

राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केन्द्र, इन्दौर



वार्षिक प्रगति रिपोर्ट वर्ष: 2016-17

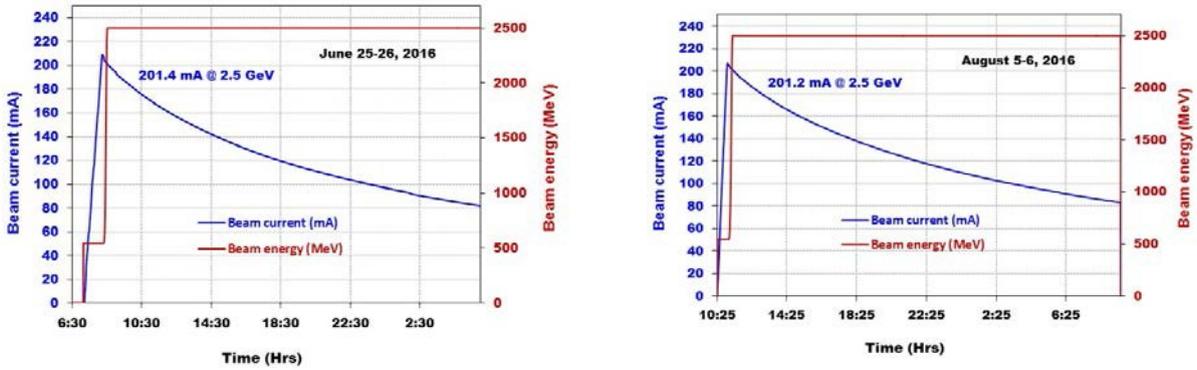
राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केन्द्र, इन्दौर
वार्षिक प्रगति रिपोर्ट वर्ष: 2016-17

क्र. सं.	विषय	पेज सं.
I.	इण्डस सिंक्रोट्रॉन्स	2
II.	त्वरक प्रौद्योगिकी	12
III.	लेसर प्रौद्योगिकी	20
IV.	लेसर अनुप्रयोग	26
V.	पदार्थ विज्ञान	34
VI.	अन्तर्राष्ट्रीय सहयोग	42
VII.	आधारभूत सुविधाएं	43
VIII.	मानव संसाधन विकास	44
IX.	आउटरीच गतिविधियां	45
X.	RTI विवरण	46

I. इण्डस सिंक्रोट्रॉन्स

I.A. इण्डस त्वरक : प्रचालन

सिंक्रोट्रॉन विकिरण उपयोगकर्ता समुदाय के लिए, इण्डस-1 एवं इण्डस-2 सिंक्रोट्रॉन विकिरण स्रोत का प्रचालन एक राष्ट्रीय सुविधा के रूप में दिन-रात किया जा रहा है। इण्डस -1 का प्रचालन 450 MeV ऊर्जा, 100 mA धारा पर एवं इण्डस-2 का प्रचालन 2.5 GeV ऊर्जा पर भंडारित धारा 200 mA ऊर्जा तक किया जा रहा है। इण्डस-2 में वर्ष 2015 में स्थापित किए गए U एवं U2 तरंगकों को बढ़ी हुई बीमधारा 150 mA की वृद्धि के साथ सफलतापूर्वक प्रचालित किया गया। तीसरी निवेशन युक्ति एपल-2 तरंगक को इस वर्ष बढ़ी हुई दीप्ति के साथ प्रदर्शन कर शुरू किया गया। उसे 100 mA की वृद्धि के साथ बढ़ी हुई बीमधारा के साथ भी प्रचालित किया गया। एपल-2 तरंगक स्थान पर निर्वात कक्ष के लघुकृत उर्ध्वधर द्वारक (अपरचर) के साथ 200 mA पर इण्डस-2 को पुनर्स्थापित करने हेतु बड़ी संख्या में इष्टतमीकरण के उपाय किए गए। मशीन को उपयोगकर्ता विधा (Mode) में 2.5 GeV, 200 mA पर चलाया गया। चित्र 1 एवं 2 में 2.5 GeV ऊर्जा पर इण्डस-2 को विशिष्ट उपयोगकर्ता विधा में प्रचालन को दर्शाया गया है।

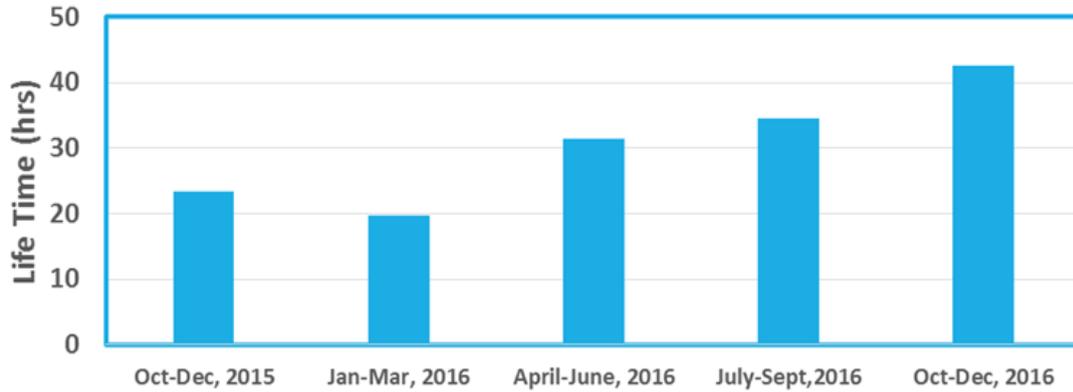


चित्र. 1 एवं 2 : 2.5 GeV ऊर्जा पर ~ 200 mA भंडारित धारा के साथ इण्डस-1 एवं इण्डस-2 का प्रचालन।

बीम जीवनकाल में सुधार

इण्डस-2 में चार अंतक्षेपण किकर चुम्बकों के सिरेमिक कक्षों की जगह नये अपग्रेडेड कक्षों को लगाया गया जिससे अंतक्षेपण खंड के निर्वात में 3×10^{-9} mbar से 5×10^{-10} mbar का सुधार हुआ। इसके परिणामस्वरूप 2.5 GeV बीम ऊर्जा पर 100 mA बीम धारा का जीवनकाल ~ 20 घंटे से बढ़कर ~40 घंटे तक का सुधार हुआ है। चित्र-3 में 2016 के दौरान इण्डस-2 में बीम जीवनकाल को रेखाचित्र द्वारा दर्शाया गया है। अप्रैल 2016 में अंतःक्षेपण किकर कक्षों को बदलने के पश्चात् जीवनकाल में उत्तरोत्तर सुधार हुआ।

Quarterly data of Maximum Beam Lifetime in Indus-2 during 2016
(Life time at 100 mA@ 2.5 GeV)



चित्र 3: इण्डस-2 बीम जीवनकाल।

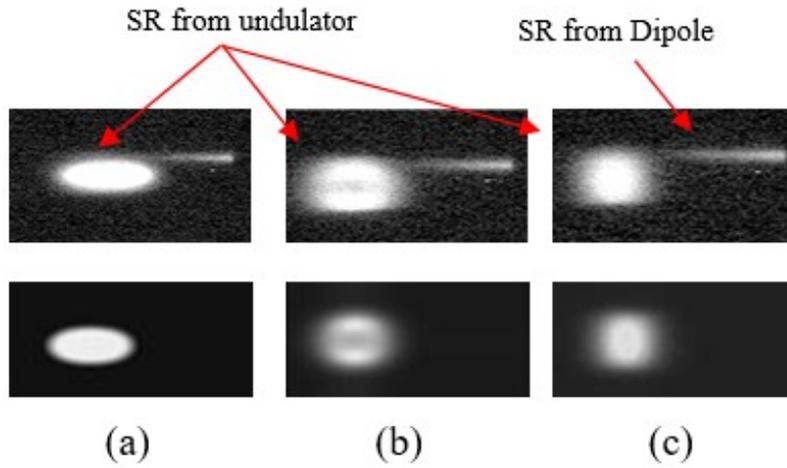
अप्रैल, 2016 में UHV प्रणाली के अनुरक्षण के बाद इण्डस-1 के बीम जीवनकाल में भी सुधार हुआ, जिसमें इण्डस-1 में गेट वॉल्व को बदलना एवं इण्डस-1 वलय में बड़ी मात्रा में टाइटेनियम उर्ध्वपातन पम्प फिलामेंट को बदलना भी शामिल है। वर्ष 2016 के दौरान इण्डस-1 एवं इण्डस-2 को 340 दिन तक दिन-रात प्रचालित किया गया। उपयोगकर्ताओं के लिए इण्डस-1 में 7200 घंटे एवं इण्डस-2 में 5200 घंटे से भी अधिक समय तक बीम उपलब्ध था।

I.B. इण्डस-2 का अपग्रेडेशन

I.B.1. प्रगत समतल ध्रुवीय प्रकाश उत्सर्जन (एपल-2) तरंगक एवं एपल-2 उर्ध्वाधर जॉ संचलन के साथ 100 mA पर इण्डस-2 प्रचालन शुरू करना

गत वर्ष में इण्डस-2 में प्रगत समतल ध्रुवीय प्रकाश उत्सर्जक तरंगक एपल-2 को स्थापित किया गया। 2.5 GeV पर निम्न बीमधारा (~5 mA) कक्षा स्थायित्व पर तरंगक क्रिया के प्रभाव का भी अध्ययन किया गया। चुम्बकीय पोल अंतराल एवं फेज मूवमेंट के दौरान कोई सार्थक विरूपण नहीं था, तरंगकों के मूल कार्य निष्पादन का प्रदर्शन स्केनिंग वायर मॉनीटर (SWM) एवं बीम व्यूअर माउंटेड का डाउनस्ट्रीम द्विध्रुव चुम्बक कक्ष के जीरो डिग्री पोर्ट का उपयोग करते हुए किया गया।

0 mm, $0.32\lambda_u$ and $0.5\lambda_u$ प्रावस्था के लिए तरंगक से आने वाली सिंक्रोट्रॉन विकिरण स्रोत का बीम प्रतिबिम्ब क्रमशः स्थानांतरित होकर उर्ध्वाधर तल में रेखीक ध्रुवण, वृत्ताकार ध्रुवण व क्षैतिज तल में रेखीक ध्रुवण के अनुरूप स्थानांतरित हो गए, उनको चित्र 4 में दर्शाया गया है। बीम प्रोफाइल के अवलोकन से सैद्धांतिक भविष्यवाणी, के साथ इसके अच्छी तरह से मेल होने की प्रवृत्ति देखने में आयी।



चित्र .4: एपल-2 तरंगक से सिंक्रोट्रॉन विकिरण स्रोत का बीम प्रोफाईल : (a) 0 mm फेज शिफ्ट के लिए (b) $0.32\lambda_u$ ph फेज शिफ्ट (c) $0.5\lambda_u$ फेज शिफ्ट. ऊपरी पंक्ति: प्रायोगिक प्रेक्षण की गई प्रोफाईल। निचली पंक्ति: सैद्धांतिक प्रोफाईल। दोनों अच्छा मेल दर्शाते हुए।

इस तरंगक से वृत्ताकार ध्रुवण सिंक्रोट्रॉन विकिरण का उपयोग चुम्बकीय सामग्री के अध्ययन हेतु एकस-रे चुम्बकीय वृत्ताकार द्विवर्णता (XMCD) प्रयोगों द्वारा एक समर्पित बीम लाइन पर किया जाता है। फोटोन ऊर्जा परास का हिस्सा 300 eV से 1500 eV तक था, जिसमें उच्च हारमोनिक्स भी शामिल हैं। एपल-2 तरंगक के शुरू करने के पश्चात् इण्डस-2 का प्रचालन (2.5 GeV, 100 mA) उच्चधारा पर एपल-2 के क्षैतिज जॉ संचलन के साथ न्यूनतम पोल अंतराल तक किया गया। पोल अंतराल के अधिकतम परिवर्तन से भी बीम जीवनकाल एवं निर्वात कक्ष के तापमान में कोई सार्थक परिवर्तन नहीं देखा गया।

I.B.2. 2.5 GeV पर 150 mA भंडारित बीमधारा पर U1 एवं U2 तरंगकों का प्रचालन

इण्डस-2 भंडारण वलय में गत वर्ष स्थापित किए गए दो प्लानर तरंगकों को सफलतापूर्वक 150 mA, 2.5 GeV पर प्रचालित किया गया। इन तरंगकों से उत्सर्जित सिंक्रोट्रॉन विकिरण के उच्चताप लोड से निपटने के क्रम में बीम डम्पस में शीतलन जल प्रवाह की दर को 1.5 lpm से 3.5 lpm तक बढ़ा दिया गया। फ्रंटएंड के सभी घटकों का असंरेखण, बीम को, बिना किसी अवरोध के उचित मार्ग को सुनिश्चित करने हेतु किया गया। निम्न धारा पर इलेक्ट्रॉन बीम की सुरक्षित सीमा निर्धारित कर उसे निवेशन युक्ति बीम स्थिति सूचक (IDBPI) इन्टरलॉक नियंत्रण के साथ भरण (Fed) किया गया। चरण बद्ध रूप से बीमधारा में वृद्धि करते हुए तरंगक प्रचालन निष्पादित किया गया। U1 एवं U2 तरंगक अंतराल विचरण (Variation) के दौरान ट्यून विचरण का भी मापन किया गया एवं तरंगक प्रचालन के दौरान बीटाट्रॉन ट्यून वॉल्व में कोई सार्थक बदलाव नहीं देखा गया। यह भी देखा गया कि निर्वात कक्ष के तापमान, तरंगक पोल अंतराल विचरण के दौरान बीम जीवनकाल में भी कोई सार्थक बदलाव नहीं देखा गया। इसके द्वारा उपप्रणालियों के प्रकार्य, इन्टरलॉक एवं कक्षा सुधार योजनाओं का संतोषजनक प्रदर्शन हुआ। इस प्रयोग के दौरान एपल-2 के जबड़े (जॉ) को अधिकतम पोल अंतराल पर व्यापक रूप से खोला गया।

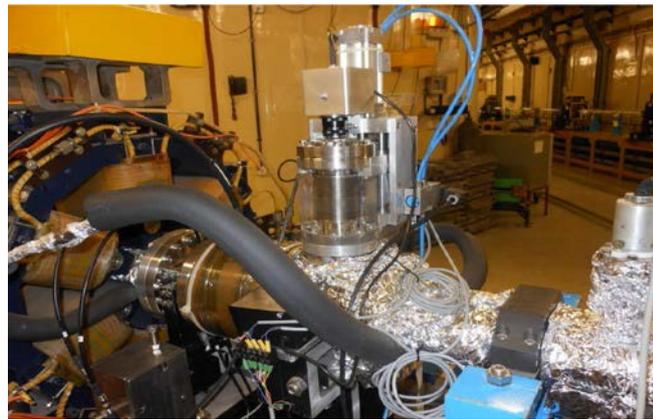
I.B.3. इण्डस-2 की विद्युत आपूर्ति का अपग्रेडेशन

ट्रांसपोर्ट लाइन (TL-2) के चतुर्ध्रुव चुम्बक के लिए 60 A, 25 V विद्युत आपूर्तियों की चार आपूर्तियों को स्थापित किया गया। ऐसी ये चारों आपूर्तियों को गत वर्ष स्थापित किया गया। सभी 8 विद्युत आपूर्तियों को सफलतापूर्वक नई नियंत्रण रेक के साथ एकीकृत किया गया। इसने TL-2

चतुर्ध्रुव चुम्बक विद्युत आपूर्तियों का अपग्रेडेशन कार्य को पूरा कर दिया। इन विद्युत आपूर्तियों का विकास, स्थापना एवं इनको इण्डस-2 के चुम्बक विद्युत आपूर्ति हॉल में शुरू किया गया। इलेक्ट्रॉन बीम कक्ष हेतु आठ तीव्र कक्ष फीडबैक (FOFB) शोधन विद्युत आपूर्तियां एवं इण्डस-2 चतुर्ध्रुव धारा के स्वतंत्र समायोजन हेतु चार सक्रिय शंट विद्युत आपूर्तियों को स्थापित किया गया। FOFB का उपयोग हाल ही में एपल-2 तरंगक की सफल शुरूआत में किया गया।

I.B.4. इण्डस-2 बीम नैदानिक प्रणाली का अपग्रेडेशन

एक अपग्रेडेड प्रतिदीप्ति प्रकार का बीम प्रोफाइल मॉनीटर (BPM) का विकास किया गया एवं ऐसे 3 BPM इण्डस -2 में इलेक्ट्रॉन बीम प्रोफाइल के मापन एवं प्रेक्षण हेतु स्थापित किए गए BPM की डिज़ाइन में शामिल है। नये डिज़ाइन किए गए प्रेरण क्रियाविधि का संश्लेषण एवं सिरेमिक सपोर्ट प्रणाली, पराउच्च निर्वात सुगम्यता सिरेमिक स्क्रीन का तापीय एवं संरचनात्मक विश्लेषण एवं इसके आवास एवं सपोर्ट का संरचनात्मक विश्लेषण/प्रचालन एवं नियंत्रण के लिए विद्यमान प्रणाली के साथ सुगम्यता बनाए रखने के लिए अपग्रेडेड BPM द्वारा वातिल (न्यूमेरिक) प्रणाली का उपयोग किया गया, यद्यपि इसे असफलता से सुरक्षित रखने के लिए (न्यूमेरिक प्रणाली के फेल होने की स्थिति में बीम मार्ग पर प्रतिदीप्ति स्क्रीन आने से रोकने के लिए) डबल एक्टिंग वातिल (न्यूमेरिक) सिलिण्डर का उपयोग किया जाता है।



चित्र 5: प्रयोगशाला परीक्षण के दौरान BPM व बेलो एसेम्बली का छाया चित्र।

चित्र 6: इण्डस-2 वलय में स्थापित बीम प्रोफाइल मॉनीटर।

अपग्रेडेड बीम स्थल संकेतों (BPIs) का विकास किया गया एवं इसकी 6 इकाईयों को इण्डस-2 में स्थापित कर दिया गया। अपग्रेडेड BPIs की उन्नत विशिष्टताओं जैसे स्थानांतरण प्रतिबाधा $\sim 0.56 \Omega$ 505.8 MHz (टारगेटेड मान $> 0.5 \Omega$), संवेदशीलता ~ 0.06 प्रति मी.मी. (टारगेटेड मान > 0.05 प्रति मी.मी.) दोनों अनुप्रस्थ, समतल एवं समर्पित पृथक सपोर्ट संरचना में बंच-बाई-बंच बीटाट्रॉन ट्यून मापन के लिए एक सॉफ्टवेयर के विकास का कार्य इण्डस-2 में पृथक इलेक्ट्रॉन बंचेज की बीटाट्रॉन ट्यून के बारे में सूचना प्राप्त करने हेतु पूरा कर लिया गया।

I.B.5. इण्डस त्वरक परिसर में निम्न चालकता जल (LCW) संयंत्र की शीतलक प्रणाली के निष्पादन में सुधार

इण्डस-2 जैसे त्वरक में निम्न चालकता जल (LCW) का उपयोग त्वरक घटकों, चुम्बकों में

विद्युत युक्तियों एवं आरएफ विद्युत आपूर्तियों इत्यादि को ठंडा करने में किया जाता है। उष्मा क्षय सेकेण्डरी लूप के निष्पादन पर निर्भर करता है, जिसमें मृदुजल होता है, जो प्लेट उष्मा विनियामक एवं सर्किट में शीतलन टॉवर द्वारा परिसंचारित होता है। शीतलन कार्य जल के वाष्पीकरण से संपादित होता है, जिससे पता चलता है कि विलीन ठोस का कौनसा सांद्रण प्राप्त हुआ है। शीतलन टॉवर जल के ऑनलाइन पॉलिशिंग कार्य हेतु एक दुर्बल एसिड केशन बेड का विकास कर स्थापित किया गया है। इससे जल की कठोरता 20 ppm से 2 ppm तक आ गई। 120 ml प्रति घंटे की दर से 98% सल्फ्यूरिक अम्ल डोज भी देना शुरू किया गया। परिणामस्वरूप स्केल रचना पायी गई, जिसे नियंत्रित किया गया।



चित्र. 7: दुर्बल एसिड केशन बेड ।



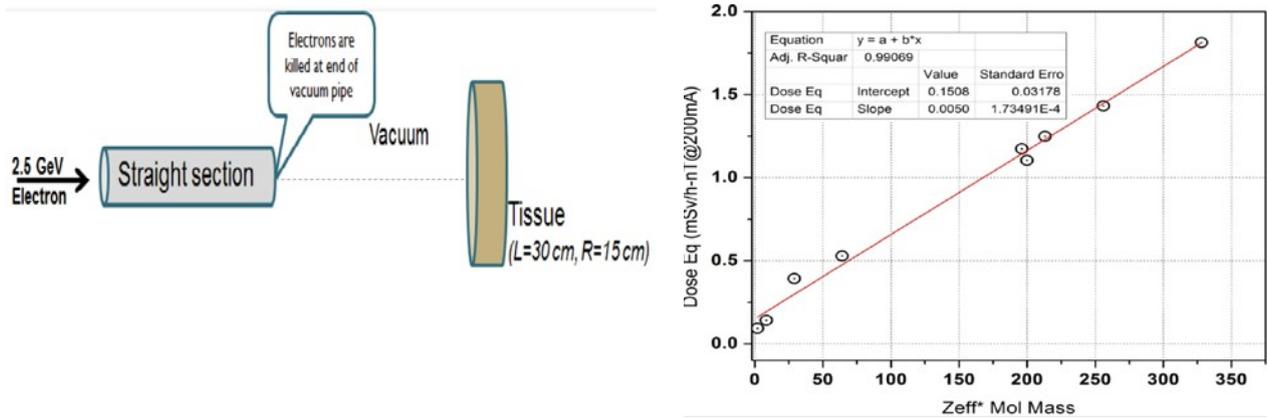
चित्र. 8: अम्ल डोजिंग प्रणाली।

I.B.6. इण्डस-2 में गैस अवमंदक विकिरण का अध्ययन

साधारणतया, इलेक्ट्रॉन भंडारण वलय के लिए गैस अवमंदक विकिरण डोज का वायु के लिए अनुकरण वायुमण्डलीय दाब एवं विकिरण स्रोत अवधि अनुमान हेतु वास्तविक दाब (~ nTorr) पर आकलित किया गया। अनुकरण के लिए वायु में शामिल संघटक गैसों का उपयोग किया गया, जिसमें N₂ का अधिकतम प्रतिशत (78%) उसके बाद O₂ (21%) एवं शेष अन्य गैसों थी। वास्तविक मामले में भंडारण वलय में अवशिष्ट गैस वायु संघटक में शामिल गैसों से अलग प्रकार की थी। इण्डस-2 भंडारण वलय में तरंगक जिसमें अवशिष्ट गैस विश्लेषक (RGA) द्वारा प्राप्त अवशिष्ट डेटा का विश्लेषण किया गया एवं गैस अवमंदक विकिरण अनुकरण अध्ययन का निष्पादन, गैस संघटक एवं इण्डस-2 वलय से प्राप्त अवशिष्ट गैस अणुओं के मापित संघटक दोनों के लिए किया गया। उक्त फेंटम में गैस अवमंदक विकिरण की स्पेक्ट्रम डोज दर का अध्ययन किया गया एवं FLUKA कोड का उपयोग करते हुए भंडारण वलय की अवशिष्ट गैस के संघटक का भी अध्ययन किया गया। भंडारण वलय के (1 मीटर लम्बाई के सीधे निर्वात हिस्से से गैस अणुओं के साथ 2.5 GeV इलेक्ट्रॉन पारस्परिक क्रिया से उत्पन्न) वलय में अवशोषित डोज मात्रा को दाब में प्रसामान्यीकृत वायु संघटक के मामले में 1.249 Sv/h- nTorr एवं अवशिष्ट गैस संघटक के मामले में 2.5 GeV एवं 200 mA पर परिसंचारित धारा के लिए 0.392 Sv/h-nTorr पाया गया।

गैस अवमंदक विकिरण स्पेक्ट्रम एवं बाद वाली डोज पर इण्डस-2 में प्राप्त गैस अणुओं जैसे- हाइड्रोजन, नाइट्रोजन, CO₂, CO, वायु, अवशिष्ट गैस के प्रभाव का भी अध्ययन किया गया। प्राप्त

अवशोषित डोज दर से प्रभावी परमाणु संख्या एवं गैसों के आणविक द्रव्यमान के साथ बढ़ा हुआ पाया गया।



चित्र.9: गैस अवमंदक विकिरण डोज अनुकार के लिए चित्र. 10: अवशिष्ट गैस संघटक के साथ डोज उपयोग की गई ज्यामिति। समानार्थ की निर्भरता।

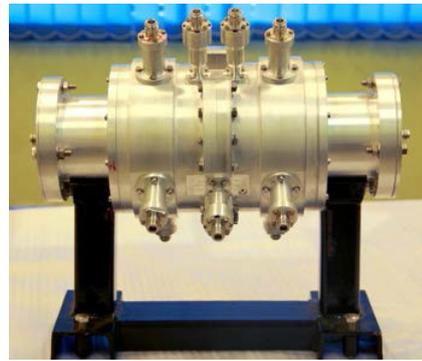
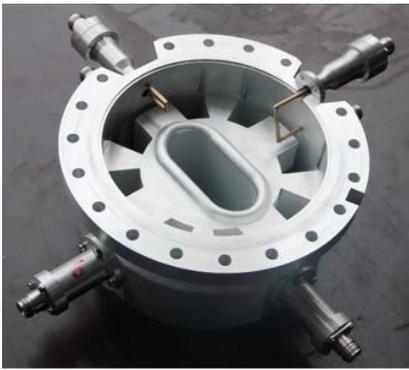
I.B.7. निवेशन युक्ति बीमलाइन के लिए विकिरण परिरक्षण मूल्यांकन

इण्डस-2 का अपग्रेडेशन तीन अतिरिक्त तरंगकों के साथ किया गया (निवेशन युक्तियां) इण्डस-2 में तरंगक बीमलाइन का स्रोत अवधि मूल्यांकन अध्ययन FLUKA मॉटे कार्लो कोड का उपयोग करते हुए किया गया। बीमलाइन के लिए शील्ड मूल्यांकन के सिमुलेशन हेतु संबद्ध बीमलाइन घटकों जैसे दर्पण, दर्पण कक्ष एवं सम्पूर्ण प्रकाशिक हच लेआऊट का समावेश करके पूरा किया गया। प्रकिर्णित गैस अवमंदक विकिरण फोटॉन को रोकने हेतु हच के लिए आवश्यक फ्रंट एवं लेटरल दीवार की मोटाई क्रमशः 5 मी.मी. एवं 2 मी.मी. (lead) है। अवमंदक स्टॉप से उत्पादित न्यूट्रॉन को परिरक्षण प्रदान करने हेतु गैस अवमंदक विकिरण स्टॉप के पीछे 15 से.मी. अतिरिक्त पॉलीइथाइलीन की भी सलाह दी गई है। संसूचकों में डोज दर स्वीकार्य स्तर के भीतर ही पाई गयी है।

I.B.8. इण्डस-2 में अनुदैर्घ्य मल्टीबंच फीडबैक प्रणाली (LMBFS) के लिए ब्राडबैंड किकर आरएफ गुहिका का स्वदेशी विकास

इण्डस-2 भंडारण वलय में बीम के उच्च बीम धारा अनुदैर्घ्य अस्थायित्व पर मशीनों के कार्य निष्पादन पर प्रतिकूल प्रभाव होता है। जैसे बीम संचयन में संतृप्ति, बीम ऊर्जा प्रवणन (ramping) के दौरान आंशिक अथवा पूर्णतया बीम क्षय एवं बीम के आकार में वृद्धि होना। इन अस्थायित्वों पर नियंत्रण अनुदैर्घ्य मल्टीबंच फीडबैक प्रणाली (LMBFS) को लागू करके किया जा सकता है। इण्डस-2 के लिए LMBFS में ब्राडबैंड (1264.5 MHz -1517.5 MHz) किकर आरएफ गुहिका का उपयोग अस्थायित्व से निपटने हेतु अनुदैर्घ्य किक प्रदान करके किया जाएगा। एक एल्यूमीनियम वाइडबैंड रिज्ड वेवगाइड लोडेड रिएन्ट्रेंट टाइप प्रोटोटाइप किकर गुहिका का डिज़ाइन, संविरचन एवं उसका परीक्षण किया गया। वाइडबैंड अनुप्रयोगों हेतु आवश्यक निम्न गुणवत्ता कारक 5.5 प्राप्त करने हेतु वेवगाइड लोडेड संरचना की जटिल ज्यामिति को क्रियान्वित किया गया है। RF अभिलक्षणन को VNA ब्राडबैंड, टू फोर-वे स्प्लीटर्स समरूप लम्बाई की ओर केबलों एवं 50 Ω समान भार का उपयोग करते हुए पूरा किया गया। 1391 MHz एवं भारित गुणवत्ता कारक 5.5 की केन्द्रीय

आवृत्ति के लिए इष्टतम गुहिका व्यास एवं लम्बाई क्रमशः $\phi 162$ मी.मी. एवं 230 मी.मी. थी। ट्यूनिंग निष्पादन कार्य केविटी लिप का मशीन कट द्वारा किया गया, फलस्वरूप गुहिका लम्बाई पुनरावृत्तीय को मापन के साथ वांछित आवृत्ति तक पहुंचाने हेतु समायोजित करना पड़ा। हानिकारक हायर ऑर्डर मोड्स (HOM) का ध्यान रखने हेतु तीन HOM डैम्पिंग लूप प्रकार के युग्मकों को डिज़ाइन कर स्थापित किया गया। अनुनाद आवृत्ति, बैंडविथ एवं सभी विधियों के R/Q जिसमें आधारभूत का मापन भी शामिल है, को इण्डस-2 के अनुदैर्घ्य मल्टीबंच अस्थायित्व क्यूरिंग के उद्देश्य से संतोषजनक मापा गया।



चित्र.11: किकर आरएफ गुहिका का अर्ध प्रकोष्ठ।

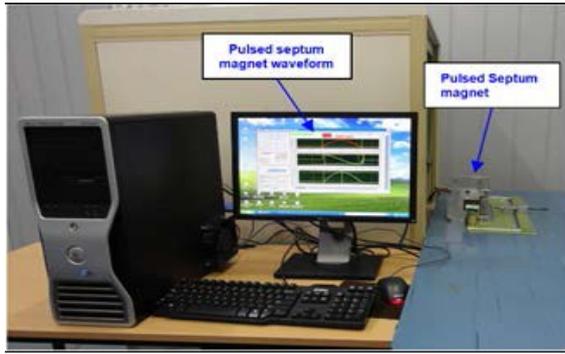
चित्र.12: युग्मकों के साथ संयोजित किकर गुहिका।

I.B.9. इण्डस-2 की निर्वात प्रणाली का अपग्रेडेशन

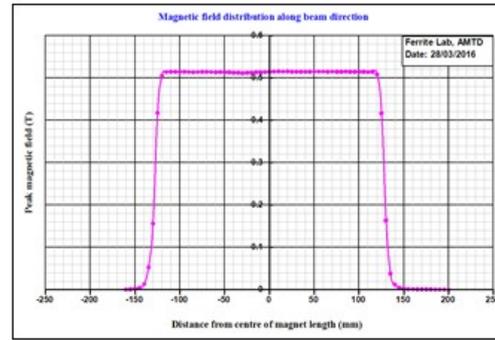
किकर्स के लिए चार संशोधित अपग्रेडेड सिरेमिक निर्वात कक्षों को इण्डस-2 में स्थापित किया गया है। इस कारण इण्डस-2 वलय के औसत निर्वात में सुधार हुआ एवं बीम के जीवनकाल में 100 mA एवं 2.5 GeV पर 30 घंटे से भी अधिक की वृद्धि दर्ज की गई। वलय में पुराने सिरेमिक निर्वात 9×10^{-10} की तुलना में अभी औसत निर्वात 3×10^{-10} पाया गया।

I.B.10. अपग्रेडेड इण्डस-2 अतःक्षेपण तनु सेप्टम चुम्बक का विकास

द्वारक (अर्पचर) (10 mm x 28.5 mm) के साथ एक नये अतःक्षेपण तनु सेप्टम चुम्बक का विकास किया गया। μ धातु परिरक्षण एवं 0.25 मी.मी. एल्यूमीनियम लेपन के साथ सेप्टम की मोटाई का इष्टतमीकरण त्रिज्य क्षेत्र समांगता ($\sim 10^{-3}$) के लिए तनु चालक एवं निम्न रिसाव क्षेत्र के पास सेप्टम के बाहर एवं परिसंचरित कक्षा की तरफ किया गया। चुम्बक का संविरचन 0.1 मी.मी. NiFe C- आकार लेमिनेशन से 250 मी.मी. लम्बाई के साथ 50μ से श्रेष्ठ एसेम्बली संहता के साथ किया गया। स्पंद प्रचालन के दौरा भंवरधारा को कम करने के लिए $10 \mu\text{m}$ विद्युत रोधन प्राप्त करने हेतु NiFe क्रोड को हाइड्रोजन वायुमंडल में 1100°C पर तापानुशीतन एवं दोनों सतहों पर ऑक्सीकरण किया गया। $50 \mu\text{s}$ स्पंदन के साथ उत्तेजन पर समग्र क्षेत्र समांगता ($\Delta B/B$) 3×10^{-4} पायी गई एवं प्रभावी चुम्बक लम्बाई ~ 250 मी.मी. थी। विपथित क्षेत्र में अधिकतम कमी शीर्ष मुख्य क्षेत्र के 0.05% तक लायी गयी। विपथित क्षेत्र का मापित तरंग का रूप अनुकार परिणामों के साथ अच्छा मेल था।



चित्र.13: मापित बेंच के तनु सेप्टम चुम्बक।



चित्र. 14: सेप्टम लम्बाई के साथ-साथ चुम्बकीय क्षेत्र वितरण।

I.C. इण्डस बीमलाइन का उपयोग एवं अपग्रेडेशन

I.C.1. 1. इण्डस बीमलाइन का उपयोग

इण्डस-1 पर 6 एवं इण्डस-2 पर 13 (10 उपयोगकर्ताओं के लिए खुली है) बीमलाइन राष्ट्रीय सुविधाएं हैं। वर्ष 2016 में इण्डस-1 एवं इण्डस-2 बीमलाइनों पर 600 से अधिक प्रायोगिक परीक्षण उपयोगकर्ताओं द्वारा पूरे किए गए एवं अंतर्राष्ट्रीय जर्नल्स में 100 से अधिक लेख इस बारे में प्रकाशित किए गए।

इण्डस-1 एवं इण्डस-2 बीमलाइनों में पूरे किए गए कार्यों का संक्षिप्त विवरण इस प्रकार है।

इण्डस-1 में low-Z/low-Z C/B₄C मल्टीलेयर्स पर प्रकाशित गुणधर्मों का अध्ययन सिंक्रोट्रॉन आधारित अल्पवेधी एक्स-रे अपवर्तकता बीमलाइन (BL-3) का उपयोग करके पूरा किया गया। इन निम्न इलेक्ट्रॉन घनत्व विषमता संरचनाओं (EDC) को उच्च तीव्रता विकिरण हेतु दर्पणों, एक वर्णित्रों (मोनोक्रोमेटर्स) बीम विपाटकों (स्प्लीटर्स) इत्यादि के रूप में उपयोग करने की क्षमता निहित है। इण्डस-2 में विविध प्रणालियों, जिसमें अंतराधातुक, मिश्रधातु FeAl भी शामिल है, पर कोण विभेदन प्रकाश इलेक्ट्रॉन स्पेक्ट्रमिकी बीमलाइन का उपयोग करते हुए अनुनादी प्रकाश इलेक्ट्रॉन स्पेक्ट्रमिकी प्रयोगों को पूरा किया गया।

कोण परिक्षेपी एक्स-रे विवर्तन बीमलाइन(BL-12) का उपयोग विविध प्रौद्योगिकी महत्व के पदार्थों के अध्ययन हेतु किया गया। NiO ऐपीटेक्सीयल तनु फिल्म के अंतरापृष्ठ का भी अध्ययन किया गया। उत्पाद चरण के नाभिकन एवं वृद्धि का अध्ययन Fe_xRh_{1-x} मिश्रधातु प्रणाली 300 K से 320 K एवं तापमान परास में चरण सह-अस्तित्व का घटित होना दर्शाता है।

मल्टीफंक्शन पदार्थों Co₃TeO₆ एवं Co_{2.5}Mn_{0.5}TeO₆ के लिए ताप निर्भर क्रिस्टल संरचना का निर्धारण किया गया। पदार्थों में फ्रीडम के स्पिन एवं लेटिस के नीचे एक शक्तिशाली कपलिंग को भी प्रदर्शित किया गया।

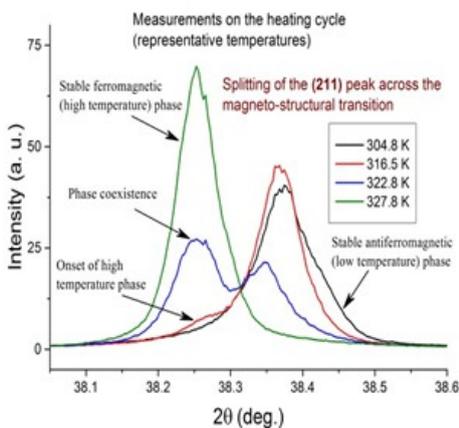
प्रौद्योगिकीय महत्व के पदार्थों पर विस्तृत एक्स-रे अवशोषण एवं सूक्ष्म संरचना Extended (EXAFS) मापन को पूरा कर लिया है। CeO₂ पर अध्ययन यह दर्शाता है कि Sm एवं Sr अपमिश्रण (डोपिंग) स्थानीय आधारभूत बदलावों का मज़बूती से समर्थन करते हैं जो कि मध्यवर्ती ताप (300 °C to 450 °C) प्रचालन के लिए विद्युतअपघट्य के प्रचालन में कमी करने में सहायक है। जो पहली

बार सूचित किया गया है। EXAFS and XANES का मापन Mn-Li co-डोपड ZnO नैनोकणों पर निष्पादित किया गया है। उनके प्रकाश उत्प्रेरण गुणधर्मों पर निहितार्थ का भी अध्ययन किया गया।

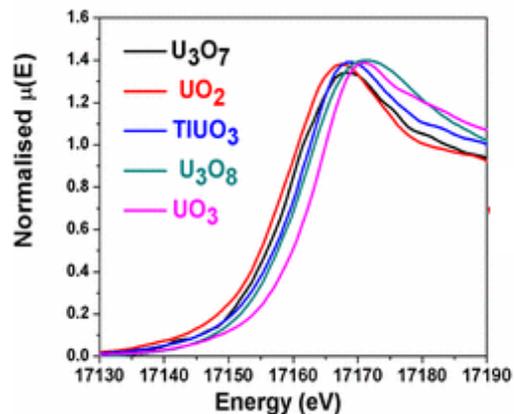
नायोबियम डोपड TiO₂ में ऑक्सीजन अवशोषण का अध्ययन अल्पवेधी एक्स-रे अवशोषण बीमलाइन BL-1 का उपयोग करके किया गया। जिसका गैस संवेदक प्रकाश उत्प्रेरण सौर सेलों में इलेक्ट्रॉन अंतःक्षेपण एवं वैकल्पिक चालकीय इलेक्ट्रॉन के अनुप्रयोगों में महत्वपूर्ण है। Ti-O बॉन्ड व Ti ऑक्सीकरण स्तर के परिवर्तन में Nb डोपिंग की भूमिका का भी विश्लेषण किया गया एवं उसे अवलोकित भौतिक एवं प्रकाशिक गुणधर्मों के साथ सह-संबद्ध किया गया। अनेकों प्रोटीन संरचनाओं के समाधान हेतु प्रोटीन BL-21 क्रिस्टलविज्ञान बीमलाइन का उपयोग किया गया। इन सबके मध्य तीव्र विकिरण प्रतिरोधक जीवाणु *Deinococcus radiodurans* से प्राप्त ऐसिलपेप्टाइड हाइड्रोलेज एन्ज़ाइम की संरचना का समाधान कर विश्लेषण किया गया। जीवाणु में देखे गए परिणाम विकिरण प्रतिरोधक संरचना के लिए प्रासंगिक थे।

मिश्रित संयोजकता U₃O₈ एवं U₃O₇ यूरेनियम ऑक्साइड में यूरेनियम के ऑक्सीकरण स्तर के निर्धारण हेतु एक्स-रे प्रतिदीप्ति बीमलाइन BL-16 पर कुल परावर्तन एक्स-रे प्रतिदीप्ति (TXRF) आधारित एक्स-रे अवशोषण नीयर एज स्पेक्ट्रमिती का काम पूरा किया गया। विश्लेषण से यह उद्घाटित हुआ कि U₃O₈ में U की उपस्थिति U(V) एवं U(VI) का मिश्रण है, जबकि U₃O₇ में U की उपस्थिति U(IV) एवं U(VI) का मिश्रण है। वर्तमान अध्ययन ने ऑक्सीकरण स्तर निर्धारण एवं विकिरण पदार्थों के अविध्वंसक तरीके से तात्विक जाति उद्भव बहुत कम मात्रा में आवश्यक प्रतिदर्शों के साथ TXRF अनुप्रयोगों की संभवना को प्रदर्शित किया है।

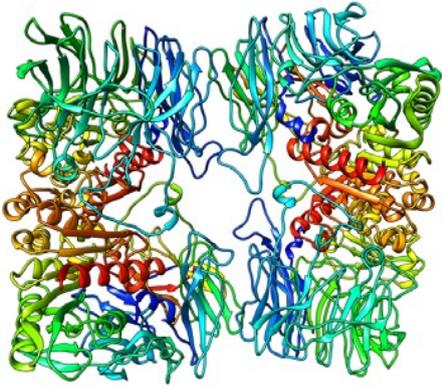
प्रतिबिम्बन बीमलाइन (BL-4) पर 20 keV ऊर्जा के साथ एक वर्णिक एक्स-रे का उपयोग विकिरण प्रेरित जल अपघटन प्रक्रिया द्वारा Ag नैनो कणों के निर्माण हेतु किया गया। इस अभिनव तकनीक का पहली बार प्रयोग नैनोकणों के बड़ी मात्रा में उत्पादन हेतु किया गया। एक्स-रे लिथोग्राफिक बीमलाइन (BL-7) का उपयोग फोकसिंग एक्स-रे के अनेकों उच्च आकार अनुपात संरचनाओं के विकास एवं दर्पणों के श्रेष्ठ फोकसिंग गुणधर्मों को प्राप्त करने हेतु एक्स-रे तरंग फ्रंट को सुधारने में किया गया। एक वृहत द्वारक लेंस जो कि इण्डस-2 एक्स-रे विवर्तन बीमलाइन (BL-11) के लिए आवश्यक था, का संविरचन किया गया।



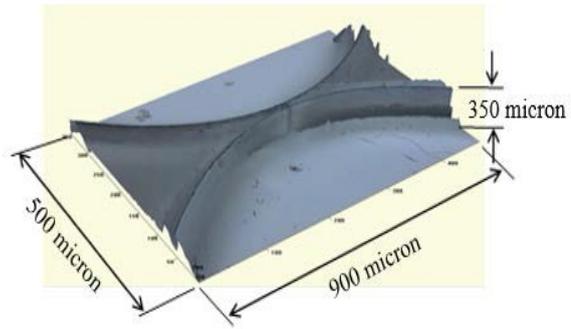
चित्र.15: चरणबद्ध सह-अस्तित्व को दर्शाता Fe_xRh_{1-x} मिश्राधातु का विवर्तन



चित्र. 16: विभिन्न यूरेनियम प्रतिदर्शों के लिए TXRF ज्यामिति में रिकॉर्ड किए गए एक्स-रे अवशोषण डेटा।



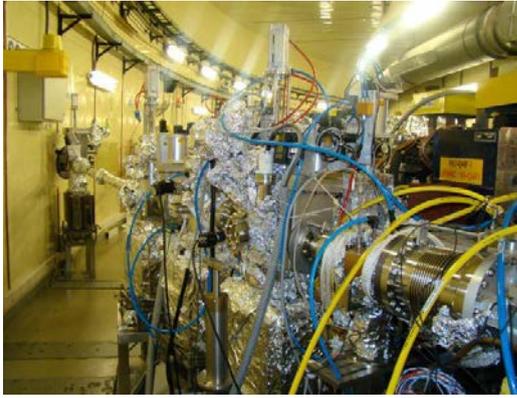
चित्र.17 : 2.15 Å विभेदन पर *Deinococcus radiodurans* से *Acylpeptide hydrolase* की क्रिस्टल संरचना (संवृत रूप से)।



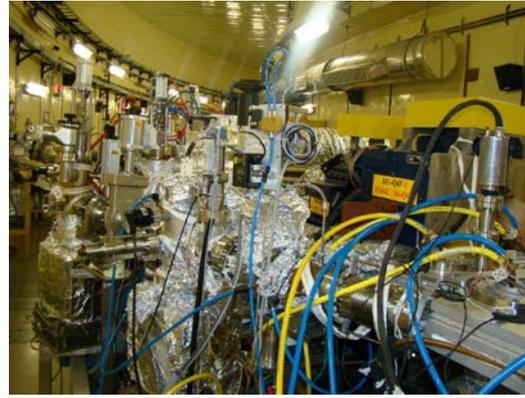
चित्र.18: लिथोग्राफी बीमलाइन पर संविरचन लेंस का प्रकाशिक प्रतिबिम्ब।

I.C.2. बीमलाइन फ्रंटएंड्स का विकास

नई बीमलाइनें एवं उनसे संबंधित सुविधाओं के विकास हेतु कई सार्थक प्रयास किए गए, इनमें शामिल हैं- इंजीनियरिंग अनुप्रयोग बीमलाइन का विकिरण परिरक्षक हच ARPES बीमलाइन के एकवर्णिक की स्थापना ARPES बीमलाइन इत्यादि हेतु गेटिंग एवं अन्य प्रकाशिक घटकों की खरीद इण्डस अल्पवेधी एक्स-रे बीमलाइन (BL-26) के फ्रंटएंड को स्थापित कर उसका परीक्षण किया गया। मुख्य घटकों जैसे वाटरकूल्ड शटर, संरक्षा शटर, कॉलीमेटर निर्वात कक्ष एवं सपोर्ट/संरेखण प्रणाली की डिज़ाइन, निर्माण एवं परीक्षण कर इण्डस-2 वलय में स्थापित किया गया। फ्रंटएंड में 1.0×10^{-9} mbar क्रम निर्वात प्राप्त किया गया। तरंगक U-3 आधारित एक्स-रे चुम्बकवृत्त द्विवर्णता बीमलाइन (BL-20) फ्रंटएंड के कुछ घटकों जैसे प्री-मास्क वाटरकूल्ड बीम व्यूअर स्केनिंग वायर मॉनीटर इत्यादि की डिज़ाइन, स्वदेशी निर्माण एवं उन्हें इण्डस-2 में स्थापित किया गया। तरंगक U-3 से सिंक्रोट्रॉन विकिरण को आकृति, आकार, स्थिति एवं प्रोफाइल प्रदान करने हेतु बीम व्यूअर एवं वायर मॉनीटर का उपयोग किया गया। U-1 तरंगक पर “परमाणु, आणविक एवं प्रकाशिक विज्ञान बीमलाइन” (BL-5) “कोण विभेदन प्रकाश इलेक्ट्रॉन स्पेक्ट्रमिकी बीमलाइन” (BL-10) के फ्रंटएंड के हिस्से को स्थापित कर दिया गया है। फ्रंटएंड में शेष घटकों जैसे वाटर कूल्ड शटर, संरक्षा शटर में, वाटर कूल्ड मास्क बीम व्यूअर व निर्वात कक्षों की डिज़ाइन, संविरचन एवं 1.0×10^{-9} mbar निर्वात पर परीक्षण किया गया, जो कि चित्र 19 एवं 20 में दर्शाई गई है।



चित्र .19: BL-5 पर फ्रंट एंड हिस्से की स्थापना(परमाणु,आणविक एवं प्रकाशिक विज्ञान बीमलाइन)।



चित्र 20: BL-10 पर फ्रंट एंड हिस्से की स्थापना कोण विभेदन प्रकाश इलेक्ट्रॉन स्पेक्ट्रमिकी बीमलाइन।

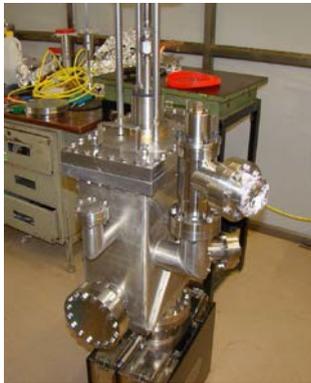


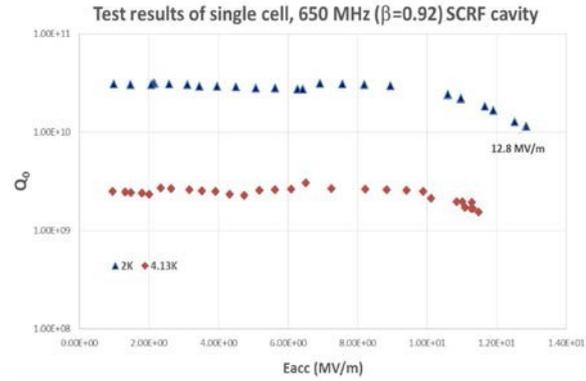
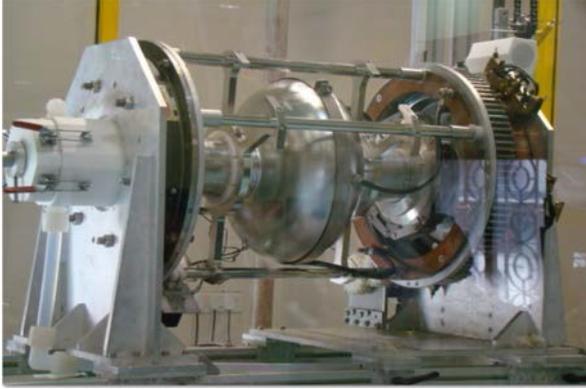
Fig. 21: तरंगक U1 एवं U2 की BL-5 एवं BL-10 बीमलाइनों के फ्रंटएंड घटक।

II. त्वरक प्रौद्योगिकी

II.1. 650 MHz beta=0.92 सिंगल-सेल SCRF गुहिका का संविरचन, संसाधन एवं परीक्षण

अतिचालक रेडियो आवृत्ति (SCRF) गुहिकाओं की संविरचन, संसाधन एवं निम्न ताप आरएफ परीक्षण सुविधाओं की स्थापना आरआरकेट में की गई, जिसमें एक वृहत आकार की अपकेन्द्रीय बेरल पॉलिशिंग मशीन पर शामिल है। एक सिंगल सेल 650 MHz (Beta=0.92) अतिचालक गुहिका TB9-RRCAT-304 का संविरचन घरेलू संसाधनों द्वारा इलेक्ट्रॉन बीम वेल्डिंग सुविधाओं का उपयोग करके किया गया है। यह रिसाव परीक्षित एवं बेरल पॉलिशड है। लगभग 200 माइक्रोन सामग्री को इक्वेटर से सिरैमिक, प्लास्टिक का उपयोग करके हटाया गया एवं कोलाइडी विलयन का उपयोग सतही त्रुटियों को हटाने एवं गुहिका की आंतरिक सतह की पॉलिश करने हेतु किया गया। बेरल पॉलिशड गुहिका को 600 °C पर 10 घंटे तक उच्च निर्वात में तापीय संसाधित, उच्च तापानुशीतन सुविधा का उपयोग करते हुए, विशेष तौर से नायोबियम सामग्री के लिए किया गया। इलेक्ट्रॉन पॉलिशिंग सुविधा का उपयोग करते हुए ~ 20 माइक्रोन सामग्री को हटाने हेतु अंतिम कदम के रूप में हल्का इलेक्ट्रोपॉलिशिंग किया गया। इलेक्ट्रोपॉलिशिंग के पश्चात् गुहिका को पराश्रव्य माध्यम से साफ़ किया गया। गुहिका को ~ 100 bar दाब पर पराशुद्ध जल से धोया गया एवं सुखाया गया एवं क्लास 100 साफ़ कक्ष

में 2 K परीक्षण हेतु तैयार किया गया। अंतिम रूप से गुहिका को 120 °C पर उच्च निर्वात में ओवन पर रखा गया। गुहिका का परीक्षण VTS सुविधा के साथ आरआरकेट में किया गया। त्वरित प्रवणता $E_{acc} \sim 12.8 \text{ MV/m}$ के साथ उत्कृष्ट गुणवत्ता 3×10^{10} प्राप्त की।



चित्र 22: सिंगल-सेल 650 MHz SCRF गुहिका का इलेक्ट्रोपॉलिशिंग।

चित्र.23 : सिंगल सेल 650 MHz ($\beta=0.92$) SCRF गुहिका के लिए उर्ध्वधर परीक्षण परिणाम।

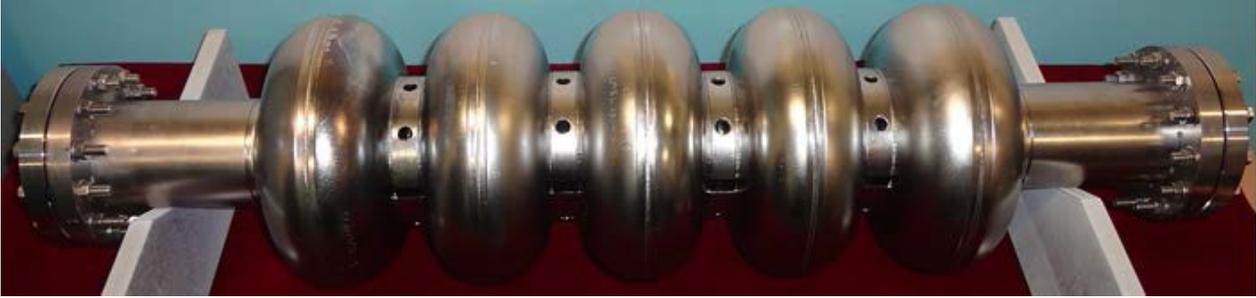
II.2. उच्च बीटा 650 MHz पांच-सेल SCRF गुहिका

आरआरकेट द्वारा HB 650 MHz ($\beta=0.92$) पांच-सेल परावर्तक विहिन (Bare) गुहिका के संविरचन का काम शुरू किया गया है। विविध गुहिका संविरचन औज़ारों एवं फिक्सचर जैसे औज़ारों का निर्माण, वेल्डिंग एवं मशीनिंग फिक्सचर के डिज़ाइन एवं संविरचन का काम पूरा कर लिया गया है। प्रथम प्रोटोटाइप पांच-सेल SCRF गुहिका (जिसमें अर्द्धसेल, बीम ट्यूब, फ्लेज इत्यादि) के घटकों का संविरचन कार्य पूरा कर लिया गया है। यह योजना बनाई है कि प्रथम प्रोटोटाइप HB 650 MHz पांच-सेल गुहिका संविरचन का कार्य मार्च 2017 तक पूरा हो जाए। इसके पश्चात् सक्षमता हेतु 2 K पर इसके अगले संसाधन एवं परीक्षण का काम पूरा किया जाएगा। ऐसे दो भिन्न बीटा के साथ ($\beta= 0.61$ एवं $\beta= 0.92$) दीर्घवृत्तीय 650 MHz गुहिका की आवश्यकता अतिचालक प्रोटोन लिनेक हेतु होगी, जो कि भविष्य में DAE के दो मुख्य त्वरक परियोजना ISNS एवं ADS के लिए ज़रूरी होगी। .

II.3. विश्व की प्रथम मल्टी-सेल लेसर वेल्डेड SCRF गुहिका

SCRF गुहिकाएं अत्यधिक महंगी होती हैं, लेकिन यह उच्च तीव्रता कण त्वरकों का बहुत ही अनिवार्य घटक है। आरआरकेट में एक पांच-सेल लेसर वेल्डेड SCRF गुहिका का संविरचन किया गया है। लेसर वेल्डिंग तकनीक के साथ SCRF संविरचन प्रौद्योगिकी का विकास विश्व में पहली बार किया गया है। इसने महंगी इलेक्ट्रॉन बीम वेल्डिंग प्रौद्योगिकी की जगह ले ली है, जो वर्तमान में इसका उपयोग इसके अनुप्रयोग की वजह से पूरे विश्व में किया जा रहा था। यह प्रौद्योगिकी SCRF गुहिका की संविरचन प्रौद्योगिकी में कीर्तिमान है क्योंकि इसके कारण SCRF गुहिकाओं के संविरचन की लागत में सार्थक रूप से कमी आई है। इस प्रौद्योगिकी की व्यवहार्यता को प्रमाणित आरआरकेट में इस तकनीक द्वारा प्रथम सिंगल सेल गुहिका का

संविचन एवं फर्मी लेब परीक्षण करके किया गया। जहां इसके द्वारा 2 K पर 1×10^{10} गुणता गुणक Q_0 31.6 MV/m की प्रवणता प्रदान की। यह परम्परागत रूप से SCRF गुहिका के कार्य निष्पादन के समान थी। इस प्रौद्योगिकी को USA (US 9352416 B2) एवं जापान (पेटेंट सं. JP5632924) द्वारा पेटेंट प्रदान का अनुमोदन कर दिया गया है।



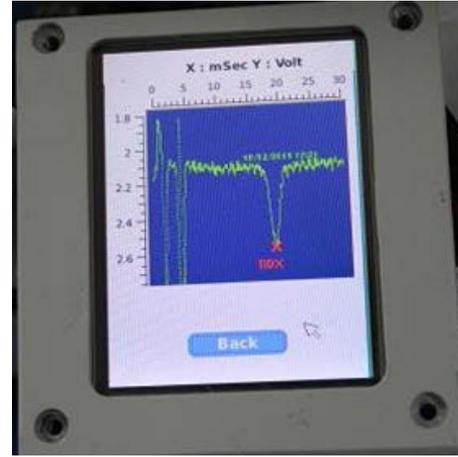
चित्र 24: 5-सेल लेसर वेल्डेड अतिचालक रेडियो आवृत्ति गुहिका।

II.4. ECIL में विकसित की जा रही IMS आधारित विस्फोटक संसूचन प्रणाली के लिए उच्च वोल्टता DC एवं स्पंद विद्युत आपूर्तियों का विकास

हमारे देश की सुरक्षा के लिए विस्फोटक संसूचन सुविधा एक बहुत ही महत्वपूर्ण आवश्यकता है। वर्तमान में भारत में स्वदेशी रूप से विकसित की गई कोई भी विस्फोटक संसूचक प्रणाली उपलब्ध नहीं है। वर्ष 2012 में TNT, RDX, PETN इत्यादि विस्फोटकों के संसूचन हेतु *भारत में प्रौद्योगिकी विकास* के तहत आयन मोबिलिटी स्पेक्ट्रमिती (IMS) आधारित स्वदेशी विस्फोटक प्रणाली को विकसित करने की जिम्मेवारी ECIL, हैदराबाद एवं IGCAR, कलपक्कम ने अपने हाथों में ली थी। IMS संसूचक की अपवाह नलिका के लिए आवश्यक उच्च वोल्टता स्पंद एवं DC आपूर्तियों का विकास आरआरकेट, इन्दौर में किया गया। एक बड़ी चुनौती यह थी कि इन आपूर्तियों को छोटे आकार में विकसित किया जाना था, जिससे कि उन्हें संसूचक प्रणाली में स्थापित किया जा सके। संभावित विभिन्न डिज़ाइन एवं स्थलाकृतियों का अध्ययन कर अनुकारों को पूरा किया गया। संभावित विभिन्न डिज़ाइनों पर आधारित प्रोटोटाइपों का विकास, परीक्षण एवं विश्लेषण किया गया। ECIL के साथ वार्ताओं के दौर एवं वहां भ्रमण, के उपरांत दोनों स्पंद एवं DC आपूर्ति जो कि विद्युत, इलेक्ट्रॉनिक, तापीय एवं यांत्रिक विशेषताओं को पूरा करती है, को विकसित किया गया। इन आपूर्तियों को आयातित आपूर्तियों के स्थान पर संसूचन प्रणाली के साथ एकीकृत किया गया। ऑक्सीजन एवं TNT संसूचन का कार्य सफलतापूर्वक पूरा कर लिया गया है। इन विद्युत आपूर्तियों के प्रौद्योगिकी हस्तांतरण संबंधी प्रस्ताव का कार्य प्रगति पर है।



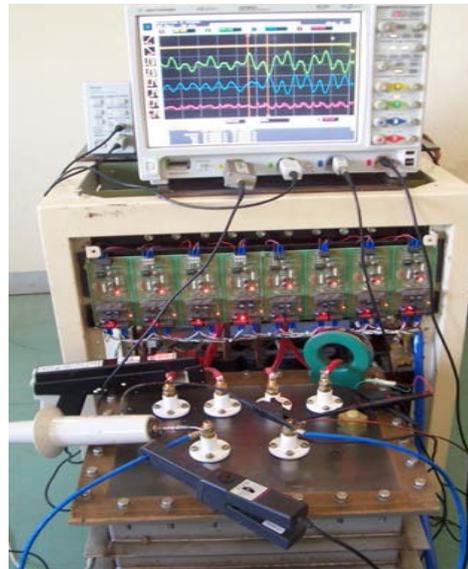
चित्र. 25: RRCAT HV स्पंद एवं HV DC आपूर्तियों के साथ संसूचक स्क्रीन पर ऑक्सीजन संसूचन।



चित्र. 26: RRCAT HV स्पंद एवं HV DC आपूर्तियों के साथ संसूचक स्क्रीन पर TNT - RDX संसूचन।

II.5. भविष्य की परियोजनाओं हेतु उच्च स्थायित्व, उच्च शक्ति केपेसीटर (संधारित्र) आवेशित विद्युत आपूर्ति का विकास

इस विद्युत आपूर्ति का उपयोग सेप्टम/किंकर स्पंदक के स्पंद पावर सर्किट केपेसीटर को 25 Hz पुनरावृत्ति दर से आवेशित करने हेतु किया जाएगा। केपेसीटर आवेशन विद्युत आपूर्ति की डिज़ाइन एवं विकास 50 μ F ऊर्जा भंडारण केपेसीटर को 0 V to 2 kV तक 35 ms के भीतर 2.8 kJ/s आवेशित ऊर्जा को प्रदर्शित के साथ आवेशन हेतु किया गया। 25 Hz पर मापित ऊर्जा का शेष उत्पादन स्थायित्व $\pm 0.01\%$ था।



चित्र. 27: परीक्षण के दौरान उच्च वोल्टता केपेसीटर आवेशित विद्युत आपूर्ति।

II.6. आरआरकेट में पहले 10 MeV, 5 kW इलेक्ट्रॉन लिनियर त्वरकों (लिनैक) का विकास एवं परीक्षण

कृषि, चिकित्सा, एवं औद्योगिक अनुप्रयोगों हेतु आरआरकेट, इन्दौर द्वारा एक 10 MeV, 5 kW इलेक्ट्रॉन लिनियर त्वरकों का स्वदेशी संसाधनों से विकास किया गया। यह त्वरण संरचना

प्रगामी तरंग प्रकार की है एवं एस-बैंड (2856MHz) में प्रचालित होती है।

दीर्घावधि प्रचालन के दौरान यह पहले लिनेक ने 5 kW तक के ऊर्जा स्तर पर पहुंच गया है। इन्दौर में स्थापित की जा रही कृषि विकिरण संसाधन सुविधा में स्थापित किए जाने हेतु इस लिनेक बीम का अभिलक्षणन किया जा रहा है। अनेक परिमार्जनों एवं इंजीनियरिंग डिज़ाइनों के साथ इस श्रृंखला के द्वितीय लिनेक का परीक्षण 1 kW बीम ऊर्जा पर परमाणु ऊर्जा नियामक परिषद् की शर्तों के अनुसार किया गया। अब 5 kW बीम ऊर्जा पर दीर्घावधि क्षमता परीक्षण हेतु तैयार है।



चित्र.28: बीम ऊर्जा 5 kW पर प्रथम लिनेक का चित्र.29: बीम ऊर्जा 1 kW द्वितीय लिनेक का परीक्षण। .

II.7. आरआरकेट में इलेक्ट्रॉन बीम किरणन का उपयोग करते हुए फसलों की नई किस्मों का उत्परिवर्तन प्रजनन

आयनीकृत विकिरण प्रेरित उत्परिवर्तन प्रजनन फसलों में वांछित विशेषताओं जैसे रोग प्रतिरोधकता, बेमौसम बरसात में खड़े रहने की क्षमता, उत्पादन वृद्धि, अकाल प्रतिरोधकता इत्यादि में आनुवंशिक परिवर्तनशीलता में वृद्धि करने का एक सफल उपाय है। आरआरकेट में चावल एवं गेहूं के बीजों का इलेक्ट्रॉन बीम विकिरण कार्य द्वय प्रकीर्णन प्रणाली का उपयोग करते हुए आवश्यक निम्न डोज किरणन को प्राप्त करने हेतु किया गया, जिसका उपयोग नाभिकीय कृषि एवं जैव प्रौद्योगिकी प्रभाग, BARC, पंजाब कृषि विश्वविद्यालय, लुधियाना एवं इंदिरा गांधी कृषि विश्वविद्यालय, रायपुर द्वारा किया जा रहा है। आरआरकेट में प्रचालित 10 MeV लिनेक पर आधारित इलेक्ट्रॉन बीम सुविधा एवं त्वरक स्पंद बीम का उपयोग इन बीमों के किरणन हेतु किया गया।



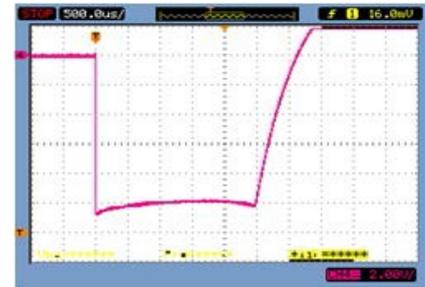
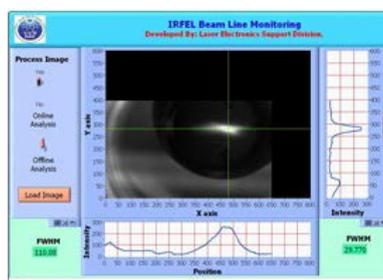
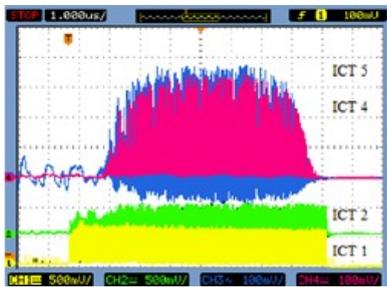
चित्र 30. चावल एवं गेहूं के बीजों का इलेक्ट्रॉन बीम किरणन।

II.8. अवरक्त मुक्त इलेक्ट्रॉन का विकास

स्वदेशी संसाधनों से विकसित एक अवरक्त मुक्त इलेक्ट्रॉन लेसर (IR-FEL) को आरआरकेट में शुरू किया जा रहा है। इसमें 50 mm अवधि एवं एक अंतःक्षेपण लिनेक प्रणाली जो 15 MeV से 25 MeV इलेक्ट्रॉन बीम को वितरित करने में समर्थ है, के साथ 2.5 मी.लम्बी शुद्ध स्थायी चुम्बक तरंगक भी है। अंतःक्षेपण प्रणाली से त्वरित इलेक्ट्रॉन बीम का परिवहन तरंगक तक एक इलेक्ट्रॉन बीम परिवहन लाइन द्वारा किया गया है, जो गोल बीम का परिचालन लिनेक निकाय से सपाट बीम पर वांछित गुणधर्मों के साथ तरंगक प्रवेश पर किया गया है। एकीकृत धारा ट्रांसफॉर्मर (ICTs) एवं बीम प्रोफाइल मॉनीटर (BPMs) के रूप में इलेक्ट्रॉन बीम नैदानिकी का नियोजन IR-FEL प्रणाली के विभिन्न स्थानों पर इलेक्ट्रॉन बीम गुणधर्मों को मॉनीटर करने हेतु किया गया है। आरआरकेट में विविध चुम्बकों के लिए आवश्यक उच्च स्थायित्व ($\pm 100 / \pm 400$ ppm) 13 A /15 V विद्युत आपूर्तियों को डिज़ाइन किया गया है। इसका उत्पादन एवं परीक्षण ECIL, हैदराबाद द्वारा पूरा किया गया है। गत वर्ष घरेलू संसाधनों से निर्मित 45 विद्युत आपूर्तियों की स्थापना, केबलिंग एवं परीक्षण को पूरा किया गया। इस वर्ष विद्युत आपूर्तियों को केन्द्रीय नियंत्रण कक्ष के साथ सदूर प्रचालन हेतु अंतरापृष्ठ (Interfaced) किया गया। इनका पिछले एक वर्ष से नियमित उपयोग किया जा रहा है। IR-FEL प्रणाली में उत्पादित IR विकिरण का अनुप्रवाह दर्पण में 2.5 मी.मी. छिद्र द्वारा बाह्य युग्मित किया गया एवं बाह्य युग्मित IR ऊर्जा का मापन द्रवित हीलियम कूल्ड तेजमापी (बोलोमीटर) का उपयोग करके किया गया।

लेसर की इलेक्ट्रॉन गन हेतु 29.75 MHz के RF संकेत 476 MHz सब होरमोनिक प्री-बंचर (SHPB) एवं 2856 MHz लिनेक के लिए आवश्यक है। इलेक्ट्रॉन बीम की समुचित बंचिंग एवं त्वरण हेतु सभी RF संकेतों को सिंक्रोनाइज्ड एवं फेज लॉक की आवश्यकता होती है। सभी तीन संकेतों के बीच इस अनिवार्य फेज लॉकिंग को सिंक्रोनाइज्ड संकेत उत्पादन इकाई में RF

विश्लेषकों के 2856 MHz संकेतों से व्युत्पन्न 476 MHz व 29.75 MHz RF संकेतकों द्वारा प्राप्त किया गया। 29.75 MHz, 476 MHz, व 2856 MHz विद्युत स्तर का समायोजन क्रमशः इलेक्ट्रॉन गन पल्सर SHPB RF प्रणाली एवं लिनेक RF प्रणाली की आवश्यकताओं को पूरा करने हेतु किया गया। इन संकेतों को उनके संतोषजनक निष्पादन के साथ संबंधित प्रणाली में सफलतापूर्वक अंतरापृष्ठ किया गया। अभी हाल ही में प्रणाली में $\sim 34 \mu\text{m}$ तरंगदैर्घ्य पर लेसिंग की पहली उपस्थिति (सिग्नेचर) को सफलतापूर्वक अनुमानित $\sim 10^4$ से अधिक की प्राप्ति बड़े हुए स्वतः उत्सर्जन के साथ 18.3 MeV इलेक्ट्रॉन बीम के प्रयोगों के दौरान अनुमानित 26 A शीर्ष सूक्ष्म-स्पंद धारा के साथ $5 \mu\text{s}$ इलेक्ट्रॉन बीम सूक्ष्म-स्पंद को देखा गया। भविष्य में किए जाने वाले प्रयोगों के लिए वर्तमान में FEL लाभ के संतृप्तिकरण को प्राप्त करने हेतु प्रयास किए जा रहे हैं।



चित्र. 31: IR-FEL प्रणाली में विभिन्न स्थानों पर ICT का पता लगाना।

चित्र. 32: तरंग प्रवेश पर एक विशिष्ट बीम चिह्न।

चित्र. 33: लेसिंग के दौरान विशिष्ट संतृप्त बोलोमीटर का पता लगाना।

II.9. भारतीय स्पेलेशन न्यूट्रॉन स्रोत (ISNS) के लिए 1 GeV H⁻ इंजेक्टर अंतःक्षेपण लिनेक हेतु एंड टू एंड बीम गतिकी अनुकार अध्ययन

स्पेलेशन न्यूट्रॉन स्रोत के लिए अंतःक्षेपण की डिज़ाइन करने का बहुत ही निर्णायक पक्ष यह है कि विभिन्न प्रकार की त्वरित गुहिकाओं एवं फोकसिंग चुम्बकों की इष्टतम व्यवस्था का पता लगाना है। यह इष्टतम व्यवस्था यह सुनिश्चित करेगी कि बीम को अनुप्रस्थ के साथ-साथ अनुदैर्घ्य दिशा में लिनेक की पूरी लम्बाई के ऊपर फोकस करके रखा गया। चूंकि बीम की ऊर्जा बहुत अधिक (1 MW) होती है। वहां प्रभाजी बीम क्षय को सहन करने योग्य बहुत ही कड़ा मानक होता है। जो प्रेरित रेडियो सक्रियता को स्वीकार्य स्तर से नीचे रखता है। ऐसे में त्वरकों की व्यवहारिक एवं क्रियाशील अनुरक्षण संभव हो पाता है। इसने ऐसे अनेक कड़े बीम गतिकी मानकों को अपनाया है। जिनकी आवश्यकता लैटिस द्वारा लिनेक को संतृप्त करने के लिए होती है।

आयन स्रोत के प्रवेश पर लिनेक के लिए एक इष्टतम लैटिस की डिज़ाइन प्रत्याशित बीम प्राचलों के लिए की गयी है। इस वर्तमान डिज़ाइन में शामिल है 1.9 मी. लम्बी निम्न ऊर्जा बीम परिवहन (LEBT) अनुभाग, 3.49 मी. लम्बी रेडियो आवृत्ति चतुर्ध्रुव (RFQ) अनुभाग, 3.68 मी. लम्बी मध्यम ऊर्जा बीम परिवहन (MEBT) अनुभाग एवं 252 मी. लम्बी लिनेक अनुभाग जिसमें 20 की संख्या में सिंगल स्पोक अनुनादक (SSRO) गुहिकाओं, 28

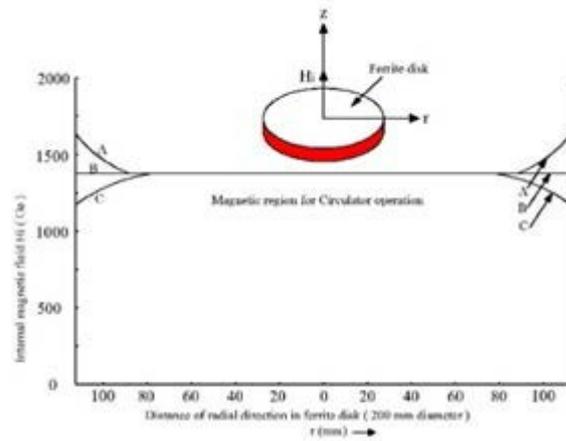
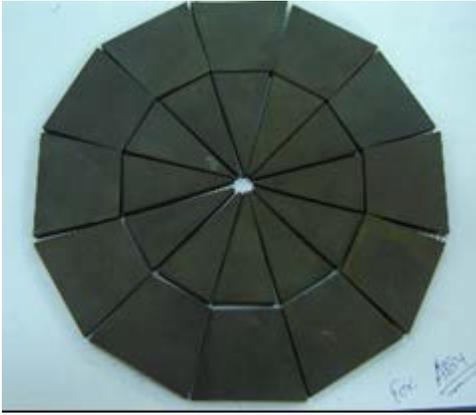
संख्या में SSR1 गुहिकाओं, 48 की संख्या SSR2 गुहिकाएं, 54 की संख्या में मध्य बीटा गुहिकाएं एवं 48 संख्या में उच्च बीटा गुहिकाओं के साथ परिनालिका व चतुर्ध्रुव डबलेट्स का भी समावेश है। बीम गतिकी अनुकारों को इस विन्यास के साथ पूरा किया जा चुका है एवं इसकी जांच इस तरह की गई है कि यह सभी कड़े बीम गतिकी मानकों को पूरा करे।

II.10. उच्च शक्ति परिसंचारकों के लिए फेराइट एवं गार्नेट की ऊर्जा प्रभाव सीमा का अध्ययन

उच्च शक्ति CW परिसंचारकों की डिज़ाइन करने एवं विकसित करने में फेराइट की ऊर्जा प्रभाव सीमा एक महत्वपूर्ण मुद्दा है। उच्च ऊर्जा पर स्पिन तरंगों नॉन यूनिफॉर्म विधा में उत्तेजन प्राप्त करती है। RF क्षेत्र से प्राप्त ऊर्जा स्पिन तरंग प्रणाली में युग्मित हो जाती है। जिसके कारण ऊर्जा का क्षय होता है। क्रांतिक ऊर्जा P_{crit} , जिस पर की स्पिन तरंग अनुनाद को लाइन विड्थ में स्थापित फेराइट पदार्थों की ऊर्जा हस्तन के निर्धारण में एक महत्वपूर्ण मापन की आवश्यकता होती है। माइक्रोवेव फेराइट एवं गार्नेट में अरेखिकता का मापन करने हेतु एक समानांतर पिम्पंग परीक्षण बेच का विकास किया गया है। इसमें स्पंद ऊर्जा मेग्नेट्रॉन, फेराइट गोलाकार सेम्पल के साथ TE₁₀₄ गुहिका व ट्यूनेबल विद्युत चुम्बक का समावेश है। RF ऊर्जा को स्थैतिक चुम्बकीय क्षेत्र के समानांतर प्रयुक्त किया गया। निम्न ऊर्जा पर शून्य माइक्रोवेव ऊर्जा को फेराइट सेम्पलों द्वारा अवशोषित कर लिया गया। कुछ निश्चित क्रांतिक अथवा प्रभाव सीमा के परे अवशोषित ऊर्जा स्तर में आकस्मिक वृद्धि दर्ज की गई। यह अरेखिकता के आरंभ को चिह्नित करती है। इस व्यवस्था में यिट्रियम गार्नेट के 1 मी.मी.से 2 मी.मी.व्यास गोले में एवं I-CVG का संविरचन एवं परीक्षण किया जा चुका है। फेराइट एवं गार्नेट में अनुनाद प्रचालन के नीचे 100 kW तक कोई भी अरेखिकता को नहीं देखा गया है।

उपरोक्त परिणामों के आधार पर 207 मी.मी.व्यास व 505.8 MHz पर 5 मी.मी.मोटाई की फेराइट डिस्क अनुनादक को प्लूरल (त्रिकोणीय) फेराइट टुकड़ों का उपयोग करके बनाया गया है। प्रत्येक फेराइट के टुकड़े के कॉर्नर को किसी भी निस्सरण को टालने हेतु मैदान के रूप में काम लिया एवं दो टुकड़ों के बीच 1 मी.मी. का अंतराल रखा गया। उच्च ऊर्जा पर परिसंचारक निष्पादन परीक्षण स्ट्रीप लाइन के साथ गर्म जल प्रतिवेश डिस्क अनुनादक में प्रवाहित करने जो कि फेराइट सतह पर 80 °C तापमान वृद्धि के सदृश्य है, पूरा किया गया। 100 kW CW विद्युत प्रचालन के समतुल्य है।

परिसंचारक के कार्य निष्पादन का मापन अनुप्रयुक्त क्षेत्र के तीन प्रकार के वितरण के लिए विद्युत चुम्बक के पोल टुकड़े के आकृति आकार के घटने-बढ़ने द्वारा किया जाता है। यह प्रयोग दर्शाता है कि निवेशन क्षय एवं विलगन में सुधार आंतरिक DC चुम्बक फील्ड के लागू करने में हुआ है। गार्नेट डिस्क अनुनादक का परीक्षण VNA के उपयोग से समाक्ष (Coaxial) ज्यामिति 505.8 MHz एवं 650 MHz, 0.2 dB एवं निवेशन क्षय एवं 28 dB का विलगन को देखा गया। इण्डस-2 वलय की RF प्रणाली एवं प्रोटोन लिनेक के 650 MHz फेराइट परिसंचारक के लिए उच्च ऊर्जा CW फेराइट परिसंचारक (> 100 kW) के स्वदेशी विकास के लिए माइक्रोवेव फेराइट एवं गार्नेट की उचित आणविक इंजीनियरिंग संघटनात्मक डिज़ाइन की तदनुकूलता के लिए यह अध्ययन बहुत ही उपयोगी रहा।



चित्र. 34: प्लूरल टुकड़ों के उपयोग से I-CVG डिस्क।

चित्र. 35: चुम्बकीय अभिनति (bias) के साथ परिसंचारक की ट्यूनिंग

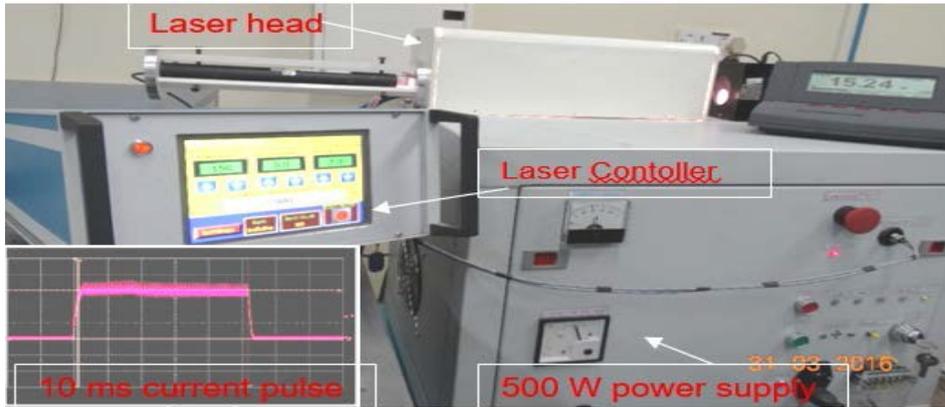
III. लेसर प्रौद्योगिकी

III.1 औद्योगिक अनुप्रयोगों हेतु लेसर विकास

नाभिकीय रिएक्टर नवीनीकरण व अनुप्रयुक्त अनुसंधान एवं विकास को शामिल करते हुए औद्योगिक अनुप्रयोगों हेतु निम्नलिखित लेसरों एवं लेसर आधारित प्रणालियों का विकास किया गया:

III.1.1. ब्रेकीथेरेपी ऐसेम्बली की लेसर वेल्डिंग हेतु एक संहत Nd:YAG लेसर प्रणाली का विकास

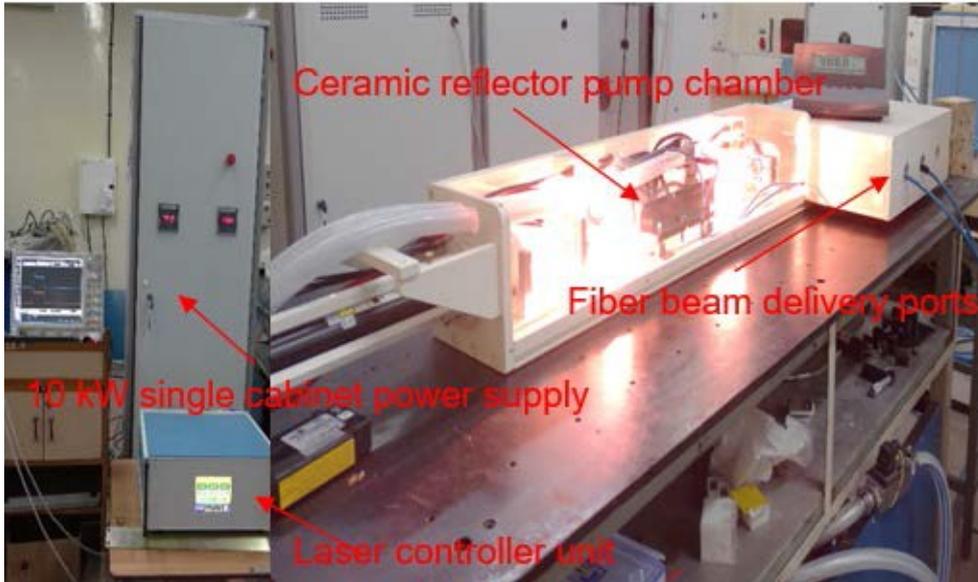
एक संहत सिरेमिक परावर्तक एवं सिंगल फ्लेश लैम्प पम्प कक्ष आधारित एक Nd:YAG लेसर को विकसित किया गया। 4 मी.मी. लेसर प्रणाली बीम व्यास के साथ यह लेसर अधिकतम स्पंद ऊर्जा के 12 J तक 10 ms स्पंद अवधि उपलब्ध कराता है। आउटपुट स्पंद ऊर्जा को 0.5 J से 12 J तक फ्लेश धारा में रूपांतरण द्वारा परिवर्तित किया जा सकता है। इसकी स्पंद अवधि एवं पुनरावृत्ति दर को क्रमशः 2 ms से 10 ms एवं 1 Hz से 4 Hz में परिवर्तित किया जा सकता है। इस प्रणाली के लिए एक संहत 500 W औसत ऊर्जा स्पंद विद्युत आपूर्ति को नियंत्रकों के साथ विकसित की गई है। विद्युत 2.5% की लेसर रूपांतरण कुशलता को 5% से बेहतर स्पंद से स्पंद स्थायित्व के साथ हासिल की गई। लेसर प्रणाली द्वि पोर्ट फायबर प्रकाशिकी बीम वितरण के साथ समय की हिस्सेदारी के आधार पर 200 μm कोर व्यास प्रकाशिक फायबर द्वारा सुसज्जित है। इस लेसर प्रणाली का उपयोग ब्रिट, मुंबई उच्च डोज दर ब्रेकीथेरेपी ऐसेम्बली के लघु आकार के लिए (80 μm दीवार मोटाई, 1 मी.मी.व्यास) रिसाव संहत वेल्डिंग के लिए किया जाएगा। इसके एक फायबर पोर्ट का उपयोग रेडियो सक्रिय प्रकोष्ठ के भीतर वेल्डिंग कार्य एवं दूसरी पोर्ट का उपयोग रेडियो सक्रिय प्रकोष्ठ के बाहर वास्तविक काल CCD कैमरे आधारित दृश्य प्रणाली का उपयोग कर वेल्डिंग कार्य हेतु किया जाएगा। जिसमें एक फायबर पोर्ट का उपयोग रेडियो सक्रिय प्रकोष्ठ के भीतर की वेल्डिंग एवं इसकी पोर्ट का उपयोग रेडियो सक्रिय प्रकोष्ठ के बाहर CCD कैमरे आधारित दृश्य प्रणाली का उपयोग कर वेल्डिंग हेतु किया जाएगा।



चित्र. 36: घरेलू संसाधनों से निर्मित 12 J स्पंद ऊर्जा की संहत Nd:YAG लेसर प्रणाली।

III.1.2 PIED, IGCAR के रेडियो सक्रिय प्रकोष्ठ में उपयोग हेतु सिरेमिक परावर्तक के साथ 630 W औसत ऊर्जा स्पंद Nd:YAG लेसर का विकास

डबल-लैम्प सिरेमिक परावर्तक आधारित पम्प कक्ष एवं Nd:YAG लेसर प्रणाली जो अधिकतम औसत ऊर्जा का उत्पादन 630 W एवं ms समयावधि में 13 kW की शीर्ष ऊर्जा उपलब्ध कराता है, का विकास IGCAR के रेडियो सक्रिय प्रकोष्ठ में किरणित FBTR घटकों की लेसर कटिंग हेतु किया गया। लेसर स्पंद अवधि 2 ms से 40 ms परास एवं स्पंद पुनरावृत्ति दर 1 Hz से 100 Hz में परिवर्तित की जा सकती है। विद्युत से 6.3% लेसर रूपांतरण कुशलता को हासिल कर लिया गया है, जो कि विश्व में अभी तक इस प्रकार की प्रणाली में सर्वाधिक है। पीले ग्लेज्ड सिरेमिक परावर्तक आधारित कक्ष की पम्प कक्ष का जीवनकाल के पहले से उपयोग किए जा रहे स्वर्ण लेपित दीर्घवृत्तीय परावर्तक आधारित कक्ष के एक वर्ष की तुलना में अनुमानित ~5 वर्ष की वृद्धि दर्ज की गई। समान आउटपुट ऊर्जा पर पूर्व अनुनादक लम्बाई 1.4 m की तुलना में इस अनुनादक लम्बाई में भी 0.71 m की कमी दर्ज की गई। लघुतम अनुनादक लम्बाई के कारण यांत्रिक स्थायित्व में सुधार पाया गया, जिसके परिणामस्वरूप पूर्व $\pm 5\%$ के मान की तुलना में $\pm 3\%$ स्पंद से स्पंद स्थायित्व प्राप्त हुआ। बीम गुणवत्ता गुणक M_2 में भी पूर्व मान ~120 की तुलना में ~83 मान का सुधार हुआ। 10 kW औसत ऊर्जा एवं लेसर नियंत्रक जो दो लैम्पों को प्रत्येक में 5 kW विद्युत इनपुट के साथ एक सिंगल इकाई विद्युत आपूर्ति का विकास किया गया। लेसर उत्पादन का वितरण 600 μm कोर व्यास के प्रकाशिक फायबर द्वारा 90% पारेषण कुशलता के साथ किया गया। इस उच्च ऊर्जा लेसर को तीन ऊर्जा/काल विभाजन पोर्ट के साथ ईंधन नलिकाओं को ईंधन एसेम्बलियों के विघटन हेतु साथ-साथ लिनियर कर प्रदान करने हेतु सुसज्जित किया गया है। IGCAR में लेसर प्रणाली को 10^6 Rad/hr विकिरण क्षेत्र में रेडियो सक्रिय प्रकोष्ठ में FBTR घटकों के लेसर कटिंग हेतु शुरू किया गया है।



चित्र. 37: घरेलू संसाधनों से निर्मित 630 W औसत ऊर्जा स्पंद Nd:YAG लेसर का दृश्य।

III.1.3. रक्षा अनुप्रयोगों हेतु लेसर विकिरक इकाई का विकास

आयातित प्रौद्योगिकी की जगह स्वदेशीकरण के हिस्से के रूप में आरआरकेट ने युद्ध टैंक से फायर की जाने वाली मिसाइल के लेसर मार्गदर्शन हेतु रक्षा अनुप्रयोगों के लिए एक प्रोटोटाइप लेसर विकिरक इकाई की डिजाइन तैयार कर निर्माण किया गया है। इस लेसर में एक ऑर्क लैम्प पम्पड सतत् तरंग (CW) Nd:YAG लेसर है जो 1064 nm तरंगदैर्घ्य के अवरक्त क्षेत्र में उत्सर्जित होता है, का समावेश है। लेसर के विद्युत एवं यांत्रिक प्राचल आयातित लेसर के समान ही है। लेसर के लिए आवश्यक उत्पादक ऊर्जा स्पंद अवधि 20 sec तक के साथ 13 W है। उच्च कुशल प्रोटोटाइप लेसर विकिरक इकाई 25 W उत्पादित ऊर्जा के साथ शीतलक के रूप में जल व 15.5 W के साथ विशेष शीतलक निम्न हिमांक बिन्दु समान स्पंद अवधि जो कि आवश्यकता से 20% अधिक थी, के साथ आरआरकेट में किया गया।

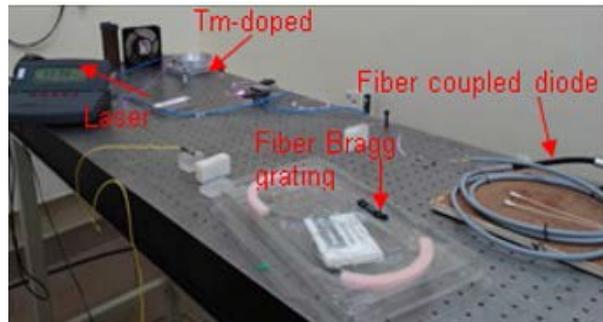
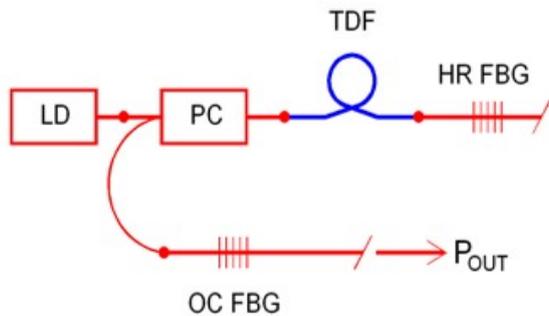


चित्र. 38 लेसर विकिरक इकाई का छायाचित्र।

III.2. विविध फायबर लेसरोँ का विकास

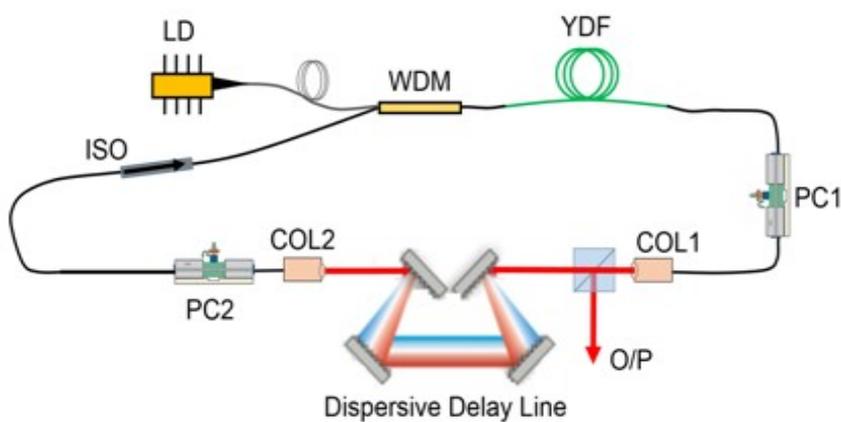
एक ऑल-फायबर थूलियम डोपड CW फायबर लेसर (TDFL) का विकास 18 W स्थिर CW उत्पादित ऊर्जा के साथ इन लाइन ब्रेग ग्रेटिंग दर्पणों के उपयोग से स्लोप कुशलता के साथ एवं 1940 nm पर केन्द्रीत सब नेनोमीटर विड्थ के साथ किया गया। इन लेसरोँ का व्यापक अनुप्रयोग धात्विक एवं अधात्विक सामग्री के संसाधन, शल्यक्रिया, रक्षा एवं अंतरिक्ष अनुप्रयोगों में होता है। लेसर का उत्पादन 140 mrad के अर्द्धकोण अपसरण के साथ थूलियम-डोपड फायबर के 12 μm क्रोड व्यास से उत्सर्जित होता है।

मोड-लॉकड इटरबियम (Yb) डोपड फायबर लेसर का विकास तनन स्पंद विन्यास के तहत परिक्षेपण नियंत्रण के लिए गुहिका के भीतर ग्रेटिंग जोड़े को क्रियान्वित करके किया गया। इस लेसर द्वारा मोड-लॉकड स्पंद की 500 fs अवधि की 45 MHz पुनरावृत्ति दर पर उच्च स्थिर ट्रेन का उत्पादन किया गया, जिसको बाह्य ग्रेटिंग संपीड़क (कम्प्रेसर) में 3 nJ ऊर्जा के साथ 50 fs अवधि से कम में संपीड़ित किया गया। टू-इन फायबर ध्रुवण नियंत्रकों (PC1 एवं PC2) को समातारित्र के पास (COL1 एवं COL2) ध्रुवण बीम विपाटक के साथ संयोजन से स्थापित किया गया। दोलित्र में मोड-लॉकिंग को ध्रुवण नियंत्रकों के बायजिंग के द्वारा देखा गया।



चित्र. 39: 18 W Tm- डोपड ऑल-फायबर CW फायबर का योजनावृत् दृश्य।

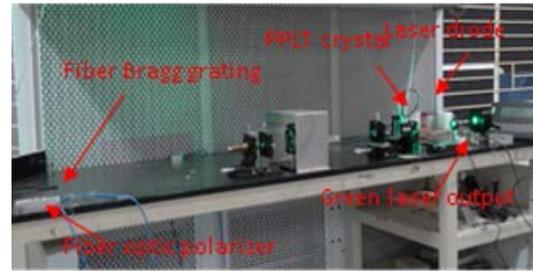
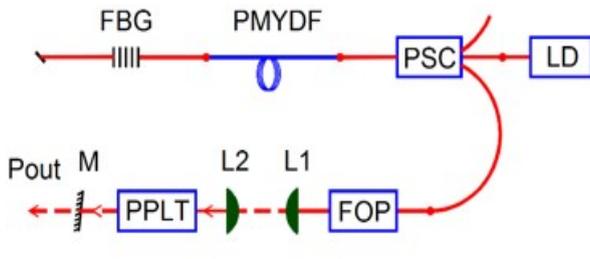
चित्र. 40 : Tm-डोपड CW फायबर लेसर का टेबल की सतह पर दृश्य।



चित्र.41: तनन स्पंद Yb-दोलित्र का योजनावत् चित्र।

III.3 515 नैनोमीटर पर ~5W ऊर्जा के साथ द्विआवृत्ति CW फायबर

~0.07 nm नेरो-लाइन-विड्थ के साथ 515 nm की ~5 W उत्सर्जन उत्पादित करने वाला एक द्वि आवृत्ति नेरो-लाइन-विड्थ CW इटरबियम डोपड फायबर लेसर के प्रयोगशाला मॉडल का विकास डाइपिंग अनुप्रयोगों हेतु किया गया है। इस लेसर को दो चरणों में बनाया गया। इस लेसर प्रणाली का प्रथम चरण YDFL उत्सर्जित 1030 nm विकिरण, जो कि संरेखण युक्त असमता के लिए ऑल-फायबर वास्तुकला पर आधारित है। यह चरण 70 μ m चौड़ाई की संकरी रेखा में 20 W का रेखीकृत:ध्रुवीय CW उत्पाद ऊर्जा प्रदान करता है, जो कि कुशल SHG के लिए अरेखिक क्रिस्टल के अर्द्ध अधिकतम (FWHM) पर स्पेक्ट्रम पूर्ण चौड़ाई के भीतर ही है। अवशोषित पम्प ऊर्जा के संदर्भ में स्लोप कुशलता 70% से भी अधिक है। 515 nm पर 5.5 W उत्पादित ऊर्जा का उत्पादन~25% SHG परिवर्तन कुशलता के साथ इस प्रणाली का उपयोग करके किया गया। इस लेसर में इस बात की संभवना है कि वह डाई लेसर पपिंग हेतु इस तरंगदैर्घ्य पर प्रचालित Ar-ion लेसर की जगह ले सकता है।

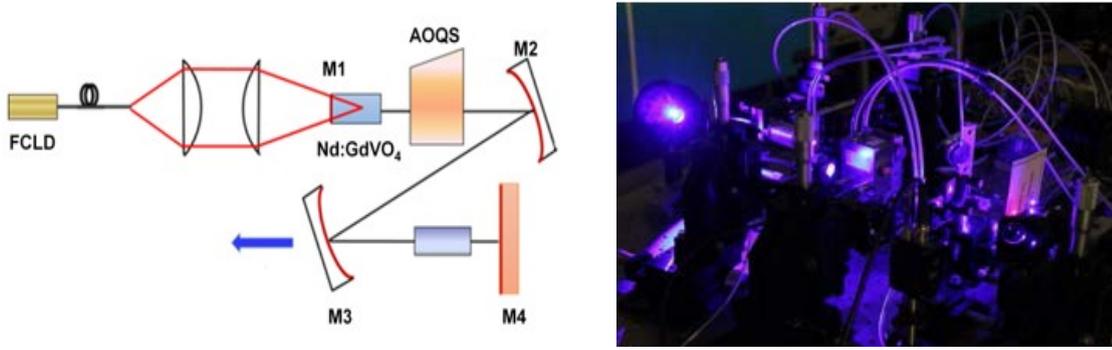


चित्र. 42(a): 515 nm पर हरित CW फायबर लेसर का योजनावत् चित्र।

चित्र.42(b): हरित फायबर लेसर का मेज पर दृश्य।

III.4. 456 nm पर स्पंदित नीले लेसर स्रोत का विकास

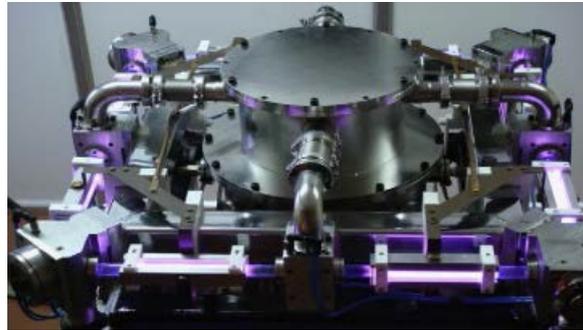
स्पंदित नीले लेसर का ~450 nm से 460nm स्पेक्ट्रम परास में प्रचालन करना विशेष अनुप्रयोगों में उनकी महत्वपूर्ण भूमिका है। जैसे वायुयान एवं पनडूबूबी के बीच संचार एवं पानी के भीतर संचार कार्यों में उच्च शक्ति नीले लेसर स्रोत के एक टेबल-टॉप मॉडल का विकास, जो कि 456 nm तरंगदैर्घ्य पर परिशुद्धता में प्रचालित होता है, किया गया है। यह लेसर 20 kHz पुनरावृत्ति दर पर 400 ns स्पंद अवधि में ~ 1.2 W की औसत उत्पादित ऊर्जा उपलब्ध कराता है। स्पंदित नीले लेसर को 456 nm की परिशुद्धता पर गहरे समुद्र के पानी के भीतर संचार अनुप्रयोगों में सक्षम पाया गया है। 28 W के अधिकतम ऊर्जा व 25 °C पर 808 nm की केन्द्रीय तरंगदैर्घ्य के साथ फाबर युग्मित डायोड लेसर का उपयोग पम्प स्रोत के रूप में किया गया। एक Z-आकृति के लेसर अनुनादक, जिसमें - कट Nd:GdVO₄ लेसर क्रिस्टल के साथ ध्वानिक प्रकाशिक क्यू-स्वीच मॉड्यूलैटर का भी समावेश है। आंतरिक गुहिका आवृत्ति दोहरीकरण (डबलिंग) हेतु LBO का उपयोग कुशल आवृत्ति परिवर्तन हेतु किया गया। उत्पादित ऊर्जा का मापन उचित फिल्टर के बाद विद्युत मीटर के उपयोग से अवशिष्ट पम्प एवं मूलभूत IR विद्युत को रोकने हेतु किया गया।



चित्र. 43. (a) प्रायोगिक प्रणाली का योजनावत् चित्र : 43 (b) प्रचालनरत नीले लेसर का छायाचित्र।

III.5. सभी ठोस अवस्था RF शक्ति 2 kW अक्षीय प्रवाह CO₂ लेसर प्रणाली का विकास

पदार्थ संसाधन अनुप्रयोगों हेतु एक 2 kW RF-उत्तेजन तीव्र अक्षीय प्रवाह (FAF) CO₂ लेसर का विकास किया गया है। इस लेसर प्रणाली की ध्यान देने योग्य विशेषताओं में इसकी सभी ठोस अवस्था मॉड्यूलर RF शक्ति (SS-RFPS) स्रोत के साथ उत्तेजन है। मॉड्यूलर RF विद्युत आपूर्तियों को 100 Hz से 30 kHz तक 1 kHz तक की निम्न आवृत्तियों पर स्पंद मोड उत्पादन प्रदान करते हुए एवं प्रचालन की उच्च आवृत्तियों पर आंशिक निरंतरता से स्पंदित किया जा सकता है। स्पंद मोड प्रचालन गतिक विद्युत नियंत्रण विकल्प लेसर पदार्थ संसाधन अनुप्रयोगों में बहुत ही महत्वपूर्ण है।

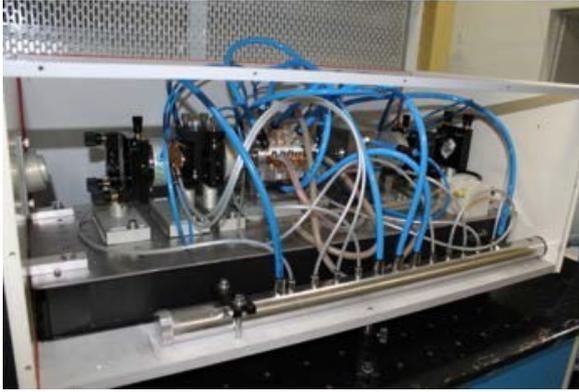


चित्र. 44: 2 kW RF-FAF CO₂ लेसर (दायें) एवं लेसर के चार अनुभागों में RF निस्सरण (बायें)।

III.6. DPSS हरित लेसरों के चार इंजीनियर्ड मॉडल का विकास

गत वर्ष डायोड-पम्पड ठोस अवस्था (DPSS) हरित लेसर प्रणाली के दो इंजीनियर्ड संस्करणों को विकसित कर उन्हें डाई लेसर प्रवर्धक श्रृंखला की पपिंग हेतु BARC के Hall-6 में स्थापित किया गया। DPSS लेसरों को अनुनाद आयनीकरण प्रयोगों हेतु अनेकों दीर्घावधि अभियानों में सफलतापूर्वक उपयोग किया गया। इस वर्ष चार और ऐसे DPSS हरित लेसरों को सुपुर्द किया गया है। DPSS हरित लेसर प्रणाली की डिज़ाइन विशेष रूप से Q-स्वीच आंतरिक-गुहिका आवृत्ति दोहरे Nd:YAG लेसर के साथ उच्च पुनरावृत्ति दर के अंतर्गत लघु स्पंद अवधि प्राप्त करने हेतु किया गया। ~400 W पम्पशक्ति पर 40 W से अधिक औसत हरित शक्ति को 6.25 kHz पुनरावृत्ति दर पर प्राप्त किया, जो पम्प से हरित परिवर्तन दक्षता ~10.5% के सदृश्य थी। अधिकतम उत्पादित शक्ति पर हरित स्पंद अवधि (FWHM) का

मापन $\sim 40\text{nsec}$ किया गया। DPSS हरित लेसर के चार ऐसे इंजीनियर्ड मॉडल BARC को सौंपे जाने हेतु तैयार हैं।



(a)



(b)

चित्र : 45: डायोड पम्प ठोस अवस्था हरित लेसर (a) DPSS हरित लेसर शीर्ष का आंतरिक चित्रण (b) फायबर युग्मन के साथ प्रचालनरत DPSS हरित लेसर.

IV. लेसर अनुप्रयोग

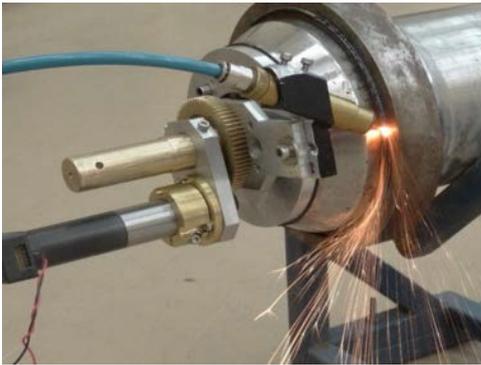
IV.1. नाभिकीय संयंत्रों के लिए कटिंग एवं वेल्डिंग प्रौद्योगिकी के विकास हेतु सहमति पत्र (MoU):

आरआरकेट एवं NPCIL के बीच सदूर प्रचालित लेसर प्रणाली एवं नाभिकीय रिएक्टरों के नवीनीकरण हेतु प्रगत लेसर कटिंग तकनीकियों के विकास एवं तैनाती हेतु एक सहमति पत्र पर हस्ताक्षर किए गए। इस सहमति पत्र में शामिल है एक 250 W Yb-डोपड CW फायबर लेसर का विकास उच्च औसत ऊर्जा Nd:YAG लेसर प्रणाली के लिए चार 5 kW औसत ऊर्जा Nd:YAG लेसर विद्युत आपूर्तियां, विभिन्न लेसर कटिंग औजारों एवं फिक्सचर का विकास एवं उनकी तैनाती, भारतीय नाभिकीय ऊर्जा संयंत्रों में उच्च रेडियो सक्रिय वातावरण में स्व-स्थान नवीकरण हेतु की गई है। सहमति पत्र क्रियान्वयन के तहत एक 250 W CW फायबर लेसर का विकास प्रगति पर है।

IV.2. KAPS-2 रिएक्टर से Q-15 एवं N-6 शीतलन चैनल का स्व-स्थान पर लेसर कटिंग कार्य

20 वर्षों के वाणिज्यिक प्रचालन के पश्चात् प्रेशर ट्यूब के घुमावदार जुड़े हिस्से में भारी पानी के रिसाव के कारण सितंबर-2015 में KAPS-2 के Q-16 कूलेंट चैनल को हटाने हेतु एक लेसर कटिंग प्रौद्योगिकी का विकास एवं उसे स्थापित किया गया। Q-16 कूलेंट चैनल प्रेशर ट्यूब एवं इसके स्टब के पश्च किरणन परीक्षण से यह पता लगा है कि वहां दरारों के साथ-साथ संक्षारण भी हुआ है। अतः परमाणु ऊर्जा नियामक परिषद् (AERB) ने कहा कि (PIE) Q-15 प्रेशर ट्यूब के आसपास किसी भी संक्षारण से जुड़े मामलों की जांच की जाए। प्रेशर ट्यूब में संक्षारण पाया गया एवं AERB ने कहा कि एक और कूलेंट चैनल N-6 को भी संक्षारित होने की पुष्टि करने हेतु हटाया जाए। घुमावदार जुड़े क्षेत्र से प्रेशर ट्यूब एवं प्रेशर

ट्यूब स्टब को हटाने हेतु दोबारा लेसर कटिंग प्रौद्योगिकी का उपयोग किया गया। क्लैट चैनल 5 फीडर पाइप से बाधित था एवं लेसर कटिंग एवं उसको केलेड्रिया से अलग करने हेतु, इसके बेलो लिप वेल्ड ज्वाइंट तक पहुंचना बहुत कठिन था। ट्यूब के भीतर से लाइनर ट्यूब (4 mm SS410) एवं एंड फिटिंग (11 mm मोटी SS410) के लिए लेसर कटिंग औज़ारों को वहां ले जाया गया एवं आऊट बोर्ड एंड फिटिंग को सफलतापूर्वक हटा दिया गया। बेलों लिप वेल्ड ज्वाइंट की लेसर कटिंग हेतु अन्य सुदूर प्रचालित लघु औज़र का दो विपरीत स्थिति-निर्धारण के साथ लेसर कटिंग नोज़ल का उपयोग करते हुए सफलतापूर्वक स्थापित किया गया एवं इन बोर्ड फिटिंग को हटा लिया गया। इन बोर्ड एंड फिटिंग को हटाने के पश्चात् पानी के अंदर गैस जेट समर्थित लेसर कटिंग तकनीक को भी सफलतापूर्वक ~ 700 Rad/घंटा विकिरण क्षेत्र से एंड फिटिंग के दोनों तरफ से 180 mm लम्बाई की PT स्टब के 5 टुकड़ों की पुर्नप्राप्ति हेतु स्थापित किया गया। इस रिएक्टर के भविष्य में प्रचालन या सामूहिक रूप से क्लैट चैनलों (EMCCR) को बदलने का निर्णय N-6 प्रेशर ट्यूब एवं इसकी स्टब के PIE डाटा के आधार पर किया जाएगा। इन लेसर कटिंग प्रचालनों में घरेलू संसाधनों से निर्मित सुदूर प्रचालित फायबर चुम्बक 250 W औसत ऊर्जा वाले Nd:YAG लेसर का उपयोग किया गया।



चित्र. 46: आऊटबोर्ड एंड-फिटिंग को हटाने के पश्चात् बेलो लिप के लेसर कटिंग का

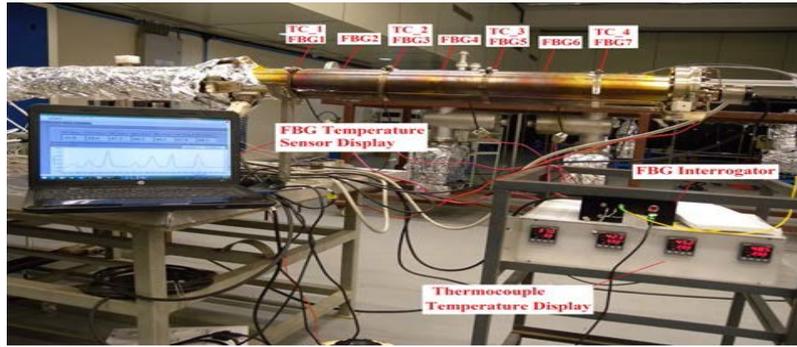


चित्र. 47: लाइनर ट्यूब एवं एंड-फिटिंग के लिए लेसर कटिंग औज़ार।

IV.3. घरेलू संसाधनों से निर्मित फायबर ब्रेग ग्रेटिंग (FBG) विपरीत संवेदकों का उपयोग करते हुए विपरीत तापमान मॉनीटरिंग प्रणाली का विकास

बहुविध स्थानों पर तापमान निगरानी हेतु वितरित फायबर ब्रेग ग्रेटिंग (FBG) संवेदकों का विकास स्थानिक विभेदन 10 cm के साथ किया गया। FBG संवेदकों को प्रकाश संवेदी प्रकाशिक फायबर पर उत्कीर्ण घरेलू संसाधनों से निर्मित FBG अंकन सुविधाओं के उपयोग से किया गया। FBG संवेदकों की संवेदनाशीलता विशेष रूप से 10 pm/°C व 1 °C ताप मापन परिशुद्धता व्यापक रूप से 500 °C तक से अधिक थी। इण्डस-2 सिंक्रोट्रॉन विकिरण स्रोत के लिए पराउच्च निर्वात कक्ष का ऑनलाइन ताप का मापन उच्च विद्युत चुम्बकीय हस्तक्षेप (EMI) की उपस्थिति के कारण एक कठिन काम था। इस अनुप्रयोग हेतु एक सात बिन्दु FBG आधारित विपरीत ताप मॉनीटरिंग प्रणाली का विकास FBG प्रश्नकर्ता के उपयोग से 1 °C विभेदन के साथ ताप मापन हेतु किया गया। FBG आधारित ताप मॉनीटरिंग प्रणाली उच्च EMI, की उपस्थिति में विश्वसनीय माप अधिक परिशुद्ध ताप मापन एवं परंपरागत प्रणाली की तुलना में तीव्र

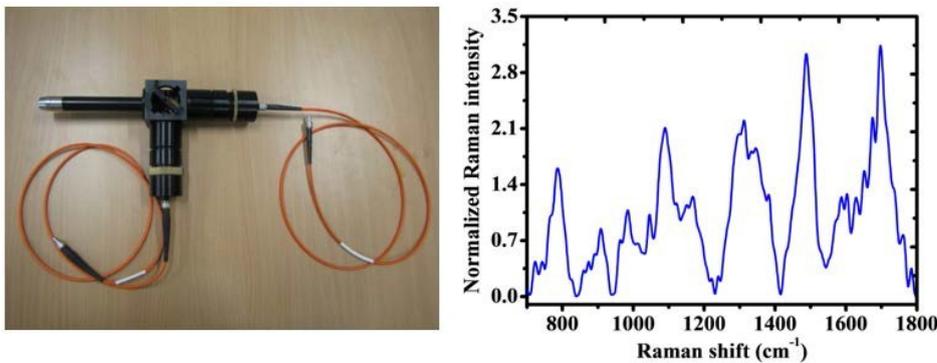
अनुक्रिया अवधि में बहुत ही सुविधाजनक है।



चित्र. 48: FBG आधारित विपरीत ताप संवेदकों के उपयोग से इण्डस-2 UHV परीक्षण प्रणाली के तापमान का मॉनीटरिंग

IV.4. उत्तकों (tissues) (*in-vivo*) से artifact-free रमन स्पेक्ट्रा के मापन हेतु रमन प्रोब रमन की डिज़ाइन तैयार कर निर्माण

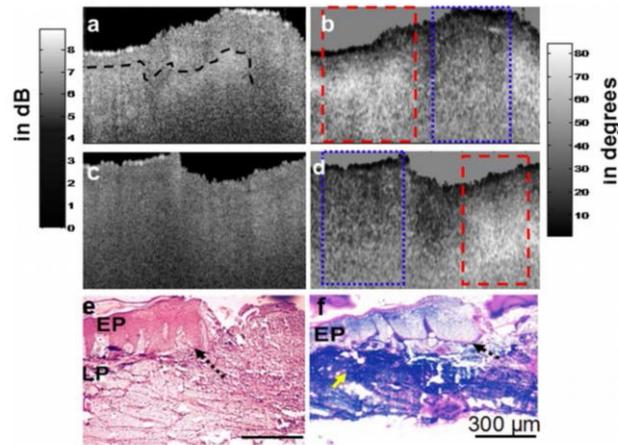
रमन प्रोब रमन प्रणाली के गैर आक्रामक उत्तक विश्लेषण के लिए भावी महत्वपूर्ण घटक है। वर्तमान में उपलब्ध वाणिज्यिक रमन प्रोब उत्तक विश्लेषण संबंधी अनुप्रयोगों के लिए उपयोगी नहीं है क्योंकि वे अनेकों आर्टिफेक्टर प्रस्तुत करते हैं, जो कि रमन संकेतों के हस्तक्षेप के साथ उत्तक रमन स्पेक्ट्रा के फिंगर प्रिंट क्षेत्र में उपस्थिति के फलस्वरूप इसकी व्याख्या करने में भ्रम पैदा करता है। आर्टिफेक्ट मुक्त उत्तक रमन स्पेक्ट्रा के मापन में सक्षम एक सुवाह्य रमन प्रोब की डिज़ाइन तैयार कर निर्माण किया गया है। इस डिज़ाइन ने फायबर एवं प्रकाशिक उत्पादित रमन आर्टिफेक्ट्स को न्यूनतम, संग्रहण कुशलता को इष्टतम एवं परिणामस्वरूप उच्च कुशल रमन प्रोब में, जो कि उच्च गुणवत्ता स्पेक्ट्रम डेटा को अधिग्रहण अवधि के कुछ ही सेकण्डों में संग्रहित करने में समर्थ है (चित्र. 49)। इस प्रोब का कार्य निष्पादन जैवकीय प्रतिदर्शों से प्राप्त आर्टिफेक्ट मुक्त रमन संकेतों के मापन में दो वाणिज्यिक रूप से उपलब्ध रमन प्रोबो (विजिनोक्स मेक एवं फोटोनिकस मेक) से बेहतर पाया गया। आर्टिफेक्ट मुक्त रमन स्पेक्ट्रम के मापन में इस प्रोब की योग्यता का प्रमाण मापित रमन संकेतों की गुणवत्ता में, जो कि बेंच टॉप रमन प्रणाली के साथ मापित खुली हवा से तुलना योग्य है।



चित्र. 49: विकसित किए गए सुवाह्य रमन प्रोब एवं इन विवो रमन स्पेक्ट्रम का मानव हथेली से प्रोब के उपयोग द्वारा मापन।

IV.5. मानव मुख श्लेष्मिका के अनुसंधान हेतु रमन स्पेक्ट्रमिकी एवं प्रकाशिक संबद्धता टोमोग्राफी

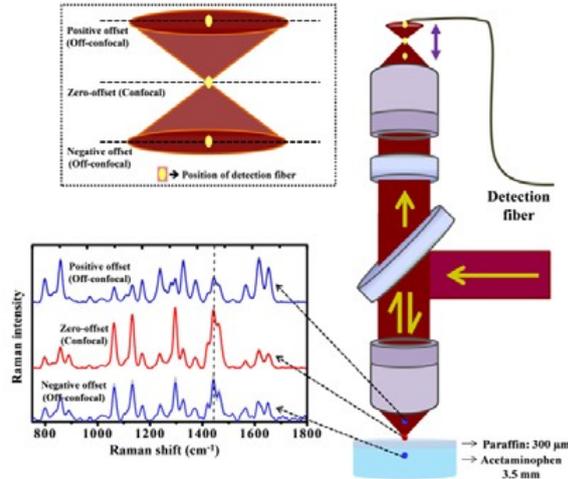
टाटा स्मारक अस्पताल, मुंबई में स्वस्थ स्वयं संवकों एवं मुख कैंसर के रोगियों पर मुख कैंसर के निदान हेतु रमन स्पेक्ट्रमिकी की प्रभाव क्षमता का मूल्यांकन करने हेतु नैदानिक अध्ययन को पूरा किया गया। यह निष्कर्ष निकाला गया कि मुख के घावों के सही वर्गीकरण के लिए सामान्य संदर्भ डेटा बेस तम्बाकू का उपयोग करने वाले स्वस्थ व्यक्तियों के स्पेक्ट्रमी डेटा से अलग होना चाहिए। मानव मुख उत्तकों के प्रतिदर्शों का स्पेक्ट्रमी क्षेत्र ध्रुवण संवेदनशील प्रकाशिक संबद्ध टोमोग्राफी (PC-OCT) के उपयोग में *एक्स विवो* प्रतिबिम्बन अध्ययन द्वारा यह पता लगा कि OCT प्रतिबिम्बन से उत्पन्न उत्तक द्विअपवर्तन मुख श्लेष्मिका के अर्बुदीय रूपांतरण का बेहतर संवेदशीलता से मॉनीटर करता है।



चित्र. 50: OCT तीव्रता (a, c) एवं विलंबन (b, d) प्रतिबिम्ब कैंसरकारक घावों की सीमारोग के साथ। सामान्य एवं कैंसरकारक क्षेत्र को क्रमशः लाल बिन्दुओं एवं नीले धब्बे आयताकारों से रेखांकित किया गया है। विलंबन प्रतिबिम्ब में HE-स्टेनड अनुभाग (e) का प्रतिनिधित्व माइक्रोग्राफ एवं सीमा क्षेत्र के लिए त्रिवर्णी स्टेण्ड अनुभाग (f) चिह्नित निशान: वह क्षेत्र जहां झिल्ली के तल में हानि हुई है। पीला निशान: कोलेजन फायबर।

IV.6. परतदार टर्बिड प्रतिदर्शों की गहराई संवेदशीलता मापन हेतु ऑफ-कॉन्फोकल रमन स्पेक्ट्रमिकी (O CRS)

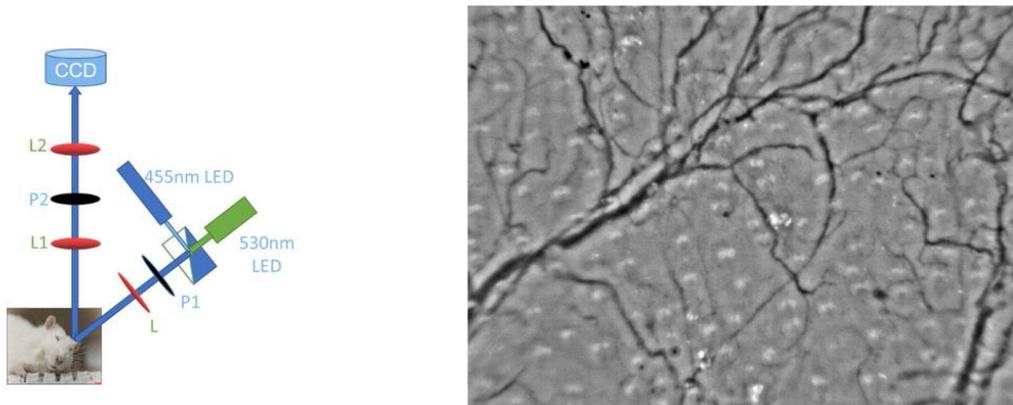
गहराई संवेदनशीलता रमन स्पेक्ट्रमिकी की एक अभिनव तकनीक का विकास परतदार टर्बिड सेम्पलों की गैर विध्वंसकारी उपसतह की जानकारी हेतु परिवर्तित रमन संग्रहण क्षेत्रों की संकल्पना के उपयोग द्वारा लक्ष्य सैम्पलों की सतह पर दीप्ति के बिन्दु को निर्धारित करने के दौरान किया गया। इस प्रणाली ने कॉन्फोकल रमन के प्रायोगिक विन्यास को स्वीकार किया, लेकिन ऑफ-कॉन्फोकल रमन संसूचन को परंपरागत कॉन्फोकल की पहुंच से परे गहराई परीक्षण के लिए नियोजित किया गया। यह रमन संचयन लक्ष्य के फोकस से या तो लक्ष्य से संसूचन बिन्दु को दूर करते हुए (सकारात्मक कॉन्फोकल ऑफसेट) या उसे लक्ष्य के पास में लाकर रमन संसूचन फायबर टिप (यह पिन हॉल द्वारक की तरह कार्य करता है), को (नकारात्मक कॉन्फोकल ऑफसेट) गतिमान करके उपसतह की जानकारी प्राप्त करने में मदद करता है। उपसतह परतों की रमन स्पेक्ट्रम पुर्नप्राप्ति हेतु इस प्रणाली की योग्यता परतदार अजैवकीय फैंटम एवं जैवकीय उत्तक प्रतिदर्शों के उपयोग से प्रदर्शित की गई।



चित्र. 51: ऑफ - कॉन्फोकल रमन स्पेक्ट्रमिती के लिए प्रायोगिक प्रणाली: कॉन्फोकल एवं ऑफ-कॉन्फोकल अवस्था पर अजैविक फैंटम से मापित रमन स्पेक्ट्रम।

IV.7. लंब कोणीय ध्रुवण स्पेक्ट्रमी प्रतिबिम्ब प्रणाली का विकास

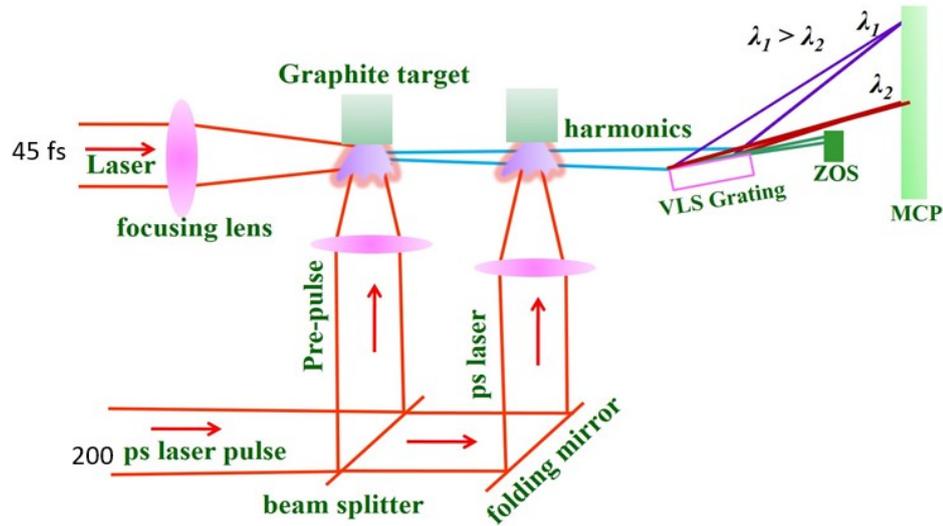
एक लम्ब कोणीय ध्रुवण स्पेक्ट्रमी प्रतिबिम्ब प्रणाली का विकास कर उसकी प्रभावी क्षमता का प्रदर्शन संवहन तंत्र की इन विवो प्रतिबिम्बन एवं पशु मॉडल में सूक्ष्म कोशिकाओं द्वारा रक्त प्रवाह में उच्च विषमता प्रदान करने हेतु किया गया। इस प्रणाली में एक नीले (450 nm) एवं हरे (530 nm) LED उत्तेजन स्रोत का समावेश है। रेखीय ध्रुवण के उपयोग से समांतरित उत्तेजन प्रकाश की ध्रुवण क्षैतिज रूप से L लेंस के माध्यम से गुज़रने से पूर्व वह सैम्पल पर केन्द्रीत करता है। विश्लेषक के माध्यम से प्रकाश गुज़रने पर CMOS कैमरे पर लेंस L1 एवं L2 के संयोजन से प्रतिबिम्बन होता है। लम्बकोणीय ध्रुवण चैनल में विश्लेषण को रखने में सतही परतों से चमकीले परावर्तक एवं ध्रुवण अनुरक्षण घटकों को विलोपन में मदद मिलती है। पशु मॉडलों पर इस प्रणाली के मान्यकरण एवं इष्टतमीकरण हेतु कार्य प्रगति पर है।



चित्र. 52: पशु मॉडल में सूक्ष्म संवहनी के इन विवो प्रतिबिम्बन के लिए लम्बकोणीय ध्रुवण स्पेक्ट्रमी प्रतिबिम्बन प्रणाली का योजनावत् चित्र (बांये)। एवं चूहे के कान का संवहन तंत्र (दांये)। प्रतिबिम्ब क्षेत्र 2mm x 2.5 mm.)

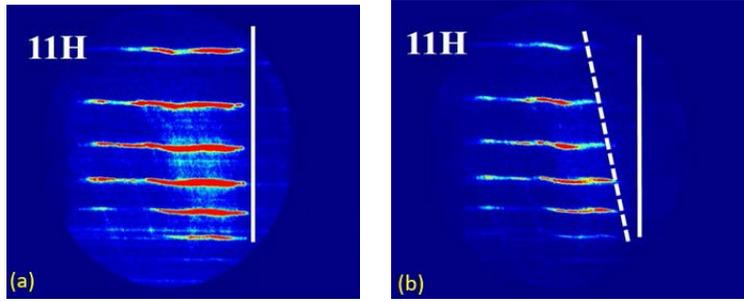
IV.8. उच्च हारमोनिक जेनरेशन (HHG) स्रोत का उपयोग करते हुए परातीव्र शैडोग्राफी:

चरम पराबैंगनी (XUV) स्रोत उच्चक्रम हारमोनिक परालघु Ti:सेफायर लेसर स्पंद (स्पंद अवधि ~45 fs) के विशिष्ट अभिलक्षणन होते हैं। अर्थात् 34fs समय संरचना एवं XUV से अल्पवेधी एक्स-रे प्रणाली में एक साथ बहुविध प्रथक आवृत्तियों का होना जिनका उपयोग बहुविध तरंगदैर्घ्य पर प्लाज्मा प्लूम में परमाणु/आयनी घनत्व के अनुमान हेतु किया जा सकता है। परिणामस्वरूप सिंगल शॉट प्लाज्मा घनत्व के और बेहतर अनुमान प्राप्त होते हैं। कार्बन प्लाज्मा प्लूम की परातीव्र शैडोग्राफी पर एक प्रायोगिक अध्ययन उच्च हारमोनिक स्रोत (sub-fs) के उपयोग से परमाणु/आयन घनत्व की मेपिंग हेतु किया गया। उच्च क्रम वाले हारमोनिक का उत्पादन प्लाज्मा प्लूम में समान लेसर स्पंद से व्युत्पन्न कार्बन लक्ष्य पर असंपीडित 200 ps लेसर स्पंद के फोकसिंग द्वारा निर्मित 45 fs लेसर स्पंद के फोकसिंग द्वारा किया गया। परीक्षण किए जाने वाले कार्बन प्लाज्मा प्लूम का निर्माण भी असंपीडित 200 ps लेसर बीम का एक भाग था, जिसके कारण प्रथम प्लूम में उत्पादित हारमोनिक बीम सीधे ही द्वितीय प्लूम से गुजर सकें।



चित्र. 53: प्रायोगिक प्रणाली का योजनावत् चित्र /

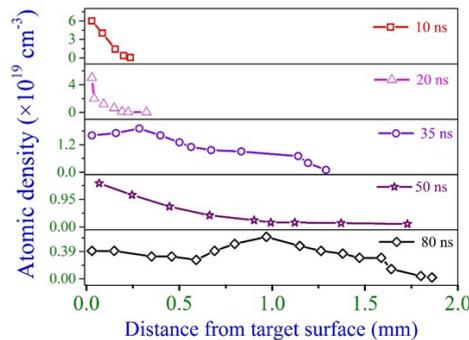
प्लाज्मा घनत्व मेपिंग को एक साथ बहुविध तरंगदैर्घ्य 11th से 21st क्रम में (तरंगदैर्घ्य परास 72.7 nm से 38 nm) के उपयोग से पूरा किया गया। बहुविध तरंगदैर्घ्य के उपयोग से प्लाज्मा प्लूम के परीक्षण ने दोनों उच्च एवं निम्न घनत्व क्षेत्र में एक साथ परिशुद्ध घनत्व मापन प्रदान किया। प्लाज्मा उत्पत्ति के ~10 ns से ~80 ns से विभिन्न समय विलंब पर घनत्व का मापन किया गया। परालघु स्पंद के पश्च तीव्र विस्तारित प्लूम की शैडोग्राफी का परिणाम निम्न द्रव गतिक धुंधलापन एवं स्पष्ट शैडोग्राम के रूप में प्राप्त होते हैं। विभिन्न हारमोनिक क्रम (11th से 21st हारमोनिक क्रम) के लिए HHG स्पेक्ट्रम के स्थानीक प्रोफाइल के आरपार विशिष्ट तीव्रता परिवर्तनों को देखा गया।



चित्र. 54: हारमोनिक स्पेक्ट्रा का पारेषण *a)* बगैर प्लाज्मा प्लूम के , *b)* प्लाज्मा प्लूम के साथ।

हारमोनिक की विभिन्न तरंगदैर्घ्य की वेधन गहराई से एवं इसके प्लाज्मा द्वारा पारेषण प्लाज्मा प्लूम का परमाणु घनत्व निर्धारित किया गया। इस सुस्पष्ट अवलोकन को रिकॉर्ड HHG स्रोत एवं प्लाज्मा प्लूम के मध्य विभिन्न विलंबों के लिए समय के साथ प्लाज्मा घनत्व उत्पत्ति के प्रेक्षण किया गया जैसा कि चित्र 55 में दर्शाया गया है।

कार्बन प्लाज्मा प्लूम में आयन विस्तार गति $\sim 10^4$ m/s मापी गई। प्लाज्मा प्लूम की अवस्थिति पर हारमोनिक बीम का आकार ~ 2 mm तक मापा गया। यह भी देखा गया कि लघु विलंबन पर (~ 10 ns) घनत्व प्रवणता बहुत ही स्पष्ट रूप से देखी गई। कार्बन आयन घनत्व $\sim 6 \times 10^{19}$ cm $^{-3}$ से लक्ष्य सतह के पास $\sim 3 \times 10^{17}$ cm $^{-3}$ तक सतह से ~ 300 μ m की दूरी पर परिवर्तित होता रहता है, क्योंकि विलंब में वृद्धि से घनत्व प्रवणता में उथलापन आ जाता है। लम्बे विलंब (~ 80 ns) ~ 300 mm की दूरी पर कार्बन आयन घनत्व का मापन $\sim 4 \times 10^{18}$ cm $^{-3}$ किया गया, जिसकी सतह से ~ 2 mm की दूरी पर $\sim 2 \times 10^{17}$ cm $^{-3}$ तक की कमी की गई।

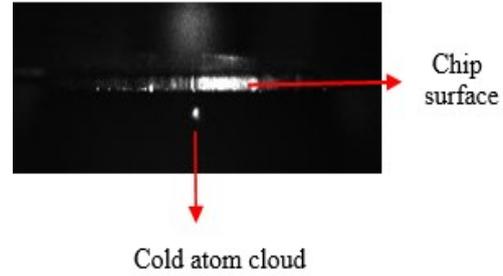
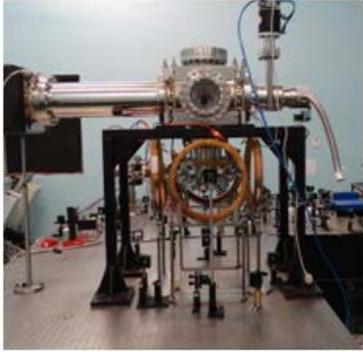


चित्र. 55: प्लाज्मा प्लूम द्वारा पारेषित HHG स्पेक्ट्रम से व्युत्पन्न प्लाज्मा घनत्व के कालिक एवं स्थानिक विविधता।

IV.9. परमाणु चिप पर Rb परमाणु के लिए चुम्बक-प्रकाशीय सपांश

परमाणु चिप पर क्षार ^{85}Rb परमाणु के लिए चुम्बक-प्रकाशीय सपांश का निर्माण एवं उसे प्रचालन योग्य बनाया गया है। परमाणु चिप स्वर्ण लेपित (~ 200 nm मोटाई) Si-पदार्थ (28 mm x 24 mm x 0.5mm) की महीन तार संरचना उत्कीर्णन के साथ इन तारों में धारा प्रवाहित करने के पश्चात् चुम्बकीय सपांश निर्माण हेतु एक समतल परावर्तक सतह है। घरेलू संसाधनों से निर्मित परमाणु चिप प्रणाली का छायाचित्र चित्र 56(a) में दर्शाया गया है। इस परमाणु चिप को चिप माउंट ऐसेम्बली (लम्बाई ~ 472 mm) [चित्र 56(b)] के साथ संलग्न किया गया है एवं पृष्ठभूमि में Rb-वाष्प के साथ $\sim 1 \times 10^{-8}$ torr पर अष्टफल MOT कक्ष में रखा गया है। चिप माउंट ऐसेम्बली परमाणु चिप

को संभाल के रखती है एवं साथ ही ताम्रपट्टी को MOT के लिए आवश्यक चुम्बकीय क्षेत्र निर्माण हेतु विद्युत कनेक्शन भी उपलब्ध कराती है। परमाणु चिप सतह पर परावर्तक ज्यामिति में तीन लेसर बीम उपयुक्त dc चुम्बकीय क्षेत्र के साथ चिप सतह के पास परमाणु शीतलन एवं प्रग्रहण के लिए MOT का निर्माण करते हैं। इस MOT में ^{85}Rb परमाणु के शीत बादल को परमाणु-चिप सतह के नीचे उर्ध्वाधर $\sim 3\text{ mm}$ की दूरी से देखा गया। परमाणु-चिप MOT में प्रग्रहित शीतल परमाणु बादल की CCD कैमेरा प्रतिबिम्बन को चित्र 56(c) में दर्शाया गया है। MOT परमाणु बादल में शीत परमाणुओं की संख्या अनुमानित तापमान $\sim 350\ \mu\text{K}$ पर $\sim 2 \times 10^5$ थी।

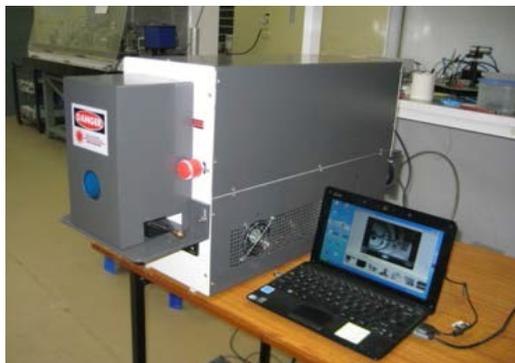


चित्र.56(a): Rb परमाणु-चिप MOT के लिए प्रायोगिक प्रणाली।
चित्र 56(b): चिप माउंट एसेम्बली

चित्र 56(c): चिप सतह के पास शीत परमाणु बादल की CCD कैमेरा प्रतिबिम्ब।

IV.10. उच्च औसत ऊर्जा लेसर मार्कर का विकास

उच्च औसत ऊर्जा 18 W के साथ डायोड एंड पम्प Nd:YVO₄ गेन मध्यम का उपयोग करते हुए एक संहत लेसर मार्कर प्रणाली की डिज़ाइन एवं विकास किया गया। इस पूरी प्रणाली का परीक्षण निरंतर अनेकों घंटों तक परिवेशी तापमान 25 °C एवं 31 °C के बीच उत्पादित ऊर्जा के स्थायित्व को सुनिश्चित करने हेतु सफलतापूर्वक किया गया। इस लेसर को नाभिकीय ईंधन सम्मिश्र, हैदराबाद में ईंधन बंडल की एंड प्लेट पर क्रम संख्या को अंकित करने हेतु किया गया। NPCIL मानकों को पूरा करते हुए जिरकॉलॉय में ~ 25 माइक्रॉन की अंकन गहराई को प्राप्त किया गया।

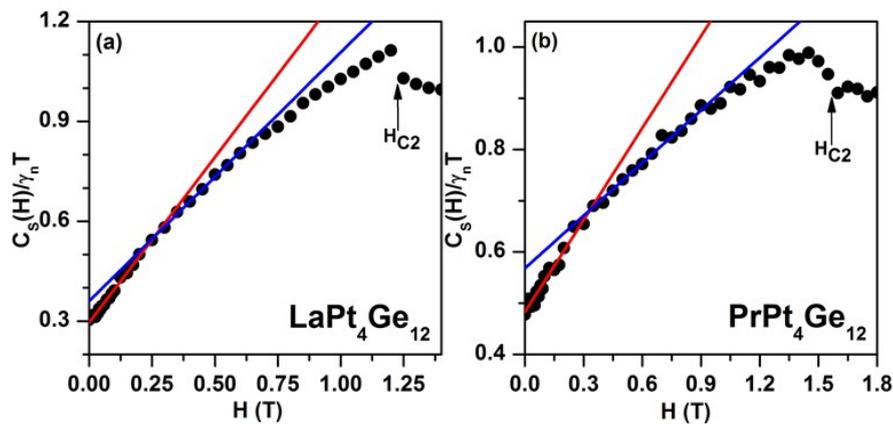


चित्र 57: लेसर अंकन प्रणाली का छायाचित्र।

V. पदार्थ विज्ञान

V.1. स्कटरडाइट क्रिस्टल संरचना के साथ अतिचालकों में दो अतिचालक ऊर्जा अंतराल की अनुवंशिक विशेषताएं

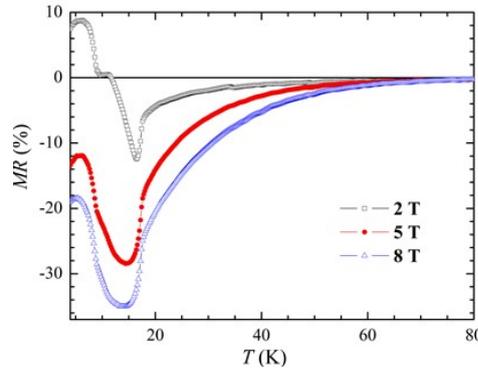
फील्ड स्कटरडाइट संरचना के साथ यौगिकों द्वारा विभिन्न रोचक गुणधर्मों को प्रदर्शित किया जाता है। जिसमें ऊर्जा के उत्पादन एवं उसके कुशल उपयोग हेतु विभिन्न प्रकार के चुम्बकीय क्रम, अतिचालकता एवं तापीय गुणधर्मों से संबंधित वैकल्पिक प्रौद्योगिकी शामिल है। दो ऐसे अतिचालक स्कटरडाइट यौगिकों $\text{LaPt}_4\text{Ge}_{12}$ एवं $\text{PrPt}_4\text{Ge}_{12}$ का उष्मा क्षमता के ताप एवं चुम्बकीय फील्ड निर्भरता का अध्ययन उनके इलेक्ट्रॉनिक बैंड संरचना के साथ किया गया। इस अध्ययन द्वारा यह पता लगाने में मार्गदर्शन मिला कि फर्मी सतह पर सिंगल ऊर्जा अंतराल वाले परंपरागत अतिचालकों के विपरीत अतिचालक स्कटरडाइट में फर्मी सतह पर दो अतिचालक ऊर्जा अंतरालों का समावेश होता है।



चित्र. 58: स्कटरडाइट यौगिकों में दो अंतराल अतिचालकता को इंगित करती हुई उष्मीय क्षमता का चुम्बकीय क्षेत्र निर्भरता के साथ (सामान्य) ढाल में परिवर्तन।

V.2. $\text{TbFe}_2\text{Al}_{10}$ में वृहत चुम्बकीय प्रतिरोध एवं चुम्बकीय कैलोरीक प्रभाव

टर्नरी चुम्बक यौगिक $\text{TbFe}_2\text{Al}_{10}$ 18 K से नीचे अनुचुम्बकीय से लघु लोह चुम्बकत्व एवं लघु लोह चुम्बकत्व से प्रतिलोह चुम्बकत्व अवस्था परिवर्तन प्रदर्शित करती है। $\text{TbFe}_2\text{Al}_{10}$ के तापीय विद्युत एवं चुम्बकीय गुणधर्मों का अध्ययन पूरक चुम्बकन मापन के साथ किया गया। इस अध्ययन से यह उद्घाटित हुआ कि अनुचुम्बकीय से लघु लोह चुम्बकत्व (ferrimagnetic) अवस्था परिवर्तन के आरपार विद्युत प्रतिरोधकता में तीव्र वृद्धि हुई है जो कि फर्मी सतह पर सुपरज़ोन सीमाओं के घटित होने से संबंधित है। $\text{TbFe}_2\text{Al}_{10}$ महत्वपूर्ण कार्यात्मक गुणधर्मों जैसे वृहत चुम्बकीय प्रतिरोध एवं चुम्बकीय अवस्था परिवर्तन में चुम्बकीय कैलोरीक प्रभाव को भी प्रदर्शित करती है, जो कि अनुचुम्बकीय अवस्था के अंदर ताप विस्तार गहनता के व्यापक परास में बना रहता है।



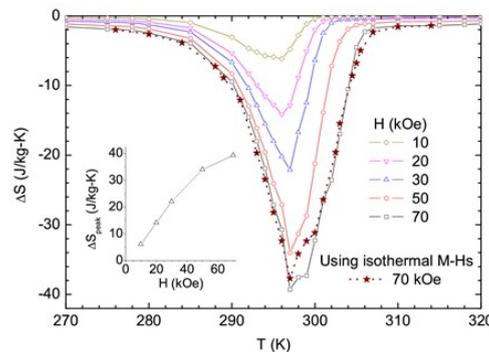
चित्र. 59. विभिन्न चुम्बकीय क्षेत्रों में $TbFe_2Al_{10}$ के चुम्बकीय प्रतिरोध ताप निर्भरता।

V3. पृष्ठीय ऑक्साइड एवं उनके अतिचालक रेडियो आवृत्ति गुहिकाओं में प्रयुक्त उच्च परिशुद्धता नायोबियम की प्रकाशिक अनुक्रिया में भूमिका

फूरिये रूपांतरण अवरक्त एवं रमन स्पेक्ट्रमिकी मापन का निष्पादन उच्च-शुद्धता तकनीकी नायोबियम पर अतिचालक रेडियो आवृत्ति (SCRf) गुहिकाओं के संविरचन में उपयोग हेतु किया गया। यह भी देखा गया है कि नायोबियम ऑक्साइड मिश्रण की उपस्थिति एवं अन्य पृष्ठीय अशुद्धियां सामग्री के चालक गुणधर्मों पर पर्याप्त मात्रा में प्रभाव डालती हैं। जिसके कारण यह विशिष्ट धात्विक अभिलक्षणों से विचलित हो जाती है। यह अध्ययन हमें SCRf गुहिकाओं के वास्तविक अनुप्रयोग के दौरान इसके निष्पादन के निम्नन के उद्भव को समझने की दिशा में जानकारी प्रदान करता है।

V4. Mn-Co-Ge मिश्रधातु में कक्ष तापमान के नज़दीक विशाल चुम्बक-उष्मीय प्रभाव

कक्ष तापमान के पास एक विशाल चुम्बक-उष्मीय प्रभाव को ऑफस्टीओकिओमेट्रिक Mn-Co-Ge मिश्रधातु के आरपार प्रथम क्रम संरचना प्रावस्था परिवर्तन देखा गया। समतापीय एन्ट्रॉपी का मूल परिवर्तन तुलनात्मक रूप से या उनसे बेहतर था, जो अधिक महंगी विरल मृदा आधारित अंतरधातुक में पायी गयी थी। एक प्रायोगिक प्रोटोकॉल भी एन्ट्रॉपी परिवर्तन को तीव्र प्रथम क्रम अवस्था परिवर्तन के आरपार पुर्नउत्पादित अनुभागों को प्राप्त करने हेतु किया गया। ये परिणाम हमें चुम्बकीय प्रशीतन के लिए एक पर्यावरण हितैषी प्रौद्योगिकी स्थापित करने हेतु जानकारी प्रदान कर सकते हैं।



चित्र. 60: ऑफस्टीओकिओमेट्रिक Mn-Co-Ge मिश्रधातु में प्रथम क्रम चुम्बकीय संरचना परिवर्तन के आरपार विविध क्षेत्र भ्रमण के लिए चुम्बकीय एंट्रॉपी का परिवर्तन होकर ताप के रूप में कार्य करना।

V5. विरल मृदा अंतरधातुक फेरोमैग्नेटिक $NdRu_2$ में रोचक चुम्बकीय गुणधर्मों का अवलोकन

भौतिक गुणधर्मों जैसे dc चुम्बकन, चुम्बकीय परिवहन, C15 लेव्स अवस्था 4f फेरोमैग्नेटिक यौगिक $NdRu_2$ का अन्वेषण तापमान एवं अनुप्रयुक्त चुम्बकीय क्षेत्र के रूप में एवं विश्लेषण

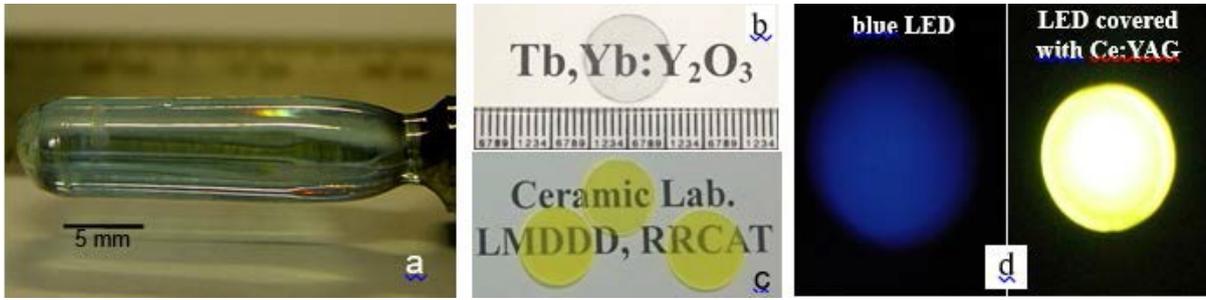
स्वसंगत ढंग से किया गया। आशा के विपरीत यह पाया गया कि इस यौगिक के चुम्बकीय गुणधर्मों की व्याख्या स्थानीय चुम्बकीय गति आधारित सरल मॉडल के भीतर नहीं की जा सकती। यहां तक की Nd आधारित यौगिकों एवं मिश्रधातुओं को अक्सर स्थानीय चुम्बकीय गति प्रणाली की तरह माना जाएगा। NdRu₂ में इन प्रायोगिक परिणामों का संबंध संयोजकता इलेक्ट्रॉन के साथ 4f स्तर के संकरण (हाइब्रिडाइजेशन) के साथ हो सकता है। यह प्रभाव पड़ा है कि इस कार्य से प्रयोगों से उद्दीपित करने के साथ-साथ सैद्धांतिक गणनाओं को भी निष्पादित करता है, जो कि विरल मृदा आधारित अंतरधातुक यौगिकों के बारे में और अधिक जानकारी प्रदान कर सकता है।

V.6. अव्यवस्थित ठोस पदार्थों के श्यान प्रवाह के साथ-साथ type-II अतिचालक में प्रतिरोधी संक्रमण के बीच साम्यता स्थापित करना

वोर्टेक्स पदार्थ के प्रतिरोधी संक्रमण का अत्यंत Nb₇₅Zr₂₅ अतिचालक मिश्रधातु का अध्ययन किया गया। इसमें दर्शाया गया कि अव्यवस्थित ठोस पदार्थों के श्यान प्रवाह मॉडल को वास्तव में वोर्टेक्स पदार्थों में उपयोग किया जा सकता है। यह दलील पूर्ण रूप से प्रत्यास्थ ऊर्जा विचार पर आधारित है, न कि इस पूर्वानुमान पर की कोई भी विशेष मॉडल type-II अतिचालक के संयुक्त स्तर में अभिवाह रेखा लैटिस प्रवाह पर लागू होगा। परिणाम दर्शाते हैं कि अव्यवस्थित ठोस पदार्थों का श्यान प्रवाह एवं ठोस प्रकार के अतिचालकों में अभिवाह विसर्पण परिदृश्य उसी रेखांकित भौतिक सिद्धांतों की प्रकटीकरण हो सकते हैं। ये परिणाम वांछित क्रांतिक धारा घनत्व को प्राप्त करने हेतु शमन विकृति के स्वरूप की ट्यूनिंग के लिए प्रौद्योगिकीय महत्व के हो सकते हैं एवं साथ ही यह प्रत्यास्थ प्रणाली के मूल स्वरूप को समझने में भी मार्गदर्शन करता है, जो कि विकृति से प्रभावित एवं बाह्य शक्तियों से चालित होते हैं।

V.7. लेसर हॉस्ट एवं अन्य अनुप्रयोगों हेतु एकल क्रिस्टल एवं पारदर्शी सिरेमिक्स

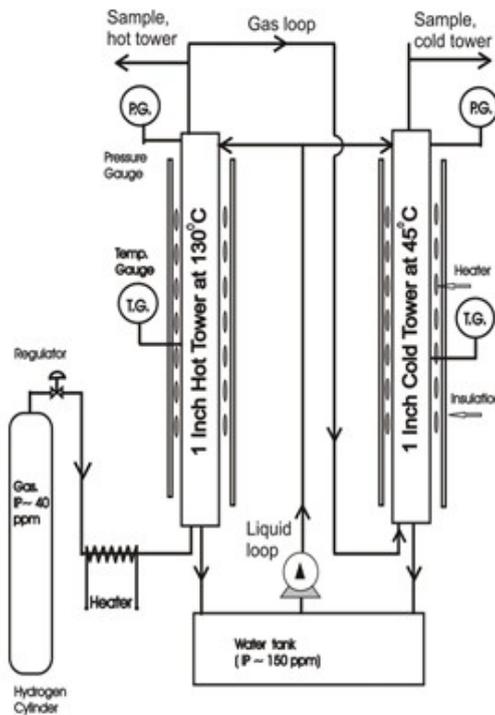
अनेकों उच्च विभिन्न तकनीकियों द्वारा विविध अनुप्रयोगों हेतु गुणवत्ता एकल क्रिस्टलों को विकसित किया गया। इनमें शामिल हैं- लेसर हॉस्ट अनुप्रयोगों हेतु Nd डोपड GdVO₄ के एकल क्रिस्टल एवं उष्मा संदीप्ति डोसीमेट्री (TL) के लिए Ce डोपड लिथियम टेट्रा-बोरेट (LTB)। लेसर हॉस्ट एवं प्रस्फुरण अनुप्रयोगों हेतु आवश्यक बड़ी संख्या में विरल मृदा डोपड पारदर्शी सिरेमिक्स का संविरचन नैनो-पाउडर तकनीक एवं परवर्ती निर्वात सिंटरण द्वारा किया गया। ~76 % की पारदर्शिता (बिना परिवर्तन क्षय संशोधन) के 1 μm तरंगदैर्घ्य पर Nd डोपड YAG/Y₂O₃ एवं Yb, Tb co-doped Y₂O₃ के लिए प्राप्त की गई। 543 nm (हरा) पर उच्च तीव्रता संदीप्ति शीर्ष Yb, Tb को-डोपड Y₂O₃ सिरेमिक्स के लिए 976 एवं 929 nm के अंदर उत्तेजन का अवलोकन Yb -Tb ऊर्जा स्थानांतर अपवर्जन के कारण देखा गया। Ce डोपड YAG पारदर्शी सिरेमिक का भी संविरचन एवं श्वेत प्रकाश के उत्पादन का भी प्रदर्शन नीली-LED कवर्ड के उपयोग में इस सिरेमिक के साथ किया गया। इस श्वेत प्रकाश ने (0.24, 0.40, 0.36) के त्रिउद्दीपक वैल्यू को दर्शाया है। नीले-श्वेत से हरे-पीले प्रकाश के विनिमय को सिरेमिक परत की मोटाई को 0.5 to 1.5 mm के साथ बढ़ते हुए देखा गया।



चित्र. 61: (a) $Nd:GdVO_4$ का एकल क्रिस्टल (b) $Tb-Yb$ को-डोपड Y_2O_3 पारदर्शी सिरेमिक
(c) $Ce:YAG$ पारदर्शी सिरेमिक (d) $Ce:YAG$ के उपयोग से श्वेत प्रकाश का उत्पादन

V& द्वि-तापीय दर्शाओं के तहत D/H आइसोटोप विनिमय के लिए Pt-CA उत्प्रेरक का परीक्षण

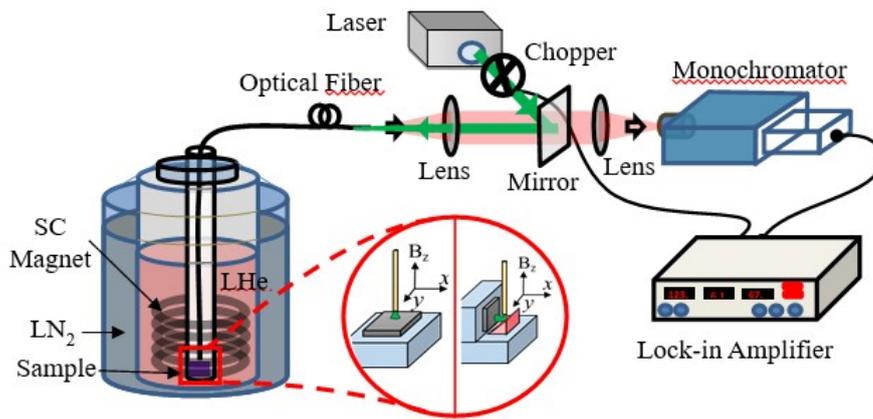
प्लेटीनम डोपड कार्बन एरोजल (Pt-CA) के साथ डिक्सन वलय उत्प्रेरक का विकास आरआरकेट एवं भारी पानी बोर्ड के बीच एक MoU के तहत हाइड्रोजन आइसोटोप विनिमय के लिए किया गया एवं इसका परीक्षण घरेलू संसाधनों से निर्मित परीक्षण प्रणाली द्वारा द्वि-तापीय प्रचालन के लिए किया गया। यह भारी पानी उत्पादन हेतु प्रयुक्त द्वि-तापीय हाइड्रोजन जल प्रक्रिया को आगे बढ़ाने हेतु एक महत्वपूर्ण कदम है। इस परीक्षण प्रणाली में उत्प्रेरक से भरे 1 मीटर लम्बे एवं 1" व्यास के गर्म एवं ठंडे कॉलम हैं, जो कमशः 15 bar दाब एवं 130 °C एवं 45 °C ताप को बनाए रखते हैं। जल से हाइड्रोजन धारा में ड्यूटीरियम के कुल निष्कर्षण, जो कि पुर्नप्राप्ति है, का आकलन गैस प्रवाह में 1.0 lpm पर ~ 26% किया गया। सल्फाइड संयंत्रों के साथ इसकी तुलनात्मक वैल्यू ~20% पुर्नप्राप्ति के साथ दर्ज की गई।



चित्र 62 : द्वि-तापीय परीक्षण रेखाचित्र।

V.9. चुम्बकीय-प्रकाश संदीप्ति : क्वांटम संरचनाओं के अन्वेषण हेतु एक औज़ार

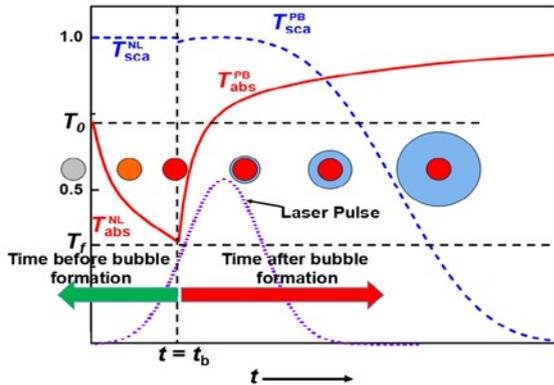
उच्च चुम्बकीय क्षेत्र में अर्धचालक नैनो संरचनाओं पर प्रकाश-संदीप्ति मापन का निष्पादन एकसाइडन गुणधर्मों को निर्धारित करने हेतु सम्पर्क विहिन पद्धति उपलब्ध कराता है जैसे प्रभावी द्रव्यमान, बंधन ऊर्जा एवं बोर (Bohr) त्रिज्या। AlGaAs/GaAs, InGaAs/GaAs क्वांटम वेल्स (QW) InAsP/InP एवं Type-II InP/GaAs पर चुम्बकीय प्रकाश संदीप्ति (PL) प्रयोगों को उच्च चुम्बक क्षेत्र (8 T) का 4.2 K पर प्रयोग करते हुए पूरा किया गया। एकसाइडन के प्रभावी द्रव्यमान एवं परानिम्न अवस्था के अनुमान पर वाहक परिरोध का प्रभाव अंतरापृष्ठीय इन प्लेन अव्यवस्था दोनों का $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ मल्टीक्वांटम वेल्स के लिए अनुमान मेग्नेटो पीएल डेटा की लाइन विड्थ का विश्लेषण द्वारा किया गया। विषम-संधि (junctions) पर अंतरापृष्ठीय खुरदरेपन अनुमानित $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ मल्टी QWs के लिए 0.2-1.2 मोनोलेयर होगा। परानिम्न अवस्था एवं प्रभावी द्रव्यमान के अनुमान हेतु यह अविध्वंसकारी तकनीक का विशेष महत्व है चूंकि परंपरागत परिवहन मापन तकनीकियों द्वारा अनडोपड मल्टी QW प्रतिदर्शों का मापन हेतु ऐसे पैरामीटर्स द्वारा संभव नहीं है।



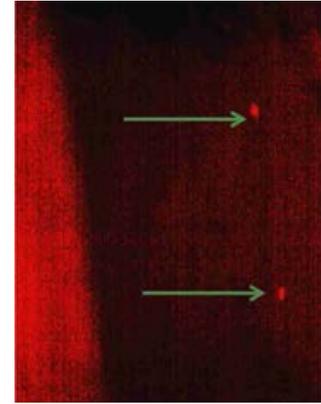
चित्र. 63: निम्न तापमान पर चुम्बक-पीएल प्रणाली का व्यवस्थित चित्र।

V.10. नैनो पैमाने पर अदृश्यता : प्रकाशिक सीमा पर प्रभाव

निकल/टॉलुईन नैनो कोलॉइड की प्रकाशिक सीमा कुशलता को कम करने में प्रकाशिक अदृश्यता की भूमिका का प्रायोगिक प्रदर्शन नैनो सेकंड लेसर स्पंदन पर किया जा चुका है। एक निश्चित प्रभाव सीमा से ऊपर नैनो कणों का तापमान इसके आसपास के विलायकों को वाष्पित करने एवं बुलबुले पैद करने हेतु पर्याप्त था। सही दशाओं के अंतर्गत यह बुलबुला आने वाली लेसर स्पंद से नैनोकणों की स्क्रीन कर सकता है। अंततः एक सरल प्राकृतिक वास्तविक "बुलबुले में कण" मॉडल का विकास किया गया है। जो कि रेखिक एवं अरेखिक अवशोषण परिमाण के साथ-साथ प्रतिदर्श में प्रकीर्णित भी की जा सकती है। ऐसी अदृश्यता, अदृश्य प्रकाश संसूचकों गहन रूप से पैक किए गए उपकरणों, निम्न प्रकीर्णन नीयर फील्ड प्रकाशिक सूक्ष्मदर्शी इत्यादि के विकास में एक अग्रणी मार्गदर्शन प्राप्त हो सकता है।



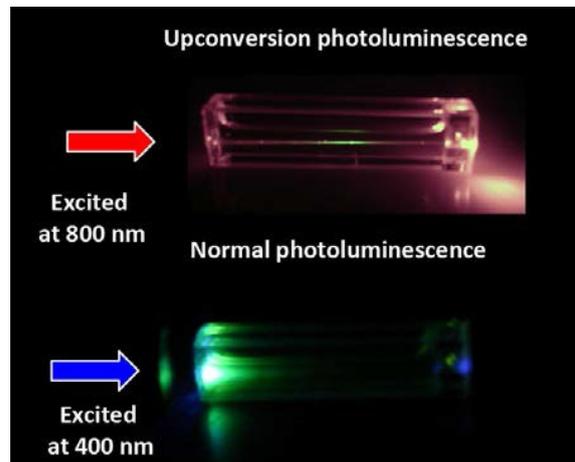
चित्र. 64 : “बुलबुले में कण” को दर्शाता मॉडल का चित्र। लेसर-उष्मित नैनो कणों को दर्शाता लालवृत्त एवं आसपास नैनो कणों के चारों ओर बनते बुलबुले को दर्शाता नीला गोला।



चित्र. 65 : प्रतिदर्श सेल के प्रतिबिम्ब का पार्श्वदृश्य दो लेसर बुलबुलों को दर्शाता तीर का निशान।

V.11. क्वाण्टम डॉट प्रकाश संदीप्ति पर प्लाज्मॉन अनुनाद की भूमिका

विवर्तन सीमा से पार सूक्ष्मदर्शिकी विभेदन प्राप्त करने हेतु क्वाण्टम डॉट्स से उपरूपांतरण प्रकाश संदीप्ति भी एक मार्ग है। यह प्रायोगिक रूप से भी प्रदर्शित किया गया कि उपरूपांतरण प्रकाश संदीप्ति परिशुद्ध CdTe क्वाण्टम डॉट कोलाइड की तुलना में CdTe क्वाण्टम डॉट नैनो-सिल्वर, नैनोस्फियर मिक्स्ड नैनोकोलाइड में पूरी शक्ति से बुझ जाती है। उसी मिश्रण से विषमता में साधारण प्रकाश संदीप्ति में वृद्धि हो जाती है। यह नैनोकोलाइड प्रतिदर्शी में तनुकरण के उच्च मात्रा के बावजूद है। यह व्यवहार सिल्वर नैनो क्षेत्र के प्लाज्मॉन अनुनाद प्रेरित प्रकाशिक क्षेत्र के संशोधन हेतु उत्तरदायी हो सकता है।



चित्र. 66: उपरूपांतरण (ऊपर) एवं सामान्य (नीचे) CdTe नैनोकोलाइड से प्रकाश संदीप्ति के छायाचित्र।

V.12 सिद्धांत एवं कंप्यूटर गतिविधियां

संभावित प्रौद्योगिकीय महत्व के पदार्थों की प्रारंभिक गणनाओं का निष्पादन इलेक्ट्रॉनिक, यांत्रिक चुम्बकीय एवं उनके रसायनिक गुणधर्मों के आकलन हेतु किया गया। पर्यावरणीय रूप से विषैली CO गैस के ऑक्सीकरण हेतु सब नैनो आकार द्विधातु Au₁₉Pt क्लस्टर की उत्प्रेरण गतिविधियों का प्रथम सैद्धांतिक विश्लेषण से यह पता लगा कि CO

एवं O₂ दोनों अणुओं का इस क्लस्टर पर पूरी शक्ति से अवशोषण सक्रिय होता है एवं बेयर गोल्ड क्लस्टर की तुलना में O₂ सार्थक रूप से सक्रिय हो जाती है। CO एवं O₂ अवशोषित ऊर्जा की कुशल उत्प्रेरण इष्टतम वैल्यू की आवश्यकता होती है।

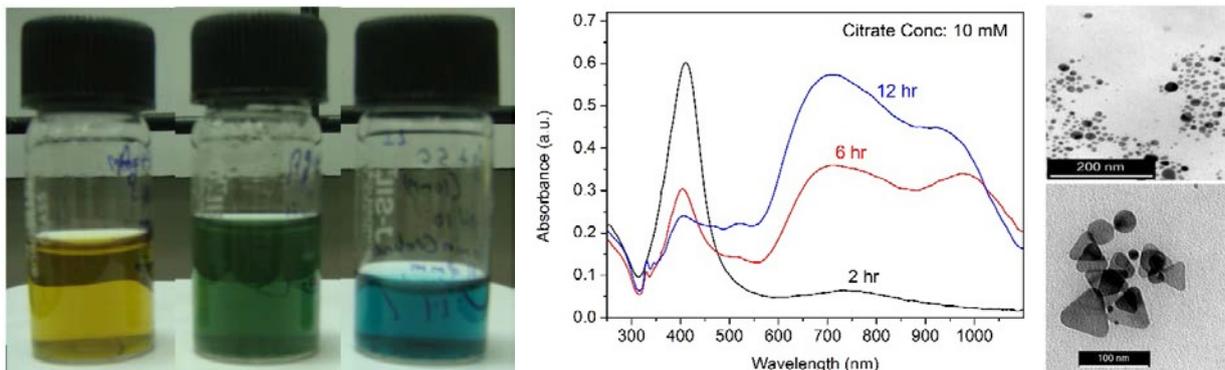
यह वैल्यू भी अनुमानित होती है। इलेक्ट्रॉनिक बैंड संरचना विश्लेषण SiO एवं CSe बैंड के साथ सीधे बैंड अर्धचालक हैं जो कि अनुमानतः सिलिकॉन के समान हो सकते हैं। एल्यूमीनियम निर्मित प्लानर हनीकुंभ मोनोलेयर ग्राफीन के रूप में स्थिर दर्शायी गयी है। यह भी दर्शाया गया है कि यह डोपड ग्राफीन के समान व्यवहार करती है।

Fe-एवं Cu-डोपड ZnO में इलेक्ट्रॉन-इलेक्ट्रॉन सह-संबंध के सुस्पष्ट प्रभाव के साथ-साथ FeGa₃ को भी संयुक्त सैद्धांतिक एवं इण्डस आधारित प्रायोगिक विश्लेषण द्वारा स्थापित किया गया। एक अभिनव ह्यूसेलर मिश्रधातु जिसका नाम Co₂PtGa एवं Co₂MoGa है वह मॉर्टेनज़ाइट परिवर्तन के साथ-साथ फर्मी स्तर पर उच्च स्पिन ध्रुवण को भी प्रदर्शित करती, का पहली बार उसके स्थिर होने के बारे में भविष्यवाणी की गई।

उत्पादन वातावरण की भूमिका, अशुद्धियों/भोज्य पदार्थों, विलायकों एवं क्रिस्टलीकरण प्रक्रिया हेतु उनके सांद्रण को समझने हेतु एक कंप्यूटरीकृत मॉडल का विकास किया गया। यह प्रक्रिया दर्शाती है कि या तो बाइयूरेट या बाइयूरिया, यूरिया क्रिस्टल आकार की वृद्धि में सशक्त रूप से परिवर्तन कर सकती है। इसके अतिरिक्त तीव्र लेसर क्षेत्र में युग्म सृजन का भी अध्ययन किया गया।

V.13. ट्यूनेबल प्लाज्मॉनिक अनुक्रिया के साथ चांदी के नैनोकणों का प्रकाश-प्रेरित संश्लेषण

वाइडबैंड प्लाज्मॉनिक अनुक्रिया के साथ गोलाकार एवं त्रिकोणीय चांदी के नैनोकणों का संश्लेषण एक प्रक्रिया द्वारा किया गया, जिसमें जलीय सोडियम साइट्रेट विलायक में सिल्वर टारगेट के द्रवित अवस्था स्पंद लेसर अपक्षरण (LPPLA) एवं उसके उपरांत प्रकाश किरणन शामिल है। परिणामी त्रिकोणीय नैनोकण किसी भी अन्य बाह्य रसायनिक प्रजाति से मुक्त होते हैं एवं लगभग 550-1050 nm की व्यापक तरंगदैर्घ्य बैंड में उच्च अवशोषणांक को प्रदर्शित करते हैं। पृष्ठीय वृद्धि रमन प्रकीर्णन प्रकाशवोल्टीय एवं प्लाज्मॉन समर्थ प्रकाश उत्प्रेरण अध्ययन के उपयोग से ट्रेस विश्लेषण के लिए अत्यंत उपयोगी है।



चित्र. 67: 2, 6 एवं 12 घंटों के पश्चात् सिल्वर नैनोकण विलयन प्रकाश किरणित सिल्वर नैनोकण का प्रकाशिक अवशोषण स्पेक्ट्रा मध्य प्रकाश किरणन से पूर्व (top right) एवं बाद में TEM प्रतिबिम्बन LPPLA-वृद्धि सिल्वर नैनोकण (bottom right)।

V.14 बहुलक आधारित प्रकाश वोल्टीय सेलों का संविरचन

अभी हाल ही में खरीदे गए ग्लोव बॉक्स प्रणाली के उपयोग से बहुलक आधारित प्रकाश वोल्टीय सेलों का संविरचन एवं अभिलक्षणों को निष्पादित किया गया। पॉली-3-हेक्सीलथियोफिन (P3HT) एवं फिनाइल-C61-ब्यूटीरिक अम्ल मिथाइल ईस्टर (PCBM) की संयुक्त महीन फिल्म का उपयोग प्रकाशसक्रिय पदार्थ के रूप में किया गया। डिवाइस की कार्यक्षमता पर तापीय तापानुशीतन के प्रभाव को स्थापित किया गया। तापानुशीतन एवं अतापानुशीतन दोनों डिवाइस के ओपन सर्किट वोल्टेज (V_{oc}) लगभग एक समान ही थे, लेकिन लघुधारा (I_{sc}) फिल फैक्टर एवं η तापानुशीतन के ऊपर एक विलक्षण परिवर्तन को देखा गया। तापानुशीतन प्रभाव के ऊपर देखा गया रूपांतरण प्रकाशसक्रिय परत फिल्म आकृति में परिवर्तन के कारण था।



Device Parameters	Un-annealed	Thermally annealed (at 120 C)
V_{oc} (V)	0.63	0.62
I_{sc} (μ A)	194	288
Fill factor	0.18	0.24
Efficiency, η (%)	0.53	0.98

Effect of annealing on device performance

Fig. 68: प्रकाश वोल्टीय डिवाइस संविरचन के लिए उपयोग की जाने वाली अक्रिय वायुमण्डलीय ग्लोव बक्स प्रणाली हाउसिंग स्पिन कोटर एवं तापीय वाष्पक। इनसेट में डिवाइस संरचना को दर्शाया गया है।

V.15 GaP/Si में एन्टीफेज डोमेन्स (APD) के प्रभाव की व्याख्या: रमन एवं AFM सूक्ष्मदर्शिकी विश्लेषण

विभिन्न अवस्तरों GaP/Si पर GaP फिल्म में विकृति की उत्पत्ति में एन्टीफेज डोमेन्स की भूमिका की जांच एवं GaAs विषम संरचना का अध्ययन रमन स्पेक्ट्रमिकी के उपयोग से परमाणु बल सूक्ष्मदर्शिकी के साथ किया गया। यह निष्कर्ष निकाला गया कि GaP/Si में पृष्ठीय आकृति के घाटी क्षेत्र में APD का प्रभुत्व होता है, जो कि घाटी क्षेत्र पर निम्न वृद्धि दर का एक प्रमुख कारण है। आकाशीय विभेदन रमन स्पेक्ट्रमिकी के उपयोग से प्राप्त की गई सूचना Si/Ge पर उत्पादित III-V अर्धचालक परतों में उच्च घनत्व APD क्षेत्र की पहचान हेतु बहुत ही उपयोग है।

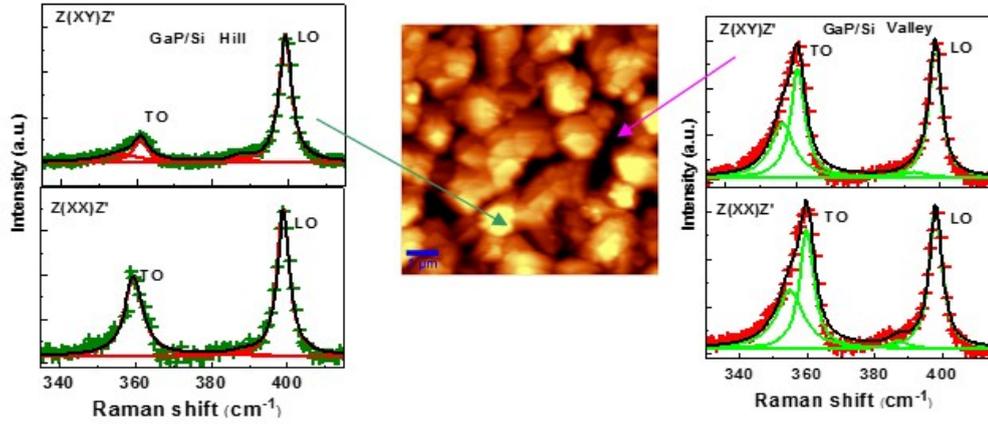


Fig. 69: निम्नलिखित के द्वीप क्षेत्र में रमन चयन नियमों एवं घाटी क्षेत्र में रमन चयन नियमों से विचलन को दर्शाता GaP/Si प्रतिदर्शों का रमन स्पेक्ट्रा एवं AFM प्रतिबिम्ब। आकस्मिक प्रकाश ध्रुवण के साथ X में चयन किए गए पूर्व प्रकीर्णन विन्यास में रमन डेटा का प्रतिनिधित्व करता Z(XX,XY)Z' एवं क्रमशः X एवं 'Y' दिशा में चयन किए गए प्रकीर्णित प्रकाश ध्रुवण।

VI. अंतर्राष्ट्रीय सहयोग

VI.1. अंतर्राष्ट्रीय सहयोग में योगदान

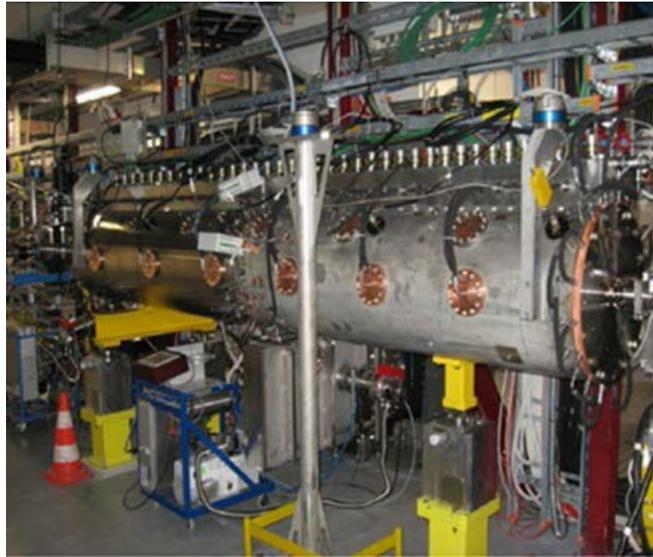
एन्टीप्रोटोन एवं आयन अनुसंधान (FAIR) सुविधा, Darmstadt (डर्मस्टड), जर्मनी को विद्युत चुम्बकों के लिए 500 से अधिक विद्युत परिवर्तकों की डिज़ाइन, निर्माण एवं आपूर्ति की गई। इस श्रृंखला के प्रथम परिवर्तक दो-चतुर्थांश परिवर्तक (300 A / ±142 V) की आरआरकेट द्वारा उपलब्ध कराई गयी। डिज़ाइन एवं प्राटोटाइप के आधार पर उसे ECIL, हैदराबाद में विकसित किया गया। इस परिवर्तक ने औद्योगिक स्वीकार्यता परीक्षण की अर्हता प्राप्त कर ली है एवं इसे स्थलीय स्वीकार्यता परीक्षण हेतु FAIR को प्रदान कर दिया गया। परिणामस्वरूप ऐसे 50 विद्युत परिवर्तकों का निर्माण ECIL में प्रारंभ कर दिया गया है। चित्र 70 में विद्युत परिवर्तक को दर्शाया गया है।



चित्र. 70: FAIR के विकसित विद्युत चुम्बक हेतु विद्युत परावर्तक का छायाचित्र।

VI.2. DAE-CERN सहयोग के तहत विद्युत युग्मकों का विकास

CERN की लिनेक-4 परियोजना हेतु आरआरकेट द्वारा सफलतापूर्वक दो उच्च शक्ति WR 2300 ताम्र लेपित जंगरोधी इस्पात के विद्युत युग्मकों का निर्माण, परीक्षण एवं आपूर्ति की गई। आरआरकेट के वैज्ञानिकों ने लिनेक-4 के लिए त्वरण संरचना एवं बीम नैदानिक के कमीशन हेतु भी भागीदारी की है। लिनेक-4 का कमीशनन एवं H-आयन का त्वरण नियत 160 MeV ऊर्जा में किया गया।



चित्र 71. CERN की लिनेक-4 टनल में CCDTL त्वरित संरचना के साथ स्थापित एक WR 2300 ताम्र लेपित जंगरोधी इस्पात विद्युत युग्मक।

VI. आधारभूत सुविधाएं

VII.1. कंप्यूटरीकृत आधारभूत सुविधाएं

आरआरकेट में ई-गवर्नेंस को क्रियान्वित करने की दिशा में विविध सॉफ्टवेयर अनुप्रयोगों का विकास कर स्थापित किया गया है, जिसमें डिजीटल हस्ताक्षर आधारित अस्थायी प्रवेशपत्र, सामग्री गेट पास प्रबंधन इत्यादि शामिल हैं। आरआरकेट की वेबसाइट को नवीनतम स्तर पर अपग्रेड किया गया। CHSS लाभार्थियों, आपूर्तिकर्ताओं एवं पेंशनरों के लिए भी वेबपेजों को जोड़ा गया। UHF आधारित वाहनों के आवागमन संबंधी मॉनीटरिंग प्रणाली को गार्ड हाउस सुरक्षा भवन में स्थापित किया गया है। उच्च कार्य निष्पादन कंप्यूटिंग क्लस्टर क्षितिज-4 को केन्द्रीकृत संसाधनों के साथ एकीकृत किया गया एवं इसे उपयोगकर्ताओं के नियमित उपयोग हेतु जारी कर दिया गया।

VII.2. सिविल आधारभूत सुविधाएं

त्वरक घटक डिज़ाइन एवं संविरचन प्रयोगशाला भवन की डिज़ाइन एवं निर्माण कार्य (ACDFS), क्रायो-मॉड्यूल विकास प्रयोगशाला, 132 kVA उपकेन्द्र हेतु प्री-इंजीनियर्ड भवन, आरआरकेट अतिथिगृह हेतु लिफ्ट ब्लॉक, सीआईएसएफ कि लिए बेरेक एवं शस्त्रागार, झीलतट स्थित सामुदायिक भवन, आरआरकेट चिकित्सा केन्द्र में फिजियोथेरेपी केन्द्र का विस्तार कार्य को भी पूरा कर लिया गया है।



Fig. 72: ACDFS के लिए प्री-इंजीनियर्ड भवन।



Fig. 73: झीलतट स्थित सामुदायिक केन्द्र।



Fig. 74: CISF बरेक।



Fig. 75: CISF शस्त्रागार।

VIII. मानव संसाधन विकास

VIII.1. मानव संसाधन विकास आधारित गतिविधियां

आरआरकेट में मानव संसाधन विकास गतिविधियां निरंतर जारी है एवं भौतिकी, विद्युत एवं इलेक्ट्रॉनिक विधा में प्रशिक्षु वैज्ञानिक अधिकारियों (TSOs) को प्रशिक्षित कर उच्च गुणवत्ता वाले मानव बल के विकास हेतु सार्थक योगदान दिया है। HBNI, मुंबई की पी.एच.डी. डिग्री को सफलतापूर्वक पूरा करने हेतु एक वर्षीय पी.एच.डी. पूर्व पाठ्यक्रम की सुविधा उपलब्ध कराई जाती है। इसके अलावा आरआरकेट द्वारा एम.टेक/एम.एस.सी. विद्यार्थियों को उनकी डिग्री को पूरा करने हेतु एक वर्ष/छ:माह का परियोजना कार्य को पूरा करने का अवसर प्रदान किया जाता है। 16 वें बैच में 5 TSOs ने त्वरकों एवं लेसरों के क्षेत्र में एक वर्ष का अभिमुखीकरण पाठ्यक्रम को पूरा किया एवं उन्हें DAE की विभिन्न इकाइयों में नियुक्त किया गया। वर्तमान में जारी 17 वें बैच में 5 TSOs प्रशिक्षण ले रहे हैं। विविध BARC प्रशिक्षण विद्यालयों से उत्तीर्ण 5 TSOs ने आरआरकेट में SO/C के पद पर कार्यभार ग्रहण किया एवं उन्हें एम.टेक. की डिग्री प्रदान की गई है। बड़ी संख्या में पी.एच.डी. अध्येताओं ने अपना एक वर्षीय प्री-डॉक्टरल पाठ्यक्रम पूरा किया है उनकी संख्या 9 है एवं वर्तमान में 7 पी.एच.डी. अध्येता इस पाठ्यक्रम को पूरा कर रहे हैं। वर्ष 2015-16 के दौरान 8 अध्येताओं को HBNI द्वारा डिग्री प्रदान की गई। विविध विश्वविद्यालयों/संस्थानों के कुल 110 विद्यार्थियों ने आरआरकेट में उनके एम.टेक. की परियोजनाओं को पूरा किया है।

IX. आउटरीच गतिविधियां

IX.1. त्वरकों, लेसरों एवं संबद्ध विज्ञान एवं प्रौद्योगिकियों पर एक छः सप्ताह का अभिमुखीकरण पाठ्यक्रम (OCAL-2016) का आयोजन सफलतापूर्वक 23 May - 15 July, 2016 के दौरान किया गया। सभी विधाओं में 16 राज्यों से 39 स्नातकोत्तर विद्यार्थी (एसएससी/एम.टेक./एम.ई) ने सफलतापूर्वक यह पाठ्यक्रम पूरा किया। पाठ्यक्रम में व्याख्यान, आमंत्रित वार्ताएं, स्वयं द्वारा किए गए प्रयोगों, आरआरकेट प्रयोगशालाओं का भ्रमण, संगोष्ठियां एवं औद्योगिक भ्रमण को भी शामिल किया गया था एवं प्रतिभागियों को श्री के.एन. व्यास, निदेशक, BARC एवं सदस्य AEC द्वारा प्रमाणपत्रों का वितरण किया गया। आरआरकेट ने तीन राष्ट्रीय समारोहों में प्रदर्शनी लगाकर अपनी उपस्थिति दर्ज की जिसमें मैसूर में आयोजित भारतीय विज्ञान कॉंग्रेस समारोह 3-7 जनवरी 2016, भारतीय अन्तर्राष्ट्रीय विज्ञान समारोह (IISF)-2016 जो कि CSIR-NPL, नई दिल्ली में दिनांक 7-11 दिसम्बर 2016 में आयोजित किया गया था एवं भोपाल में 1-2 अक्टूबर 2016 को MSME सम्मेलन में आयोजित राष्ट्रीय वेंडर विकास कार्यक्रम शामिल है।

IX.2. फरवरी 27, 2016 के दौरान राष्ट्रीय विज्ञान दिवस पर एक खुला सत्र आयोजित किया गया, जिसमें इन्दौर एवं आसपास के विद्यालयों के 1500 से अधिक विद्यार्थी एवं 110 शिक्षक एवं 2000 आम लोगों ने आरआरकेट की प्रमुख प्रयोगशालाओं का भ्रमण किया। 'इस वर्ष' 'मेक इन इण्डिया' दीर्घा में विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी के तहत DAE एवं RRCAT की स्वदेशी वैज्ञानिक एवं प्रौद्योगिकीय उपलब्धियों को दर्शाया गया था। इसे सभी दर्शकों द्वारा सराहा गया था।

वर्ष 2016 के दौरान अनेकों विद्यालयों, महाविद्यालयों के विद्यार्थियों, शिक्षकों एवं अन्य संगठनों के विशेषज्ञों को आरआरकेट की प्रयोगशालाओं का अवलोकन कराया गया। इन कार्यक्रमों में मध्यप्रदेश विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी परिषद् द्वारा चयन किए गए 125 विद्यार्थियों को विज्ञान मंथन यात्रा के तहत भ्रमण कराया गया।



Fig. 76: OCAL 2016 के उद्घाटन के दौरान व्याख्यान देते हुए डॉ. डी.के.श्रीवास्तव, निदेशक, VECC।



Fig. 77: गणमान्यों एवं पब्लिक आउटरीच समिति के सदस्यों के साथ OCAL 2016 के प्रतिभागी विद्यार्थी।

X. RTI विवरण

प्राप्त RTI आवेदन पत्रों की संख्या एवं जनवरी से दिसम्बर 2016 के दौरान निस्तारित किए आवेदन पत्र इस प्रकार हैं:

माह	प्राप्त RTI आवेदन पत्रों की संख्या	निपटान किए गए आवेदन पत्रों की संख्या
जनवरी	15	13
फरवरी	15	15
मार्च	12	09
अप्रैल	06	06
मई	06	06
जून	05	02
जुलाई	09	09
अगस्त	10	06
सितम्बर	07	08
अक्टूबर	10	07
नवम्बर	05	09
दिसम्बर	07	06
कुल	107	97