बहुत बड़े अवशोषण गुणांक और न्यूनतम 20 nm फिल्म की मोटाई के लिए परावर्तन <8% प्रदर्शित करती है। यह स्टील्थ तकनीक के लिए इस कम्पोजिट की उपयोगिता को इंगित करता है। अध्ययन से भी पता चलता है कि जमाव के दौरान फिल्मों में Fe^{+2}/Fe^{+3} अनुपात को इष्टतमीकरण करना उनकी पूर्ण तकनीकी क्षमता के उपयोग के लिए मूल सिद्धांत है।



चित्र.B.8: Fe_2O_3/Fe_3O_4 कम्पोजिट (60/40 अनुपात) पतली फिल्म की टेरहर्ट्ज़ प्रॉपर्टी

reveal that Fe_2O_3/Fe_3O_4 composite thin film exhibits a very large absorption coefficient [Fig.B.8(c)] and a reflectance < 8% [Fig.B.8(d)] for a film thickness as low as 20 nm. This indicates the utility of this composite for stealth technology. The study also indicates that optimizing the Fe^{+2}/Fe^{+3} ratio in the films during the deposition itself is the key towards realizing their full technological potential.

Fig.B.8: Terahertz properties of Fe_2O_3/Fe_3O_4 composite (60/40 ratio) thin film.

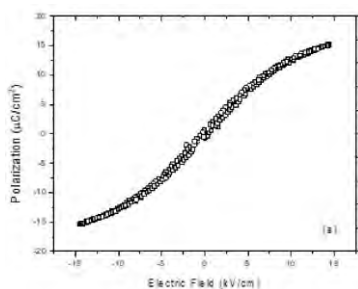
B.9. लेन्थेनम-डोप्ड पीएमएन-पीटी सिरेमिक से बने विद्युत विरूपी (इलेक्ट्रोस्ट्रिक्टिव) डिवाइस :

इलेक्ट्रोस्ट्रिक्टिव पदार्थों में रुचि का कारण प्रिंसीपल इंजीनियरिंग अनुप्रयोगों में माइक्रो-पोजिशनर्स के रूप में उनका संभावित उपयोग है। दाब-वैद्युत प्रवर्तकों को विद्युत-विरूपी प्रवर्तक द्वारा प्रतिस्थापित किया जा रहा है क्योंकि विद्युत विरूपी प्रवर्तकों में विद्युत क्षेत्र उत्क्रमण से होने वाली शैथिल्य हानि कम होती है, उच्च विस्थापन होता है, पोलिंग की आवश्यकता नहीं होती है, और प्रतिक्रिया जल्दी होती है। इलेक्ट्रिक फील्ड इंड्यूस्ड पोलराइजेशन और स्ट्रेन स्विचिंग से होने वाली शैथिल्य हानि निम्नतम है। आंतरिक संश्लेषित लेन्थेनम-डोप्ड पीएमएन-पीटी सिरेमिक से बने एक इलेक्ट्रोस्ट्रिक्टिव डिवाइस का भी निर्माण किया गया है और 10 kV/cm बाह्य विद्युत क्षेत्र बल तक परीक्षण

B.9. Electrostrictive device based on La-doped PMN-PT ceramics:

Interest in electrostrictive materials is due to their possible use as micro-positioners in precise engineering applications. Piezoelectric actuators are being replaced by electrostrictive actuators because the later have low hysteretic losses under electric field reversal, high displacements, no need of poling, and very fast response times. Electric field induced polarization and strain switching has shown minimal hysteresis loss [Fig.B.9(a)]. An electrostrictive device based on in house synthesized La-PMN-PT ceramics is also fabricated and tested up to 10 kV/cm external electric field. Maximum polarization (P_{max}) is increased approximately five times compared to

किया गया है। बाह्य विद्युत क्षेत्र में सिरैमिक की तुलना में अधिकतम पोलराइजेशन (P_{max}) में लगभग पांच गुना वृद्धि हो जाती है। एक्सटर्नल फील्ड को 1 Hz पर स्विच किया जाता है। यह पदार्थ अनुकूली प्रकाशिकी और माइक्रो-पोजीशनर अनुप्रयोग के लिए उपयुक्त है।



चित्र.B.9: (a) 8/65/35 सिरैमिक का फील्ड इंड्यूस्ड पोलराइजेशन स्विचिंग और (b) इलेक्ट्रोस्ट्रिक्टिव डिवाइस से इसकी तुलना-इलेक्ट्रिक फील्ड का स्विचिंग: 1 Hz पर

B.10. मैंडिबुलर ग्रोथ मॉड्यूलेशन थेरेपी पर लो इंटेंसिटी अल्ट्रासाउंड के प्रभावों का अध्ययन करने के लिए लो इंटेंसिटी पल्स्ड अल्ट्रासाउंड स्रोत का विकास :

मैंडिबुलर ग्रोथ मॉड्यूलेशन थेरेपी पर कम-तीव्र पराध्वनि के प्रभावों का अध्ययन करने के लिए एक कम-तीव्र स्पंद पराध्वनि स्रोत (LIPUS) विकसित किया गया, जिसमें आंतरिक रूप से संविरित पीजोइलेक्ट्रिक सिरैमिक डिस्क शामिल हैं। इसमें सॉलिड-स्टेट रिएक्शन रूट द्वारा पीजेटटी (53/47) आधारित कस्टमाइज्ड पीजो-इलेक्ट्रिक सिरैमिक डिस्क का संविचरण भी शामिल था। डिस्क की ज्यामिति को 1.48 से 1.50 MHz की सीमा में थिक्नेस मोड रेजोनेंस फ्रीक्वेंसी प्राप्त करने के लिए इष्टतमीकरण किया गया था। सिरैमिक डिस्क का उपयोग पोर्टेबल बैटरी संचालित इलेक्ट्रॉनिक ड्राइव के साथ-साथ दो चैनल प्रोब के साथ प्रोग्राम योग्य पुनरावृत्ति दर पर 30 mW/cc तीव्रता के 1.5 MHz अल्ट्रासाउंड पल्स उत्पन्न करने के लिए किया गया था। संपूर्ण मॉड्यूल, जिसमें पीजोइलेक्ट्रिक डिस्क, दो चैनल प्रोब और ड्राइविंग इलेक्ट्रॉनिक्स सम्मिलित हैं, का उपयोग

the ceramic at the same external electric field. Fig.B.9(b) compares the P-E loop of a ceramic disk against the electrostrictive device which also reveals minimal hysteresis loss. The external field is switched at 1 Hz. This material is promising for adaptive optics and micro-positioner application.

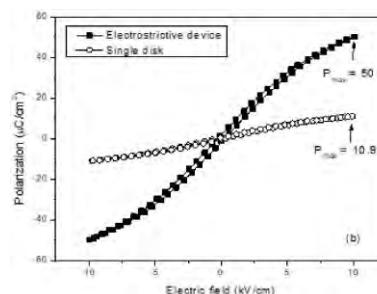


Fig.B.9: (a) Field-induced polarization switching of 8/65/35 ceramic and (b) its comparison with electrostrictive device - Electric field switching: at 1 Hz

B.10. Development of a low-intensity pulsed ultrasound source to study the effects of low-intensity ultrasound on the mandibular growth modulation therapy:

A portable Low-intensity pulsed ultrasound source (LIPUS), carrying the in-house fabricated piezoelectric ceramic discs was developed to study the effects of low-intensity ultrasound on the mandibular growth modulation therapy. It involved fabrication of PZT (53/47) based customized piezo-electric ceramic discs by solid-state reaction route. The geometry of the discs was optimized to achieve thickness mode resonance frequency in the range 1.48 to 1.50 MHz. The ceramic discs were used to develop a portable battery-operated electronic drive along with two channel probe to generate bursts of 1.5 MHz ultrasound pulses of intensity 30 mW/cc at programmable repetition rate (Fig.B.10). The complete module, comprising of piezoelectric discs, two channel probe and

शासकीय दंत महाविद्यालय, इंदौर में क्लिनिकल कार्य और परीक्षण के लिए किया जा रहा है।



चित्र.B.(10): (बाएं) निम्न-तीव्र स्पंद पराध्वनि स्रोत (LIPUS) और (दाएं) पीजो-इलेक्ट्रिक डिस्क सहित अल्ट्रासोनिक हेड्स का आवर्धित दृश्य

driving electronics is being used at Government College of Dentistry, Indore for clinical work and testing.



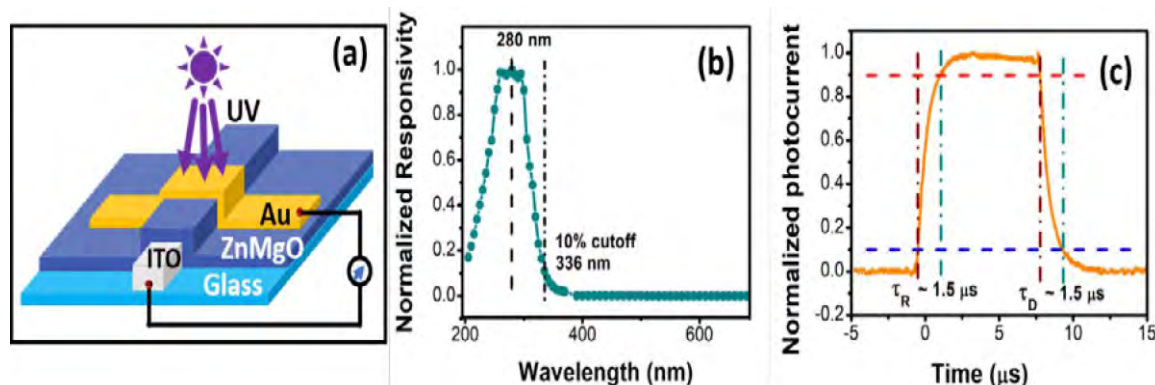
Fig.B.(10): (Left) In-house developed module for low intensity ultrasound generation and (right) magnified view of ultrasonic heads, carrying piezo-electric disc

B.11. MgZnO ऊर्ध्वाधर शोटकी जंक्शन के आधार पर स्व-संचालित "अल्ट्राफास्ट विसिबल-ब्लाइंड पराबेगनी फोटोडिटेक्टरों" का विकास:

"अल्ट्राफास्ट विसिबल-ब्लाइंड पराबेगनी फोटोडिटेक्टर", बिना बाह्य अभिनति (स्वशक्ति) के कार्य कर सकते हैं, जोकि uv-संचार, मिसाइल का अतिशीघ्र पता लगाने और एस्ट्रोफिजिकल uv-इमेजिंग जैसे कई विशेष अनुप्रयोगों के लिए उपयोगी हैं। चित्र B.11(a) क्रॉसबार ज्यामिति में Au/MgZnO/ITO Schotky जंक्शन का आरेख दर्शाता है। ऊर्ध्वाधर ज्यामिति के क्रॉसबार पैटर्न और संबंधित छोटे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रफल के परिणामस्वरूप इन डिवाइस की शून्य बायस विभव पर जंक्शन कैपेसिटेंस अत्यंत कम ~ 27 pF होती है, जो बेहद तेज ($\sim 1.5\mu s$ का उत्थान और पतन समय) एवं स्व-संचालित विजिबल ब्लाइंड पराबेगनी फोटोरेस्पॉन्स उत्पन्न करती है।

B.11. Development of ultrafast self-powered visible blind UV photodetectors based on MgZnO vertical Schottky junction:

Visible blind UV photodetectors with fast response that can work without external bias (self-powered) are useful for a number of specialized applications like UV communication, early missile detection and astrophysical UV imaging. Fig.B.11(a) shows schematic diagram of the Au/MgZnO/ITO Schottky junction in crossbar geometry. The vertical geometry of the crossbar pattern and the associated small device cross-section results in a low junction capacitance of the devices of ~ 27 pF at zero bias, which in turn produces extremely fast visible blind self-powered ultraviolet (UV) photo response with both the rise and fall times of $\sim 1.5 \mu s$.



चित्र B.11: (a) क्रॉसबार ज्यामिति में Au/MgZnO/ITO शोर्टकी जंक्शन का योजनाबद्ध आरेख, (b) डिवाइस का रिसपॉन्सिविटी स्पेक्ट्रा जो विज़िबल ब्लाइंड पराबैंगनी फोटो-संस्चन दिखा रहा है (c) तीव्र प्रतिसाद दर्शाता टेम्पोरल फोटोरेस्पॉन्स

Fig.B.11: (a) Schematic diagram of the Au/MgZnO/ITO Schottky junction in crossbar geometry, (b) The normalized responsivity spectra of the device showing visible blind UV photo detection, and (c) the temporal photo response showing fast response

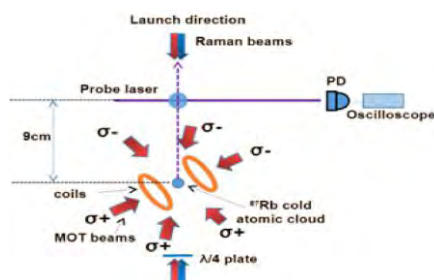
B.12. शीतल परमाणु ग्रेविमीटर का विकास:

पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण त्वरण (g) के सटीक माप के खनिज अन्वेषण, भूविज्ञान और भूकंपीय और ज्वारीय गतिविधियों की निगरानी में कई अनुप्रयोग हैं। इस संदर्भ में कोल्ड एटम इंटरफेरोमेट्री तकनीक का उपयोग करके g के सटीक माप के लिए एक ग्रेविमीटर विकसित किया गया है। सेटअप में ^{87}Rb परमाणुओं के लिए एक मैग्नेटो-ऑप्टिकल ट्रैप (MOT) है, जिसमें ऊर्ध्वाधर अक्ष के चारों ओर तीन गुना समरूपता [111] ज्यामिति में एमओटी बीम के तीन जोड़े हैं। ठंडे ^{87}Rb परमाणुओं को $\sim 25 \mu\text{K}$ के तापमान पर एक परमाणु फव्वारा बनाने के लिए लंबवत रूप से प्रक्षेपित किया गया। परमाणु फव्वारे में, रमन पल्स (^{87}Rb की मूल अवस्था $F = 2$ और $F = 1$ को जोड़ने वाले) को परमाणु इंटरफेरोमेट्री के लिए $\pi/2$ -T- π -T- $\pi/2$ के अनुक्रम के साथ उपयोग किया जाता है (π -पल्स अवधि $12 \mu\text{s}$)। ऊपर की ओर बढ़ने वाले परमाणुओं द्वारा अनुभव किए गए गुरुत्वाकर्षण मंदन " g " के कारण बदलते डॉपलर शिफ्ट की भरपाई के लिए रमन बीम आवृत्ति को लगातार परिवर्तन की आवश्यकता होती है। इस डॉपलर संवेदनशील रमन उत्तेजना की जांच रमन आवृत्ति परिवर्तन दर के कारण $F = 2$ अवस्था में परमाणु संख्या में परिवर्तन को मापकर की

B.12. Development of a cold atom gravimeter:

The accurate measurement of earth's gravitational acceleration (g) has several applications in mineral exploration, geology and monitoring of seismic and tidal activities. In this regard, a gravimeter for accurate measurement of g has been developed using a cold atom interferometry technique. The setup has a magneto-optical trap (MOT) for ^{87}Rb atoms which has three pairs of MOT beams in three-fold symmetry [111] geometry around the vertical axis (Fig.B.12(a)). Cold ^{87}Rb atoms at temperature of $\sim 25 \mu\text{K}$ were launched vertically to form an atomic fountain. While atoms are in the fountain, the Raman pulses (connecting $F = 2$ and $F = 1$ of ground state of ^{87}Rb) are applied for atom interferometry with a sequence as $\pi/2$ -T- π -T- $\pi/2$ (π -pulse duration was $12 \mu\text{s}$). The Raman beam frequency requires to be chirped to compensate the changing Doppler shift due to gravitational deceleration " g " experienced by upward moving atoms. This Doppler sensitive Raman excitation is monitored by measuring the atomic population in $F = 2$ state as a function of Raman frequency chirp, called interference fringes. The fringes are also

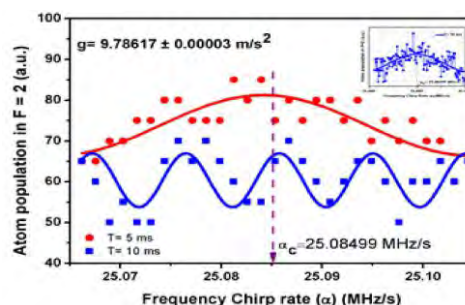
जाती है, जिससे इंटरफेरोमेट्रिक फ्रिंज प्राप्त होती है। T के दो मानों के लिए इंटरफेरोमेट्रिक फ्रिंज के उभयनिष्ठ अधिकतम मान ने हमें "g" के कारण चरण बदलाव की भरपाई के लिए आवश्यक केंद्रीय आवृत्ति चर्प दर (α_c) जानने में सक्षम बनाया। चित्र B.12(b) के अनुसार अनुमानित आवृत्ति परिवर्तन दर 25.08499 MHz/s है, जो गुरुत्वाकर्षण 'g' त्वरण का मूल्य $9.78617 \pm 0.00003 \text{ m/s}^2$ देती है।



चित्र B.12(a): शीत परमाणु गुरुत्वाकर्षणमापी का योजनाबद्ध आरेख।

Fig.B.12(a) : Schematic of the cold atom gravimeter.

sensitive to pulse separation T . The common maximum of interferometric fringes for two values of T , enabled us to know the central chirp rate (α_c) required to compensate the phase shift due to "g". As shown in the Fig.B.12(b), this chirp rate is estimated to be 25.08499 MHz/s, which gives acceleration due to gravity 'g' as $9.78617 \pm 0.00003 \text{ m/s}^2$.



चित्र B.12(b): g माप के लिए रमन पल्स परमाणु इंटरफेरोमेट्री फ्रिंज।

इनसेट चित्र : केंद्रीय चर्प दर (α_c) के आसपास आवृत्ति परिवर्तन दर की प्रत्यक्ष स्कैनिंग का प्रयोगात्मक डेटा

Fig.B.12(b): Raman pulse atom interferometry fringes for g measurement.

Inset: Experimental data for precise scanning of the frequency chirp rate around the central chirp rate (α_c).

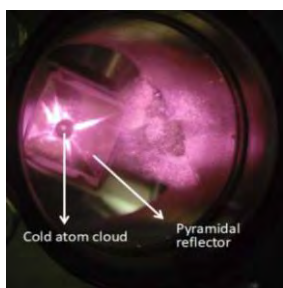
B.13. खोखले पिरामिड दर्पण के प्रयोग से कॉम्पैक्ट मैग्नेटो-ऑप्टिकल ट्रैप (MOT) का विकास:

मैग्नेटो-ऑप्टिकल ट्रैप (MOT) सेटअप में पिरामिड दर्पण का उपयोग कई ऑप्टिकल घटकों की आवश्यकता को बचाता है। यह एक MOT सेटअप को सुगठित भी बनाता है। इस उद्देश्य के लिए एक स्वनिर्मित 40 mm x 40 mm खोखला पिरामिड परावर्तक का उपयोग MOT सेटअप के लिए किया गया है। UHV कक्ष के अंदर पिरामिडनुमा दर्पण स्थापित किया गया। इस कक्ष में केवल एक वृत्ताकार ध्रुवीकृत लेजर बीम को दिष्ट किया जाता है और पिरामिड दर्पण पर गिरने के परिणामस्वरूप पा MOT का निर्माण होता है, जबकि पारंपरिक MOT में छह बीम की आवश्यकता होती है। (चित्र

B.13. Development of a compact magneto-optical trap (MOT) using a hollow pyramidal mirror:

The use of pyramidal mirror in a magneto-optical trap (MOT) setup saves requirement of many optical components. This also makes a MOT setup compact. For this purpose, an in-house fabricated 40 mm x 40 mm hollow pyramidal reflector, has been used for MOT setup. The pyramidal mirror was installed inside the UHV chamber. Only one circularly polarized laser beam directed into the chamber and incident on pyramidal mirror results in formation of MOT, without the requirement of six beams as needed in a conventional MOT. (Fig.B.13(a)) shows the photograph of the atom

B.13(a)) पिरामिड दर्पण के अंदर बने MOT में फंसे परमाणु बादल की तस्वीर को दर्शाता है। (चित्र B.13(b)) MOT लोडिंग डेटा को दर्शाता है, जो समय के साथ MOT से प्रतिदीप्ति में वृद्धि दर्शाता है। फोटोडायोड को MOT में परमाणुओं की संख्या के लिए कैलिब्रेट किया गया। हमने देखा कि 4.5 A के डिस्पेंसर करंट पर लगभग 2×10^6 परमाणु ($87R_b$) MOT में फंसे हुए पाए गए। कक्ष में यूएचवी दबाव के माप के लिए MOT लोडिंग डेटा (लोडिंग समय और परमाणुओं की संतृप्त संख्या) का उपयोग (चित्र B.13 (b)) में किया गया था। 4.5 A के डिस्पेंसर करंट पर दबाव लगभग 6×10^{-8} torr पाया गया।

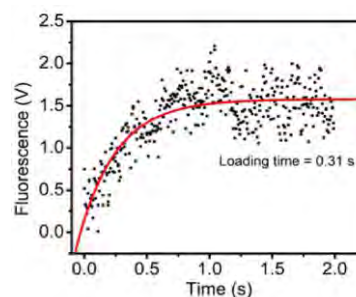


चित्र B.13(a): पिरामिडनुमा MOT में विपाशित शीतल परमाणु मेघ
Fig.B.13(a): Trapped cold atoms cloud in the pyramidal MOT

B.14. नाइट्राइड आणविक (मॉलिक्यूलर) बीम एपिटैक्सी (MBE) सुविधा की स्थापना:

नाइट्राइड आणविक (मॉलिक्यूलर) बीम एपिटैक्सी (MBE) के लिए एक सुविधा स्थापित की गई है जहां गोथ (बफर) कक्ष में 1×10^{-11} (2×10^{-10}) torr का अंतिम वैक्यूम प्राप्त किया गया। इस MBE निकाय में एक त्रि-कक्ष संरचना होती है जिसमें सैंपल को चुंबकीय हस्तांतरण रॉड की मदद से अल्ट्रा-हाई वैक्यूम स्थितियों के तहत स्थानांतरित किया जाता है। इस सुविधा के उपयोग से विभिन्न परिस्थितियों में जैसे कि विकास तापमान, III/V फ्लक्स अनुपात, विकास दर और बफर परत की मोटाई, आदि, में नीलमणि सब्सट्रेट पर GaN एपिटैक्सियल 363 nm पर फोटोलुमिनसेंस (PL) स्पेक्ट्रम में एक उच्च संकीर्ण शिखर FWHM के साथ देखा

cloud trapped in the MOT formed inside the pyramidal mirror. (Fig.B.13(b)) shows MOT loading data, which shows increase in fluorescence from the MOT with time. The photodiode was calibrated for number of atoms in the MOT. We observed that nearly 2×10^6 atoms ($87R_b$) were trapped in the MOT at a dispenser current of 4.5 A. MOT loading data (loading time and saturated number of atoms) was used in (Fig.B.13(b)) for measurement of UHV pressure in the chamber. The pressure was found out to be nearly 6×10^{-8} Torr at dispenser current of 4.5 A.



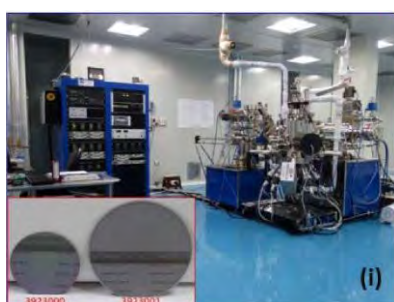
चित्र B.13(b): MOT परमाणुमेघ से प्रतिदीप्ति संसूचित करता फोटो-डायोड सिग्नल

Fig.B.13(b): Photo-diode signal detecting fluorescence from the MOT atom-cloud

B.14. Establishment of a nitride molecular beam epitaxy facility:

A facility for nitride molecular beam epitaxy (MBE) has been established where an ultimate vacuum of 1×10^{-11} (2×10^{-10}) Torr in the growth (buffer) chamber was achieved. It has a triple-chamber configuration, and the sample is transferred across the three chambers under ultra-high vacuum conditions with the help of a magnetic transfer rod. Several GaN epitaxial layers have been grown on Sapphire under different conditions, such as growth temperature, III/V flux ratio, growth rate, and buffer layer thickness, etc. An intense PL peak at 363 nm with a narrow full width at half maxima

गया जोकि फिल्म की उच्च गुणवत्ता को दर्शाता है। इसके अलावा, फोटोलुमिनसेंस स्पेक्ट्रम में दिखाई देने वाले विकार लक्षणीय कमी देखी गयी, यह भी फिल्म की उच्च गुणवत्ता दर्शाता है। परत के एक्स-रे विवर्तन पैटर्न का पतला (~350 arcsec) होना भी GaN फिल्म की उच्च एकाकी क्रिस्टलीय गुणवत्ता की पुष्टि करता है। परत की मोटाई की असमता $\pm 1\%$ से बेहतर है, जो MBE विकास प्रक्रिया के उत्कृष्ट नियंत्रण की पुष्टि करती है। परतें विकसित की गई हैं।

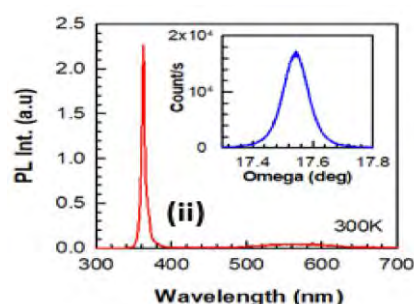


चित्र B.14(a): नाइट्राइड MBE सुविधा
इनसेट: GaN (2" dia) और GaN / AlGaIn (3" dia) बहु-क्वांटम कुएं के नमूनों की छवि
Fig.B.14(a): Nitride MBE facility,
Inset: Image of GaN (2" dia) and GaN/AlGaIn (3" dia) multi-quantum well samples,

B.15. ताप-निर्भर फूरियर ट्रांसफॉर्म इन्फ्रारेड स्पेक्ट्रोस्कोपी सिस्टम की स्थापना:

निम्नताप फूरियर ट्रांसफॉर्म इन्फ्रारेड (FTIR) स्पेक्ट्रोस्कोपी प्रणाली अर्धचालक पदार्थ को चिह्नित करने के लिए बनाई गई है जिसकी ऑप्टिकल / कंपक संक्रमण ऊर्जा अवरक्त (IR) क्षेत्र में आती है। विशेष रूप से संकीर्ण बैंडगैप पदार्थ के लिए तापीय विस्तार को कम करके उच्च S/N अनुपात प्राप्त करने के लिए निम्नताप FTIR सहायक है। ट्रांसमिशन स्पेक्ट्रा में होने वाला प्रखर संक्रमण InAs नमूने की बैंड एज सुविधा को संदर्भित करता है, जहां बैंड गैप का मापा मूल्य 0.34 से 0.38 eV तक भिन्न होता है जब तापमान 300 से 10 K तक कम हो जाता है। सुविधा का उपयोग

(FWHM) is observed. Furthermore, the defect feature which is seen in the visible range is considerably suppressed, indicating a low density of defects in the layer. A low FWHM (~350 arcsec) of the x-ray diffraction pattern of the layer confirms high crystalline quality of GaN layer. Thickness non-uniformity of the layer is better than $\pm 1\%$, which confirms an excellent control of the MBE growth process.



चित्र B.14(b): 6.7 मिमी मोटी GaN परत का PL स्पेक्ट्रम, इनसेट उसी नमूने का HRXRD पैटर्न

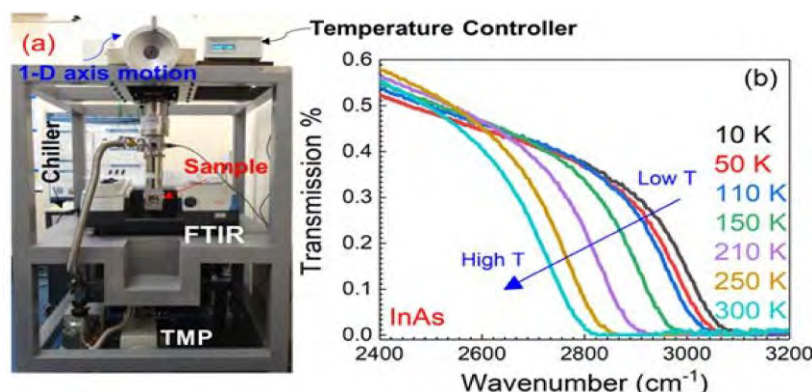
Fig.B.14(b): PL spectrum of 6.7 mm thick GaN layer, inset shows HRXRD pattern of the same sample.

B.15. Establishment of a temperature-dependent Fourier transform infrared spectroscopy system:

A low temperature Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy system is made to characterize the semiconductor materials whose optical/vibrational transition energy falls in the infrared (IR) region. A low temperature FTIR is helpful for obtaining a high signal-to-noise ratio by minimizing the thermal broadening, in particular for narrow bandgap materials. In order to make a robust and reliable system, various components like FTIR, CCR, Chiller, TMP and temperature controller are procured from reputed vendors. A sharp transition in the transmission spectra refers

किसी भी अर्धचालक सामग्री को चरित्रांकित करने के लिए किया जा सकता है जिसका ऑप्टिकल / कंपन संक्रमण IR क्षेत्र में होता है तथा यह सुविधा राराकेट व अन्य संस्थानों के उपयोगकर्ताओं हेतु उपलब्ध है।

to the band edge feature of the InAs sample, where the measured value of band gap varies from 0.34 to 0.38 eV when the temperature is lowered from 300 to 10 K. The facility can be used to characterize any semiconductor material whose optical/vibrational transitions occur in the IR region, and is open to users from RRCAT and other institutes.



चित्र B.15: (a) ताप-निर्भर FTIR मापन प्रणाली (b) ~300 nm मोटी InAs नमूने का ताप-निर्भर FTIR स्पेक्ट्रा

Fig.B.15: (a) Temperature-dependent FTIR measurement system. (b) Temperature-dependent FTIR spectra of ~300 nm thick InAs sample.

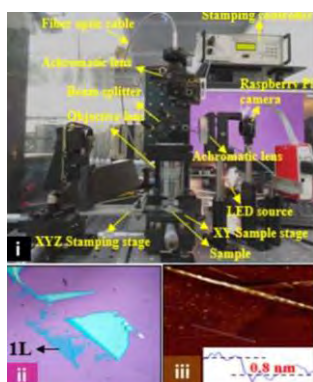
B.16. मोनोलेयर बनाने के लिए एक सूक्ष्मदर्शीय यांत्रिक अपशल्कन प्रणाली का विकास:

द्विधा (2-D) अर्धचालक मोनोलेयर की ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक और लचीले इलेक्ट्रॉनिक घटकों के रूप में उपयोग की काफी संभावनाएं हैं। हालांकि, द्विधा MoS₂ का संश्लेषण एक बड़ी चुनौती है, इसे बनाने के कई तरीके हैं, परन्तु उच्च कोटि परमाण्विक महीन परतें बनाने के लिए यांत्रिक अपशल्कन सबसे प्रभावी विधि है। आर. आर. कैट में, द्विधा MoS₂ तैयार करने के लिए पीडीएमएस-जेल ड्राई ट्रांसफर स्टैम्पिंग विधि के साथ एक यांत्रिक अपशल्कन प्रणाली विकसित की गई है। प्रकाशीय वैशम्य की पहचान करके मोनोलेयर MoS₂ को SiO₂/Si सबस्ट्रेट पर स्थानांतरित करने के लिए एक प्रकाशीय सूक्ष्मदर्शी और एक मुद्रांकन तल को एकीकृत किया गया है। AFM विश्लेषण 2D MoS₂ की ऊंचाई 0.8 nm होने की पुष्टि करता है। E_{2g}1 (383.7 cm⁻¹) और A_{1g} (403.9 cm⁻¹) मोड का रमन विश्लेषण, 20.2 cm⁻¹ के अंतर के

B.16. Development of a microscopic mechanical exfoliation setup for monolayer preparation:

Monolayers of two dimensional (2D) semiconductors find great potential as optoelectronic and flexible electronic devices. However, the synthesis of 2D MoS₂ is a major challenge. Several methods have been developed, but mechanical exfoliation is the most effective route for creating high-quality, atomically thin layers. At RRCAT, a mechanical exfoliation setup with a PDMS-gel dry transfer stamping method is developed to prepare 2D MoS₂. An optical microscope and a stamping stage to transfer monolayer MoS₂ onto SiO₂/Si substrate by identifying the optical contrast are integrated. AFM analysis confirms the height of 2D MoS₂ to be 0.8 nm. Raman analysis of E_{2g}1 (383.7 cm⁻¹)

साथ, MoS_2 की द्विधा प्रकृति की पुष्टि करता है। बड़े आकार की परतें तैयार करने के लिए, स्वर्ण की सहायता से अपशल्कन किया जाता है, जो बड़े क्षेत्र के मोनोलेयर के उत्पादन के लिए एक प्रभावी तरीका है। गंधक की स्वर्ण के प्रति तीव्र बंधुता है, इसलिए स्वर्ण की सहायता से अपशल्कन बहुत अच्छी तरह से काम करता है। ग्राफीन शिखरों को D (1348.7 cm^{-1}) और G (1585.6 cm^{-1}) बैंड पर भी देखा गया। MoS_2 / ग्राफीन हेटरो-संरचना में देखी गई व्यापक और वर्धित दोषावस्था इन दोनों पदार्थों के बीच परस्पर क्रिया होने का प्रमाण देती हैं, जो इसके ऑप्टिकल और इलेक्ट्रॉनिक गुणों को बदल देती हैं।



चित्र B.16: (i) मोनोलेयर तैयार करने के लिए स्टैम्पिंग तंत्र के साथ एक इन-हाउस विकसित माइक्रोस्कोप, (ii) तैयार मोनोलेयर की ऑप्टिकल माइक्रोस्कोप छवि, (iii) तैयार मोनोलेयर पर AFM माप, (iv) गोल्ड असिस्टेड यांत्रिक अपशल्कन द्वारा तैयार बड़े MoS_2 मोनोलेयर का रमन स्पेक्ट्रम, इनसेट- नमूने की ऑप्टिकल छवि

B.17. InGaN क्वांटम वेल (QW) आधारित उच्च इलेक्ट्रॉन गतिशीलता ट्रांजिस्टर संरचना में अल्ट्राफास्ट वाहक गतिकी:

InGaN टर्नरी मिश्र धातु अपने असाधारण गुण जैसे इलेक्ट्रॉनों के उच्च संतृप्ति वेग और बड़े बैंडगैप के कारण, उच्च इलेक्ट्रॉन गतिशीलता ट्रांजिस्टर (HEMT) के लिए एक उपयुक्त पदार्थ है। ये गुण इसे सामान्य तापमान पर अगली पीढ़ी के उच्च आवृत्ति और उच्च शक्ति अनुप्रयोगों के

and A1g (403.9 cm^{-1}) modes, with a difference of 20.2 cm^{-1} , confirms the pristine 2D nature of MoS_2 . For preparing larger flakes, gold-assisted exfoliation is performed, which is an effective method for producing large-area monolayers. Sulphur has a strong affinity for gold, hence gold-assisted exfoliation works very well. Graphene peaks were also observed at D (1348.7 cm^{-1}) and G (1585.6 cm^{-1}) bands. The observed broadening and enhanced defect states in the MoS_2 /graphene hetero-structure provide compelling evidence of interaction between MoS_2 and graphene, which alters its optical and electronic properties.

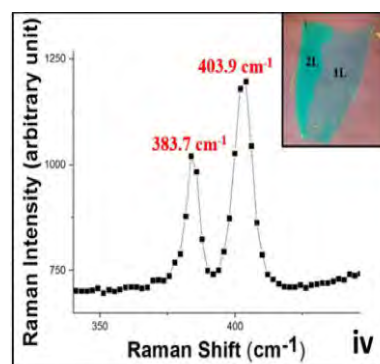


Fig.B.16: (i) An in-house developed microscope along with stamping mechanism to prepare monolayer, (ii) Optical micrograph of prepared monolayer, (iii) The AFM measurement on the prepared monolayer, (iv) Raman spectrum of large sized MoS_2 monolayer prepared by gold assisted mechanical exfoliation, Inset shows the optical image of sample.

B.17. Ultrafast carrier dynamics in InGaN QW based high electron mobility transistor structure:

InGaN ternary alloy is a highly sought-after material for high electron mobility transistors (HEMT) due to its exceptional properties such as high saturation velocity of electrons and large bandgap. These properties make it a promising candidate for the development of next-generation

विकास के लिए एक आशाजनक उम्मीदवार बनाते हैं। GaN बफर परत से InGaN चैनल परत तक इलेक्ट्रॉनों के पारगमन / कैप्चर समय को मापने के लिए, अल्ट्राफास्ट पंप-प्रोब मापन InGaN क्वांटम वेल (QW) चैनल-आधारित HEMT नमूनों पर किए जाते हैं। यह काम कैप्चर / पारगमन / स्थानीयकरण समय मापदंडों की महत्वपूर्ण जानकारी प्रदान करता है जो InGaN/GaN-आधारित HEMT और अन्य उच्च गति ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक उपकरणों में वाहक गतिशीलता के मॉड्यूलेशन को नियंत्रित करने में मदद कर सकता है।

B.18. बाह्यकर्ण संक्रमण के उपचार के लिए सूक्ष्मजीवीरोधी फोटोडायनामिक थेरेपी का उपयोग:

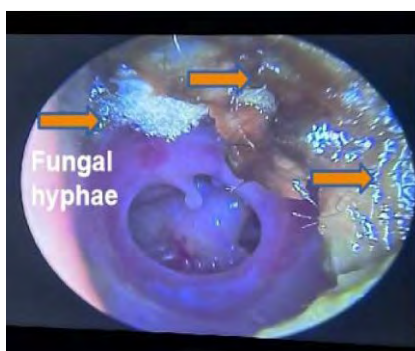
पिछली रिपोर्ट के साथ जारी रखते हुए, कान के संक्रमण के उपचार के लिए सूक्ष्मजीवीरोधी फोटोडायनामिक थेरेपी (APDT) आधारित उपकरण का सत्यापन नैदानिक सेटिंग में किया गया था। इस विशिष्ट अनुप्रयोग के लिए, एक LED को एक कान प्लग में संलग्न किया गया था, जो बाहरी कान के शारीरिक आकार के अनुकूल था। बिजली उत्पादन और तरंग दैर्घ्य क्रमशः 50 mW और ~660 nm थे, जैसा कि पिछली DAE रिपोर्ट में उल्लेख किया गया है, ओटोमाइकोसिस एक आम फंगल कान संक्रमण है, जो आमतौर पर भारत सहित उष्णकटिबंधीय और उपोष्णकटिबंधीय देशों में पाया जाता है, जिसमें उच्च पुनरावृत्ति दर और लंबे समय तक चिकित्सीय पाठ्यक्रम होता है। सूक्ष्मजीवीरोधी दवा प्रतिरोध ओटोमाइकोसिस के इलाज के लिए एक बाधा है। ओटोमाइकोसिस से पीड़ित विषयों में APDT के बाद फंगल बोझ में कमी का मूल्यांकन करने के लिए नैदानिक अध्ययन किए गए थे। यह अध्ययन इंदौर के महाराजा यशवंतराव अस्पताल (MY Hospital) के कान, नाक और गला विभाग में किया गया था। अध्ययन में नैदानिक रूप से निदान ओटोमाइकोसिस वाले 50 रोगियों को शामिल किया गया था। विषयों को यादृच्छिक रूप से

high-frequency and high-power applications at room temperature. To measure the transit/capture time of electrons from GaN buffer layer to InGaN channel layer, ultrafast pump-probe measurements are performed on InGaN quantum well (QW) channel-based HEMT samples. This work provides important information of the capture/transit/localization time parameters that can help to control the modulation of carrier dynamics in InGaN/GaN-based HEMTs and other high-speed optoelectronic devices.

B.18. Use of antimicrobial photodynamic therapy for treatment of external ear infection:

In continuation with the previous report, validation of antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) based device for treatment of ear infections was carried out in clinical setting. For this specific application, one LED was encased in an ear plug, compatible to the anatomical shape of external ear. The power output and wavelength were, 50 mW and ~660 nm, respectively as mentioned in the previous DAE report. Otomycosis is a common fungal ear infection, usually found in tropical and subtropical countries including India, with a high recurrence rate and prolonged therapeutic course. Antimicrobial drug resistance poses an impediment to cure of Otomycosis. Clinical studies were carried to evaluate fungal burden reduction following aPDT in subjects suffering from Otomycosis. The study was conducted in the Department of Ear, Nose & Throat, Maharaja Yashwantrao (MY) Hospital, Indore. The study included 50 patients with clinically diagnosed Otomycosis. Subjects were randomly grouped into two groups of twenty-five each; (i) conventional treatment and (ii) aPDT group. Conventional

पच्चीस के दो समूहों में वर्गीकृत किया गया था; (i) पारंपरिक उपचार और (ii) APDT समूह। पारंपरिक उपचार में एक सप्ताह के लिए एंटीफंगल और एंटीबायोटिक्स कोर्स उपचार शामिल है। APDT को 24 घंटे के अंतराल पर लगातार 3 दिनों के लिए या तो एक बार या दोहराया गया था। APDT के लिए, लक्षित साइटों को हमारे द्वारा तैयार किए गए एक अनुकूलित फोटोसेंसिटाइज़र फॉर्मूलेशन के साथ लागू किया गया था, जिसके बाद लाल बत्ती के लिए 3 मिनट का जोखिम था। रेड लाइट डिलीवरी LED आधारित ईयर प्लग डिवाइस की मदद से की गई थी। ओटोएंडोस्कोपिक परीक्षण के आधार पर प्राथमिक परिणाम फंगल लोड में कमी थी। तीसरे दिन APDT के साथ इलाज किए गए 95% रोगियों में फंगल हाइफे क्लीयरेंस और नैदानिक लक्षणों में सुधार देखा गया। कुल ~ 72% रोगियों ने 2 दिनों के भीतर सुधार दिखाया। इसके विपरीत, कन्वेंशन उपचार प्राप्त करने वाले रोगियों के मामले में संक्रमण की निकासी के लिए न्यूनतम 12-20 दिनों की आवश्यकता होती है।



चित्र B.18: दिन 3 पर APDT (बाएं) से पहले और APDT (दाएं) के बाद एंडोस्कोपिक छवि।

B.19. मेथिसिलिन-प्रतिरोधी स्टेफिलोकोकस ऑरियस (MRSA) के विरुद्ध जीवाणुरोधी गतिविधि को बढ़ाने के लिए एजाडिरेक्टा इंडिका (AI) पर्ण अर्क लेपित ZnO-AI नैनोकोर-शेल कण:

रोगाणुरोधी प्रतिरोध को दूर करने के लिए दुनिया भर में अपनाए जा रहे दो प्रमुख दृष्टिकोण पौधों की पत्तियों के अर्क और धातु नैनोकणों का उपयोग हैं, लेकिन पौधे के

treatment includes antifungal and antibiotics course treatment for a week. aPDT was given either once or repeated for 3 consecutive days at 24 h interval. For, aPDT, the target sites were applied with an optimized photosensitizer formulation prepared by us followed by 3 min exposure to red light. Red light delivery was done with help of the LED based ear plug device. Primary outcomes based on Otoendoscopic examination was reduction in fungal load. Fungal hyphae clearance and improvement in clinical symptoms was observed in 95% of the patients treated with aPDT by day 3. A total of ~ 72 % of subjects showed improvement within 2 days. In contrast, in case of patients receiving convention treatment minimum 12-20 days are required for clearance of infection.



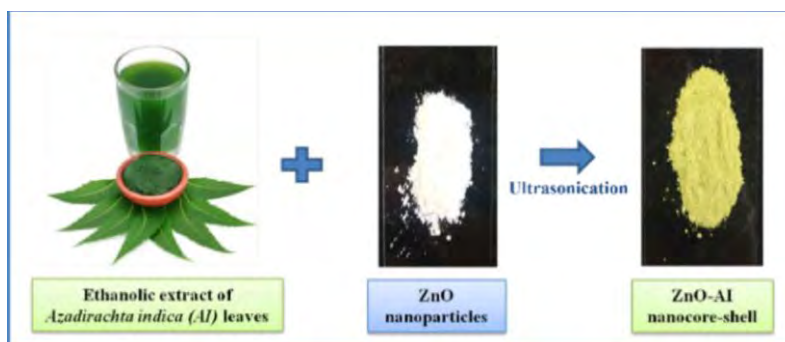
Fig.B.18: Endoscopic image before aPDT (left) and after aPDT (right) on day 3.

B.19. Azadirachta Indica (AI) leaf extract coated ZnO-AI nanocore-shell particles for enhanced antibacterial activity against Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus (MRSA):

Two major approaches being adopted worldwide to overcome antimicrobial resistance are use of plant leaf extracts and metallic nanoparticles, but

अर्क लेपित नैनो कणों की जीवाणुरोधी क्षमता पर कोई रिपोर्ट उपलब्ध नहीं है, जिससे संक्रमण के इलाज के नए तरीके हो सकते हैं। ZnO नैनोकणों (ZnO NPs) के अंतर्निहित जीवाणुरोधी गुणों का लाभ उठाकर एजाडिरेक्टा इंडिका पत्ती के अर्क के साथ संयोजन में जीवाणुरोधी नैनोकणों को इंजीनियर करने के लिए एक अभिनव दृष्टिकोण विकसित किया गया था, जिसके परिणामस्वरूप जीवाणुरोधी प्रभावकारिता में वृद्धि हुई थी। ZnO NPs को वर्षण विधि द्वारा संश्लेषित किया गया था और बाद में ZnO-AI नैनोकोर-शेल संरचनाओं का उत्पादन करने के लिए AI पत्ती निकालने के साथ लेपित किया गया था। ZnO NPs और ZnO-AI नैनोकोर-शेल कणों दोनों की जीवाणुरोधी प्रभावकारिता का मूल्यांकन मेथिसिलिन-प्रतिरोधी स्टेफिलोकोकस ऑरियस (MRSA) के विरुद्ध निषेध परख के क्षेत्र का उपयोग करके किया गया था। निष्कर्षों से पता चला है कि निषेध क्षेत्र के व्यास में नैनोपार्टिकल एकाग्रता-निर्भर वृद्धि हुई है, जिसमें ZnO-AI नैनोकोर-शेल कण बेहतर जीवाणुरोधी गुणों का प्रदर्शन करते हैं, जो ZnO NPs और AI पत्ती के अर्क में मौजूद पॉली फिनोल के संयुक्त प्रभाव के कारण होते हैं ।

no report is available on the antibacterial potential of the plant extract coated nano particles, which may lead to novel ways of treating infections. An innovative approach was developed to engineer antibacterial nanoparticles by leveraging the inherent antibacterial properties of Zinc Oxide nanoparticles (ZnO NPs) in combination with Azadirachta indica (AI) leaf extract, resulting in enhanced antibacterial efficacy. ZnO NPs were synthesized by precipitation method and subsequently coated with AI leaf extract to produce ZnO-AI nanocore-shell structures (Fig.B.19). The antibacterial efficacy of both ZnO NPs and ZnO-AI nanocore-shell particles were evaluated against Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus (MRSA) using zone of inhibition assay. The findings showed a nanoparticle concentration-dependent increased in the diameter of the inhibition zone, with ZnO-AI nanocore-shell particles exhibiting superior antibacterial properties, owing to the combined effect of ZnO NPs and the poly phenols present in AI leaf extract.



चित्र B.19: AI पत्ती अर्क के लेपन के बाद ZnO NPs का रंग सफेद से हरे रंग में बदल जाता है।

Fig.B.19: Change in colour of ZnO NPs from white to green after AI leaf extract coating.

C. प्रौद्योगिकी हस्तांतरण और सहयोगात्मक अनुसंधान :

C.1. फलों और सब्जियों के लिए औद्योगिक रूप से विकसित तरल नाइट्रोजन आधारित प्रशीतित ट्रक का सफल परीक्षण:

तरल नाइट्रोजन आधारित प्रशीतित परिवहन योग्य प्रणाली शीतल वाहक यंत्र (शिवाय) के लिए प्रौद्योगिकी को आरआरकेट द्वारा विकसित व पेटेंट कराया गया। प्रौद्योगिकी को इन्क्यूबेशन मोड में मेसर्स टाटा मोटर्स लिमिटेड (TML) को हस्तांतरित किया गया। इस प्रौद्योगिकी से मे. TML द्वारा विकसित रेफ्रिजरेटेड ट्रक (रीफर) के थर्मल परफार्मेंस का आरआरकेट में सफलतापूर्वक परीक्षण किया गया। इस प्रणाली का महत्वपूर्ण लाभ इसकी पर्यावरण अनुकूलता है, कोई प्रदूषक उत्पन्न नहीं करती, जिससे वर्ष में प्रति रीफर $\sim 37 \text{ MtCO}_2\text{e}$ उत्सर्जन रोका जा सकता है। इस प्रणाली में "मेक इन इंडिया" तकनीक "लैब से लैंड" और "वेस्ट से वेल्थ" का भी पालन होता है, क्योंकि तरल नाइट्रोजन देश में प्रचुर मात्रा में उपलब्ध उपोत्पाद है। इसका सार्थक पहलू यह है कि कृषि उत्पादों को इष्टतम अवस्था में ₹1/kg से कम की प्रशीतन लागत के साथ $\sim 1000 \text{ km}$ तक ले जाया जा सकता है।



चित्र C.1: मेसर्स टाटा मोटर्स लिमिटेड द्वारा विकसित प्रोटोटाइप

C. Technology transfer and collaborative research:

C.1. Successful Testing of, Industrially Developed Liquid Nitrogen based refrigerated truck for fruits and Vegetables:

Technology for Liquid Nitrogen based Refrigerated Transportable system, Sheetal Vahak Yantra (SHIVAY) was developed and patented by RRCAT. Technology was transferred to M/s Tata Motors Ltd. in incubation mode. Refrigerated truck (reefer) developed by them using this technology has been successfully tested at RRCAT for its thermal performance. A significant advantage of this system is 100% Eco-friendliness and generation of no pollutants, which could lead to savings of $\sim 37 \text{ MtCO}_2\text{e}$ emissions from one reefer in a year. This "Make in India" technology complies with the ideology of "Lab to Land", and "Wealth from Waste" also, as liquid nitrogen is a by-product available abundantly in the country. The most significant aspect of this system is that the farm products can now be taken to $\sim 1000 \text{ km}$ with refrigeration cost of less than ₹1/kg under optimum conditions.

Fig.C.1: Prototype developed by M/s Tata Motors Ltd

C.2. AIC π -हब RRCAT को इनक्यूबेशन सेंटर ऑफ द ईयर का पुरस्कार:

'सभी के लिए शिक्षा और अनुसंधान के माध्यम से 3-D प्रौद्योगिकी का लोकतंत्रीकरण' विषय पर केंद्रित आईआईटी बॉम्बे में एक सम्मेलन आयोजित किया गया था। इसके अंतर्गत 9 दिसंबर, 2023 को एडिटिव मैनुफैक्चरिंग में सर्वश्रेष्ठ इनक्यूबेशन केंद्र के रूप में AIC π -Hub RRCAT को '3-D ग्राफी इंजीनियरिंग और मेडिकल अवार्ड 2023' से सम्मानित किया गया। RRCAT में लेजर आधारित डायरेक्टेड एनर्जी डिपोजिशन और पाउडर बेड फ्यूजन सिस्टम दोनों को स्वदेशी रूप से विकसित किया गया है।

C.2. AIC π -Hub RRCAT conferred with Incubation Centre of the year award:

In a conference held at Indian Institute of Technology Bombay with a prime focus on 'Democratizing 3D technology through education and research for the all' on December 9, 2023, AIC π -Hub RRCAT is recognised for the efforts towards the indigenization of additive manufacturing technology through incubation of Laser based Metal Additive Manufacturing and was conferred with 3D GRAPHY ENGINEERING AND MEDICAL AWARD 2023 as the best Incubation centre in Additive Manufacturing. It is worth mentioning that RRCAT has indigenously developed both Laser based Directed Energy Deposition (DED) and Powder Bed Fusion Systems.



चित्र C.2: AIC π -Hub RRCAT को सर्वश्रेष्ठ इनक्यूबेशन सेंटर का पुरस्कार

Fig.C.2: Award for Best Incubation Centre to AIC π -Hub RRCAT

C.3. AMTECH-2023 के दौरान लोकेश मशीन्स लिमिटेड हैदराबाद द्वारा हाइब्रिड DED मशीन (एआईसी π -हब के साथ इनक्यूबेटेड और सह-विकसित) की लॉन्चिंग:

भारत में सबसे बड़ी 3-D प्रिंटिंग प्रदर्शनी एमटेक-2023 के दौरान AIC π -Hub RRCAT इनक्यूबेशन सेंटर और लोकेश मशीन टूल्स हैदराबाद द्वारा सह-विकसित मेटल 3-D प्रिंटिंग मशीन को 1 दिसंबर, 2023 को हाईटेक्स प्रदर्शनी केंद्र, हैदराबाद में लॉन्च किया गया है।

C.3. Launching of hybrid DED machine (incubated and co-developed with AIC π -Hub) by Lokesh Machines Limited Hyderabad during AMTECH-2023:

Metal 3D Printing Machine co-developed by AIC π -Hub (Incubation Centre at RRCAT) and Lokesh Machine Tools Hyderabad has been launched during AMTECH-2023 (the largest 3D Printing Exhibition in India) at Hitex Exhibition Centre, Hyderabad INDIA on December 1, 2023.



चित्र C.3: इनक्यूबेशन में सह-विकसित 3-D मेटल प्रिंटिंग मशीन

Fig.C.3: 3-D Metal Printing Machine co-developed under Incubation

C.4. AIC π -Hub की आधिकारिक वेबसाइट का शुभारंभ:

AIC π -Hub की आधिकारिक वेबसाइट के लॉन्च के साथ नवाचार और उद्यमिता के क्षेत्र में एक महत्वपूर्ण उपलब्धि हासिल की गई है। परमाणु ऊर्जा आयोग के अध्यक्ष तथा परमाणु ऊर्जा विभाग के सचिव डॉ. ए.के.मोहांती ने 6 नवंबर, 2023 को राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केन्द्र में आयोजित एक कार्यक्रम में वेबसाइट का उद्घाटन किया। वेबसाइट को <https://aicpihub.in> पर देखा जा सकता है।

C.4. Launching of the official website of AIC π -Hub:

A significant milestone in the field of innovation and entrepreneurship was achieved with the launch of the official website of AIC π -Hub. Dr. A K Mohanty, Chairman AEC, and Secretary DAE, inaugurated the website in a limited event held at Raja Ramanna Centre for Advanced Technology (RRCAT) on November 6, 2023. The website can be accessed at <https://aicpihub.in>.

C.5. RRCAT में "इनसाइटोपीडिया 1.0" का आयोजन:

AIC π -Hub ने फिक्की-एफएलओ इंदौर चैप्टर के सहयोग से 19 दिसंबर, 2023 को "इनसाइटोपीडिया 1.0" का आयोजन किया। इस कार्यक्रम का उद्देश्य राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केन्द्र (RRCAT) द्वारा विकसित अत्याधुनिक तकनीकों के बारे में जागरूकता पैदा करना और उन्हें व्यावसायिक रूप से प्रतिस्पर्धी उत्पादों और सेवाओं में परिवर्तित करना था। इस कार्यक्रम में शहर की पैंतालीस महिला उद्यमियों ने भाग लिया।

कार्यक्रम का मुख्य आकर्षण, प्रतिभागियों द्वारा केन्द्र की विभिन्न प्रयोगशालाओं का दौरा था जिसमें तरल नाइट्रोजन-आधारित प्रशीतन, लेजर एडिटिव विनिर्माण, लेजर कटिंग-वेल्डिंग और सिंक्रोट्रॉन विकिरण स्रोत (इंडस-2) शामिल थे।

C.5. "INSIGHTOPEDIA 1.0" at RRCAT :

AIC π -Hub, in collaboration with FICCI-FLO Indore Chapter, organized "INSIGHTOPEDIA 1.0" on December 19, 2023. The event was aimed at creating awareness about the cutting-edge technologies developed by Raja Ramanna Centre for Advanced Technology (RRCAT) and fostering their translation into commercially competitive products and services. The event had participation of forty-five women entrepreneurs from the city.

The highlight of the event was the guided tour of the participants to various RRCAT laboratories, including liquid nitrogen-based refrigeration, laser additive manufacturing, laser cutting and welding, and the synchrotron radiation source (Indus-2).

सूचनाप्रद और संवादात्मक सत्रों ने RRCAT, AIC π -Hub, फिक्की एफएलओ इंदौर चैंप्टर और भाग लेने वाली महिला उद्यमियों के बीच ज्ञान के आदान-प्रदान और सहयोग के लिए अवसर प्रदान किया। यह आयोजन प्रौद्योगिकी-संचालित उद्यमिता एवं अनुसंधान और विकास (R&D) को वाणिज्यिक उत्पादों में बदलने के लिए अनुकूल वातावरण को बढ़ावा देने के सामूहिक प्रयास का उदाहरण है।

C.6. प्रौद्योगिकी हस्तांतरण :

तकनीकी नवाचार और स्वदेशी विशेषज्ञता को बढ़ावा देने की दिशा में एक महत्वपूर्ण प्रगति के रूप में, अत्याधुनिक प्रौद्योगिकियां प्रमुख भारतीय कंपनियों को सफलतापूर्वक हस्तांतरित की गई, जिससे अग्नि-संरक्षा और विद्युत प्रणालियों में एक नए युग की शुरुआत हुई है:-

- 1 अग्नि रक्षक - रमन ऑप्टिकल फाइबर आधारित वितरित फायर सेंसर सिस्टम :- मेसर्स टेम्पसेंस इंस्ट्रूमेंट्स (आई) प्राइवेट लिमिटेड, उदयपुर
- 2 अग्नि रक्षक - रमन ऑप्टिकल फाइबर आधारित वितरित फायर सेंसर सिस्टम :- मेसर्स बीसी टेक्नोमेशन प्राइवेट लिमिटेड, भोपाल
- 3 अग्नि रक्षक - रमन ऑप्टिकल फाइबर आधारित वितरित फायर सेंसर सिस्टम :- मेसर्स इंडियो, इंदौर
- 4 इलेक्ट्रोमैग्नेट्स के लिए उच्च-स्थिरता, विद्युत-नियंत्रित, कार्ड-आधारित, डू-बाइपोलर, स्विच-मोड पावर कनवर्टर :- मेसर्स एस एम क्रिएटिव इलेक्ट्रॉनिक्स लिमिटेड, गुड़गांव
- 5 इलेक्ट्रोमैग्नेट्स के लिए उच्च-स्थिरता, विद्युत -नियंत्रित, कार्ड-आधारित, यूनियोपलर, स्विच-मोड पावर कनवर्टर :- मेसर्स एस एम क्रिएटिव इलेक्ट्रॉनिक्स लिमिटेड, गुड़गांव
- 6 सॉलिड-स्टेट आरएफ एम्पलीफायर मॉड्यूल :- मेसर्स टेक्नोपावर इंटरनेशनल, मुंबई

The insightful and interactive sessions provided a platform for knowledge exchange and collaboration between RRCAT, AIC π -Hub, FICCI FLO Indore Chapter, and the participating women entrepreneurs. The event exemplifies a collective effort to promote technology-driven entrepreneurship, fostering an environment conducive to the translation of research and development into tangible commercial products.

C.6. Technology Transfer :

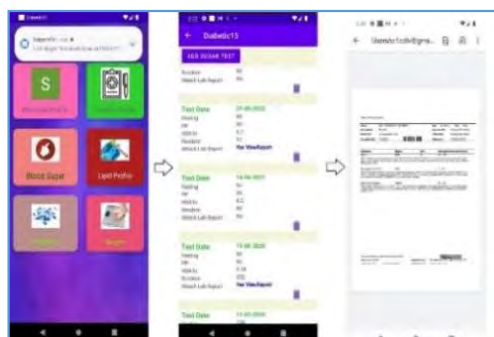
In a significant stride towards advancing technological innovation and promoting indigenous expertise, three cutting-edge technologies have been successfully transferred to prominent Indian companies, heralding a new era in fire safety and power systems:-

- 1 Agni Rakshak - Raman Optical Fiber Based Distributed Fire Sensor System:- M/s Tempens Instruments (I) Pvt. Ltd., Udaipur
- 2 Agni Rakshak - Raman Optical Fiber Based Distributed Fire Sensor System:- M/s BC Technomation Pvt. Ltd. Bhopal
- 3 Agni Rakshak - Raman Optical Fiber Based Distributed Fire Sensor System :- M/s Indioy, Indore
- 4 High-stability, Current-controlled, Card-based, True-bipolar, Switch-mode Power Converter for Electromagnets :- M/s S M Creative Electronics Limited, Gurgaon
- 5 High-stability, Current-controlled, Card-based, Unipolar, Switch-mode Power Converter for Electromagnets :- M/s S M Creative Electronics Limited, Gurgaon
- 6 Solid-state RF amplifier modules :-M/s Technopower International, Mumbai

D. सूचना प्रौद्योगिकी अनुप्रयोग विकास:

D.1 मधुमेह रोगियों के लिए एंड्रॉयड आधारित ऐप का विकास:

मधुमेह रोगियों के लिए एंड्रॉयड आधारित ऐप व्यक्तिगत प्रोफाइल, ब्लड शुगर, दवा, हेल्थ प्रोफाइल, लिपिड प्रोफाइल और वजन से संबंधित ब्यौरा रखने के लिए विकसित किया गया है। इस ऐप का उपयोग करके मधुमेह रोगी अलग अलग प्रकार की ब्लड शुगर की रीडिंग जैसे फास्टिंग, पीपी, एचबी1एसी और रैंडम का आसानी से रिकार्ड रख सकते हैं और डायग्नोसिस के लिए डॉक्टर को प्रस्तुत कर सकते हैं। दवाओं और लिपिड प्रोफाइल जांचों का रिकार्ड भी रखा जा सकता है।



चित्र.D.1: ब्लड शुगर माइयूल और मेडिसिन माइयूल

D. Information Technology Application Development:

D.1. Development of Android based app for diabetic patients:

Android based app for diabetic patients has been developed for maintaining details related to personal profile, blood sugar, medicine, health profile, lipid profile and weight. Using this app, diabetic patients can easily maintain record of their different types of Blood sugar readings – Fasting, PP, HBA1C and Random, which can be presented graphically to doctors for diagnosis. Record for medicines and lipid profile tests can also be maintained. This app has been developed on Android Studio platform using Kotlin language, Gradle library with Google authentication for user authentication and Firebase as database.

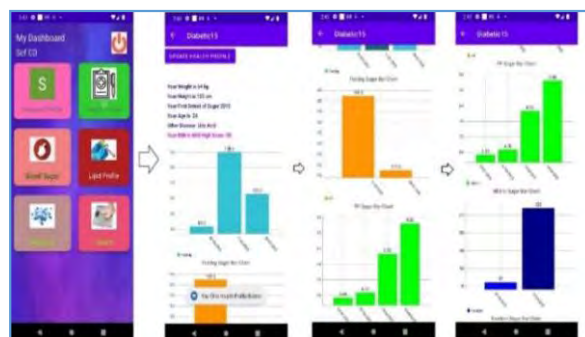


Fig.D.1: Blood Sugar Module and Medicine Module

E. जनसम्पर्क गतिविधियां:

E.1. 10वें भोपाल विज्ञान मेला एवं आरोग्य एक्सपो-2023 में प्रथम पुरस्कार:

RRCAT ने 10वें भोपाल विज्ञान मेला एवं आरोग्य एक्सपो, 2023 में भाग लिया। अमृत काल के लिए विज्ञान, प्रौद्योगिकी और नवाचार थीम वाले कार्यक्रम में विभिन्न संस्थानों के योगदानों को दर्शाया गया। RRCAT द्वारा लगाई गई प्रदर्शनी को विज्ञान पवेलियन में भारत सरकार के संस्थानों की श्रेणी में प्रथम पुरस्कार प्राप्त हुआ।



चित्र.E.1: 10वें भोपाल विज्ञान मेला एवं आरोग्य एक्सपो, 2023 में प्रथम पुरस्कार

E.2. राष्ट्रीय विज्ञान दिवस का आयोजन :

"वैश्विक कल्याण के लिए वैश्विक विज्ञान" की व्यापक थीम पर राष्ट्रीय विज्ञान दिवस 2023 का आयोजन किया गया। इसमें 57 स्कूलों के 850 से अधिक छात्र और शिक्षक, 750 महाविद्यालयीन छात्र और शिक्षक तथा 3000 से अधिक आमजन ने उत्साहपूर्वक भाग लिया। इस कार्यक्रम में त्वरक, लेजर, क्रायोजेनिक्स, सुपरकंडक्टिविटी, आरएफ और माइक्रोवेव, मैग्नेट, साथ ही अग्निशमन और संरक्षा पहलुओं से संबंधित प्रौद्योगिकियों का प्रदर्शन करने वाले 40 से अधिक प्रदर्श रखे गए थे।

E. Public Outreach Activities:

E.1. First Position Award in the 10th Bhopal Vigyan Mela & Arogya Expo-2023:

RRCAT actively participated in the '10th Bhopal Vigyan Mela & Arogya Expo 2023,' conducted in Bhopal (MP) from September 15 to 18, 2023. The event, themed 'Science, Technology, and Innovation for Amrit Kaal,' showcased contributions from various institutions. Notably, the exhibition by RRCAT was awarded the 'First' position in the Vigyan Pavilion Prize category for Government of India Institutions.

Fig.E.1: First position in the 10th Bhopal Vigyan Mela & Arogya Expo 2023

E.2. National Science Day Celebration:

RRCAT celebrated National Science Day 2023, with the overarching theme of "Global Science for Global Wellbeing." The event witnessed enthusiastic participation, with more than 850 students and teachers from 57 schools, and over 3000 individuals from the public, including 750 college students and teachers. The program featured over 40 exhibits showcasing technologies related to accelerators, lasers, cryogenics, superconductivity, RF and Microwave, magnets, as well as demonstrations on fire and safety aspects.

राष्ट्रीय विज्ञान दिवस समारोह में 50 दिव्यांग छात्रों ने भी सक्रिय रूप से भाग लिया। आयोजन समिति के वरिष्ठ सदस्यों सहित निदेशक, RRCAT ने छात्रों के साथ बातचीत की और इंटरप्रेटर-शिक्षकों की मदद से उनके प्रश्नों का समाधान किया। सभी प्रतिभागियों के लिए यह एक समावेशी और आकर्षक अनुभव रहा।

विगत वर्ष में छात्रों, शिक्षकों, रक्षा अधिकारियों, आईपीएस अधिकारियों, उद्योग के पेशेवरों और नेताओं ने RRCAT का दौरा करने के अवसर का लाभ उठाया। ये दौरे न केवल व्यक्तियों को अत्याधुनिक प्रौद्योगिकी और चल रहे अनुसंधान के बारे में मूल्यवान जानकारी प्रदान करते हैं बल्कि शोधकर्ताओं के लिए भी लाभप्रद होते हैं। इन कार्यक्रमों के माध्यम से, शोधकर्ता जनता की आकांक्षाओं के बारे में जानकारी प्राप्त करते हैं, ताकि वे समुदाय की प्रभावी ढंग से सेवा करने के लिए अपने काम को बेहतर कर सकें।

A special segment of the National Science Day celebration involved the active participation of 50 specially-abled students. Director, RRCAT, along with senior members of organizing committee, interacted with students and addressed their queries with the help of interpreter-teachers, ensuring an inclusive and engaging experience for all participants.

RRCAT facilitates diverse visits from a wide range of segments. In 2023, students, faculty, defence officers, IPS officers, industry professionals, and leaders availed the opportunity to visit RRCAT. These visits not only provide individuals with valuable insights into cutting-edge technology and ongoing research but also prove beneficial for researchers. Through these engagements, researchers gain insights into the aspirations of the public, enabling them to better tailor their work to serve the community effectively.

F. अवसंरचना :

F.1 निर्माण एवं सेवा संबंधी गतिविधियां:

केन्द्रीय-संकुल विस्तार, एससीआरएफ एचयू भवन विस्तार और 500 KLD के जलमल उपचार संयंत्र के लिए विद्युत और वातानुकूलन प्रणालियों सहित निर्माण हो गया है। सात सम्मेलन कक्षों को ध्वनिक उपचार किया गया और विभिन्न भवनों में प्रकाश व्यवस्था में उन्नयन किया गया है। पुराने बहुउद्देश्यीय शेड का नवीनीकरण अटल इंक्यूबेशन सेंटर की स्थापना करने और खेलकूद सुविधाओं में वृद्धि करने के लिए किया गया है।



सेंटर काम्प्लेक्स का विस्तारित भवन
Central Complex extension building



यूजर लैब का विस्तारित भवन
User's lab extension building



500 KLD सीवेज ट्रीटमेंट प्लांट
500 KLD sewage treatment plant



आईटी भवन में नवीनीकृत सम्मेलन कक्ष
Refurbished Conference room in IT building



अटल इंक्यूबेशन सेंटर
Atal Incubation Centre

चित्र F.1 भवन निर्माण व सुविधा उन्नयन

Fig F 1: Building Construction and Facility upgradation



अटल इन्क्यूबेशन सेंटर-विकास कार्य
AIC – Development Work



आरसीसी बॉर्डरवाल
RCC Boundary wall



मियावाकी फारेस्ट प्लांटेशन
Miyawaki forest plantation

चित्र F.2 बाह्य अवसंरचना तथा उद्यानिकी कार्य

Fig F.2: Outdoor Infrastructure and Horticulture Works

एलसीडब्ल्यू संयंत्र, सेंट्रल एअर कंडीशनिंग संयंत्र और इंडस सब स्टेशन के लिए इलेक्ट्रिकल पावर सिस्टम का व्यापक उन्नयन कार्य पूरा कर लिया गया है। इसमें मोटर कंट्रोल सेंटर का प्रतिस्थापन, ट्रांसफार्मर क्षमता में वृद्धि करना और पावर नियंत्रण सेन्ट्रल का विस्तार आदि शामिल है। सोलर पावर की विस्तार गतिविधियों में 10 kWp सोलर ट्री और स्कूल भवन के ऊपर 30 kWp रूफ टाप प्लांट लगाना शामिल है।

Major upgradation of Electrical power system for the LCW Plant , Central Air-conditioning Plant and Indus substation has been completed including replacement of Moto Control Centre, Transformers addition and Power Control Centre extension etc. Solar power augmentation activities included installation of 10 kWp solar tree and 30 kWp roof top plant over the School building.



एलसीडब्ल्यू संयंत्र में नयी एमसीसी



10 kWp क्षमता वाला सोलर ट्री



30 kWp रूफ टाप सोलर

चित्र F.3 विद्युत अवसंरचना व सौर ऊर्जा संबंधी कार्य

Fig F.3 : Electrical Infrastructure and Solar Energy related works

G. अन्य गतिविधियां:

G.1. आरआरकेट द्वारा विकसित "ओन्कोडायग्नोस्कोप" से मुंह के कैंसर की जांच:

RRCAT द्वारा विकसित फोटोनिक्स आधारित कॉम्पैक्ट और पोर्टेबल डिवाइस "ओन्कोडायग्नोस्कोप" का उपयोग करके उच्च जोखिम वाली आबादी में मुंह के कैंसर की जांच के लिए कैंसर स्क्रीनिंग शिविर लगाए गए। ये कैंसर स्क्रीनिंग शिविर क्रमशः इम्पैक्ट इंडिया फाउंडेशन, मुंबई, गीता भवन अस्पताल और इंडेक्स मेडिकल कॉलेज, इंदौर के साथ-साथ अन्य अस्पतालों के डॉक्टरों और चिकित्सा कर्मियों के सहयोग से लगाए गए। इस वर्ष दूरदराज/आदिवासी क्षेत्रों सहित देश भर के कई केंद्रों पर ~900 व्यक्तियों की मुंह की जांच करने के लिए ओन्कोडायग्नोस्कोप का उपयोग किया गया।

ओन्कोडायग्नोस्कोप एक फोटोनिक्स आधारित कॉम्पैक्ट और पोर्टेबल पॉइंट-ऑफ-केयर डिवाइस है जो व्यक्तियों के मुंह की असामान्यताओं की जांच करता है जिनसे कैंसर हो सकता है। बायोप्सी के पारंपरिक प्रक्रिया में, एक ऊतक के नमूने को निकालकर उसकी जांच की जाती है, जिसमें लगभग 48 घंटे का समय लगता है। जबकि बायोप्सी से भिन्न, ओन्कोडायग्नोस्कोप नान-इंवेसिव रूप से व्यक्ति को दर्द या असुविधा पैदा किए बिना सिर्फ 10 से 15 मिनट की एक छोटी प्रक्रियात्मक अवधि में मुंह के ऊतकों, जिनसे कैंसर हो सकता है, में प्रारंभिक असामान्यताओं का पता लगा सकता है। इस प्रकार, यह उपकरण कैंसर जैसे लक्षण विकसित होने से पहले ही संभावित व्यक्तियों की जांच की सुविधा प्रदान करता है। ओन्कोडायग्नोस्कोप की तकनीक भारतीय उद्योगों को हस्तांतरित की गई।

G. Other Activities:

G.1. Screening of oral cavity cancer using the "ONCODIAGNOSCOPE", developed by RRCAT:

Cancer screening camps were organized for screening of oral cavity cancer in the high-risk population using the photonics based compact and portable device "ONCODIAGNOSCOPE", developed by RRCAT. These cancer screening camps were organized in association with Impact India Foundation, Mumbai, Geeta Bhavan Hospital and Index Medical College, Indore respectively along with the doctors and medical personnel from other hospitals as well. ONCODIAGNOSCOPE was used to screen oral cavity of ~ 900 individuals this year at multiple centers across the country including remote/tribal areas.

It is pertinent to mention here that ONCODIAGNOSCOPE is a photonics based compact and portable point-of-care device that screens individuals for abnormalities of the oral cavity that may lead to cancer. In conventional approach of biopsy, a tissue sample has to be excised and examined resulting in a total time of around 48 hours to arrive at a diagnosis. However, unlike biopsy, ONCODIAGNOSCOPE can non-invasively detect initial abnormalities in the oral tissue that may lead to cancer within a short procedural time of just 10 to 15 min without causing pain or discomfort to the person being investigated. Thus, this device facilitates screening of susceptible individuals even before the development of cancer-like symptoms. The technology of ONCODIAGNOSCOPE was transferred to the Indian industries, the ONCODETECTO is the commercial model of the ONCODIAGNOSCOPE manufactured by Applied Optical Technologies Pvt. Ltd, Thane.



चित्र.G.1: ONCODETECTO - ऑन्कोडायग्नोस्कोप का वाणिज्यिक मॉडल

Fig.G.1: ONCODETECTO – the commercial model of the OncoDiagnoScope

G.2. एचबीएनआई-RRCAT पीएचडी छात्रों ने विभिन्न पुरस्कार और सम्मान यथा तीन अंतरराष्ट्रीय और दो राष्ट्रीय सम्मेलनों में पांच सर्वश्रेष्ठ पोस्टर पुरस्कार, दो सर्वश्रेष्ठ पीएचडी थीसिस पुरस्कार प्राप्त किए। इसमें से एक अंतरराष्ट्रीय सम्मेलन में और दूसरा एमपी यंग साइंटिस्ट कांग्रेस पुरस्कार था।

G.2. HBNI-RRCAT PhD students bagged various awards and recognition namely five Best Poster Awards in three international and two national conferences, two best PhD thesis awards where one was in international conference, and one MP Young Scientist Congress Award.

G.3. विश्व पर्यावरण दिवस 2023 का आयोजन:

कार्मिक एवं प्रशिक्षण विभाग के निदेशों के अनुसार विश्व पर्यावरण दिवस 2023 का आयोजन 05 जून, 2023 को किया गया। मिशन लाइफ की थीम थी - “मिशन लाइफ का मंत्र ‘पर्यावरण के लिए लाइफस्टाइल’”

लोगों को जागरूक करने और अच्छी पद्धतियों को अपनाने के लिए प्रोत्साहित करने के लिए विभिन्न कार्यक्रमों का आयोजन किया गया जिनमें पोस्टर, स्लोगन और निबंध प्रतियोगिताएं शामिल थीं। इस कार्यक्रम में आरआरकेट के कर्मचारियों और विद्यार्थियों ने बड़ चढ़ कर भाग लिया। एक हस्ताक्षर अभियान भी चलाया गया। इंफोनेट द्वारा व्यक्तिगत प्रतिज्ञा लेने के लिए सभी को प्रोत्साहित किया गया। फ्लेक्स/बैनर के लिए प्लास्टिक के स्थान पर कागज का उपयोग करने के लिए पहल की गई।

G.3. Celebration of World Environment Day 2023 on 05th June, 2023:

As per directives of Department of Personnel and Training, World Environment Day 2023 was organised on 05th June, 2023. The theme was Mission LiFE - “The mantra of Mission LiFE is ‘Lifestyle for Environment’.”

Various programmes were arranged to spread awareness and encourage best practices on LiFE, viz., Poster Competition, Slogan Competition, and Essay Competition. The participation of RRCAT Employees and students for events was overwhelming. A Signature Campaign was also organised which received great participation from all employees/trainees/new recruits. All were encouraged to take pledge on Mission LiFE by displaying the same on the Infonet accounts of all employees. An initiative was taken to use paper instead of plastic for flex / banner and for the signature campaign.

G.4. स्वच्छता अभियान 3.0:

विशेष कार्यक्रम 3.0 के एक भाग के रूप में निम्नलिखित गतिविधियां 15 सितम्बर से 5 नवम्बर, 2023 तक आयोजित की गईं :

- 1) स्वच्छता संबंधित गतिविधियों पर क्विज का आयोजन किया गया।
- 2) हाऊस कीपिंग स्टाफ के लिए "वर्तमान परिदृश्य में हाइजीन व स्वच्छता विषयों पर कार्यशाला" का आयोजन।
- 3) आवासीय क्षेत्र में स्वच्छता अभियान।
- 4) सभी प्रभाग के भवनों से अपशिष्ट कागजातों के संग्रहण और इनके निपटान के लिए विशेष अभियान।
- 5) स्वच्छता संबंधी विषय पर नुक्कड़ नाटक।
- 6) इलेक्ट्रॉनिक और विषम आकार के अपशिष्ट के संग्रहण के लिए विशेष अभियान।
- 7) जल स्रोतों (झीलों और वर्षा जल चैनलों) की साफ सफाई के लिए विशेष अभियान।

RRCAT परिसर ने इंदौर नगर निगम द्वारा आयोजित स्वच्छ सर्वेक्षण 2023 के तहत इंदौर स्वच्छ वार्ड रैंकिंग में सबसे स्वच्छ कॉलोनी का पुरस्कार प्राप्त किया। इसमें 28 जून, 2023 को महापौर, इंदौर नगर निगम द्वारा एक प्रशस्ति पत्र और उत्कृष्टता प्रमाण पत्र दिया गया।



चित्र G.4: इंदौर नगर निगम द्वारा प्रदत्त प्रशस्ति पत्र और उत्कृष्टता प्रमाण पत्र

G.4. Special Campaign 3.0 for Swachhata:

As part of special campaign 3.0, the following activities have been observed during 15th September to 5th November 2023

1. Total 69 cleanliness drive in the Technical Area including all Division, Administration, Accounts, Purchase, and Stores were undertaken in RRCAT.
2. Quiz on "Swachhata related activities was conducted
3. Workshop for house-keeping staff "Hygiene & Swachhata issues in the current scenario".
4. Cleanliness drive in the residential area was undertaken.
5. Special drive for collection of waste paper from all Divisional buildings and its disposal.
6. Street play on Swachhata related topic
7. Special drive for collection of electronic and odd size wastes
8. Special drive for cleaning of water bodies (lakes and rain-water channels).

RRCAT has bagged cleanest Colony award in Indore Swachh Ward ranking under Swachh Survekshan 2023 conducted by Indore Municipal Corporation. The award was presented by the Mayor, Indore Municipal Corporation on June 28, 2023 which included a citation and certificate of excellence.



Fig G.4: Citation and Certificate of Excellence for Swachh Survekshan 2023

G.5. सतर्कता जागरूकता सप्ताह-2023 :

सतर्कता जागरूकता सप्ताह “भ्रष्टाचार का विरोध करें; राष्ट्र के प्रति समर्पित रहें” की थीम पर दिनांक 30 अक्टूबर से 5 नवम्बर, 2023 तक मनाया गया। भ्रष्टाचार के प्रति कर्मचारियों को जागरूक करने और संवेदनशील बनाने के लिए निम्नलिखित विषयों पर व्याख्यान श्रृंखला का आयोजन किया गया। इनमें लगभग 70 अधिकारियों/कर्मचारियों ने भाग लिया :

- 1) प्रापण/खरीद
- 2) नीति एवं शासन
- 3) संगठन की प्रणाली व प्रक्रियाएं
- 4) साइबर हाइजीन और सुरक्षा
- 5) आईओ/पीओ प्रशिक्षण

G.6. मानव संसाधन विकास गतिविधियों के अंतर्गत विभिन्न भारतीय संस्थानों के पीएचडी और पोस्ट डॉक्टोरल छात्रों को प्रशिक्षण दिया गया। पीएचडी कार्यक्रम के तहत लगभग 7 विद्यार्थियों और 4 अनुसंधान एसोशिएट के रूप में इस केन्द्र में कार्य आरम्भ किया। 11 टीएसओ को ओसीईएस स्कीम के तहत शामिल किया गया। तसर अपरेंटिस प्रशिक्षण स्कीम के तहत 2 प्रशिक्षणार्थियों ने इस केन्द्र में अपरेंटिस शुरू किए। विभिन्न ट्रेडों में तसर के 145 पदों को भरने का कार्य जारी है। सीधी भर्ती के तहत 6 कर्मचारियों ने केन्द्र में कार्यभार ग्रहण किया।

G.7. राजभाषा से संबंधी विभिन्न गतिविधियां:

दिनांक 28.04.2023 को केंद्र में राजभाषा वार्ता का आयोजन किया गया जिसमें ‘आधुनिक जीवन शैली में स्वस्थ रहने के लिए योग का महत्व’ विषय पर बी. के. बांद्रे द्वारा व्याख्यान दिया गया। हिंदी पखवाड़ा-2023 का आयोजन दिनांक 14/09/2023 से 28/09/2023 तक किया गया। इस अवसर पर 6 प्रतियोगिताएं आयोजित की गईं, जिसमें लगभग 240 पदाधिकारियों ने भाग लिया। राजभाषा कार्यान्वयन समिति की तीन बैठकें आयोजित की गईं। इसी प्रकार तीन नियमित हिंदी कार्यशालाओं का आयोजन किया गया जिनमें क्रमशः 20, 22 तथा 16

G.5. Vigilance Awareness Week-2023 :

Vigilance Awareness Week was observed with the theme “भ्रष्टाचार का विरोध करें; राष्ट्र के प्रति समर्पित रहें”/“ Say no to Corruption; commit to the Nation” from 30th October to 5th November, 2023. In order to spread knowledge and sensitize the employees a lecture series by experts was arranged on the following topics with the participation of around 70 officers/employees:

- a. Procurement
- b. Ethics and governance
- c. Systems and procedures of the organization
- d. Cyber hygiene and security
- e. IO/PO training

G.6. HRD activities of RRCAT include imparting training to PhD scholars and Postdoctoral students from various Indian institutes. Around 7 students have joined as JRF under PhD programme and 4 Research Associates have joined the Centre. 11 TSOs have been inducted under OCES scheme. Under the TASAR Apprentice Training Scheme, 2 Trainees have joined. Action is also in hand for filling up of 145 posts of TASAR in various trades. Under Direct Recruitment, 6 persons have joined.

G.7. राजभाषा से संबंधित विभिन्न गतिविधियां:

On 28.04.2023, Rajbhasha Varta was organized at the Centre in which a lecture was delivered by B. K. Bandre on the topic 'Importance of Yoga for Healthy Living in Modern Lifestyle'. Hindi Pakhwada-2023 was conducted from 14/09/2023 to 28/09/2023. On this occasion, 6 competitions were organized, in which about 240 officials participated. Three meetings of Official Language Implementation Committee were held. Similarly, three regular Hindi workshops were organized in which 20, 22 and 16 officials respectively participated. Under the Atomic

पदाधिकारियों ने भाग लिया। परमाणु ऊर्जा राजभाषा कार्यान्वयन योजना (अटॉलिस) के अंतर्गत कुल 133 पदाधिकारियों ने भाग लिया तथा 72 पदाधिकारियों को प्रोत्साहन पुरस्कार प्रदान किए गए। माननीय संसदीय राजभाषा समिति की पहली उप-समिति ने दिनांक 22 अगस्त, 2023 को राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केंद्र (राराप्रप्रौके), इंदौर का राजभाषा निरीक्षण किया तथा किए जा रहे कार्यों की सराहना की।

G.8. आरआरकेट स्टॉफ क्लब की गतिविधियां:

- आरआरकेट स्टॉफ क्लब ने 06 मई से 09 जून, 2023 तक बच्चों के लिए गीष्मकालीन कैम्प लगाया। इसमें 18 अलग-अलग गतिविधियों में कुल 339 बच्चों ने भाग लिया। यह उल्लेखनीय है कि इस गीष्मकालीन कैम्प के दौरान टेलीस्कोप बनाने की कार्यशाला और कम्प्यूटर कोडिंग व नाटक के लिए कक्षाओं का आयोजन भी किया गया।
- ब्रह्माकुमारी (माउंटआबू) के श्री बी. के. शक्तिराज द्वारा दिनांक 11/05/2023 को मोटीवेशन वार्ता प्रस्तुत की गई। चिन्मय मिशन द्वारा दिनांक 10-17 जून, 2023 तक व्याख्यान श्रृंखला का आयोजन किया गया। 9वें अंतरराष्ट्रीय योग दिवस के अवसर पर प्रातः योग सत्र का आयोजन 21जून, 2023 को किया गया।
- आरआरकेट स्टॉफ क्लब के सदस्यों और उनके बच्चों ने राज्य स्तर पिकल बॉल चैम्पियनशिप में भाग लिया और अहमदाबाद में 01 दिसम्बर से 03 दिसम्बर, 2023 तक आयोजित की गई तीसरे राष्ट्रीय पिकल बॉल चैम्पियनशिप के लिए चयनित हुए। इस राष्ट्रीय चैम्पियनशिप में अलग अलग श्रेणियों में आरआरकेट स्टॉफ क्लब के सदस्यों के बच्चों ने 02 स्वर्ण, 01 रजत तथा 03 कांस्य पदक जीते।

Energy Official Language Implementation Plan (ATOLIS), a total of 133 officials participated and 72 officials were awarded incentives. The first sub-committee of the Hon'ble Parliamentary Committee of Official Language inspected the Raja Ramanna Centre for Advanced Technology (RRCAT), Indore on August 22, 2023 and appreciated the work being done.

G.8. RRCAT Staff Club Activities:

- RRCAT Staff Club organized a summer camp for children from 06th May to 09th June, 2023. A total of 339 children have participated in 18 different activities. More importantly, telescope making workshop and classes for computer coding and drama were also organized during the summer camp.
- A motivational talk by Shri B. K. Shaktiraj of Brahmakumaris (Mt Abu) on 11/05/2023, a lecture series by Chimaya Mission (10-17 June, 2023) and Early morning yoga session (on 21 June 2023) were organized under the aegis of the 9th International Day of Yoga (IDY).
- RRCAT Staff Club members and their children have participated in State-level Pickle ball championship and got selected for the 3rd National Pickleball championship held during 01rd to 03th Dec., 2023 in Ahmedabad. A total of 06 medals viz., 02 gold, 01 silver and 03 Bronze were won by wards of RRCAT Staff Club members in different categories in the national championship.



राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केन्द्र, इंदौर
**Raja Ramanna Centre for Advanced
Technology, Indore**