राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केन्द्र, इन्दौर

वार्षिक प्रगति रिपोर्ट वर्ष : 2015-16

राजा रामन्ना प्रगत प्रौद्योगिकी केन्द्र

वार्षिक प्रगति रिपोर्ट वर्ष : 2015-16

	विषय सूची	पेज
I.	इण्डस सिंक्रोट्रोन	2
II.	त्वरक प्रौद्योगिकी	9
III.	लेसर प्रौद्योगिकी	17
IV.	लेसर अनुप्रयोग	22
V.	पदार्थ विज्ञान	32
VI.	अन्तर्राष्ट्रीय सहयोग	34
VII.	आधारभूत सुविधाएं	35
VIII.	मानव संसाधन विकास	37
IX.	आऊटरीच गतिविधियां	37

I. इण्डस सिंक्रोट्रोन्स

A. इण्डस त्वरक - प्रचालन -

इण्डस-1 एवं इण्डस-2 दोनों सिंक्रोट्रोन विकिरण स्त्रोत का प्रचालन दिन-रात किया गया है। इण्डस-2 का प्रचालन 200 mA धारा व 2.5 GeV ऊर्जा पर जबकि इण्डस-1 का प्रचान 100 mA धारा व 450 MeV ऊर्जा पर किया गया है। इण्डस-2 भंडारण वलय का प्रचालन उच्च स्थिरता बीम के साथ किया जा रहा है। उदाहरण के लिए उच्च आवृत्ति क्षोभ (Perturbation) को क्षैतिज तल पर 3 माइक्रोन (rms) एवं उर्ध्वाधर तल पर 2 माइक्रोन तक नीचे लाया जा चुका है। उपयोगकर्ता कक्षा को न्यूनतम संवृत कक्षा विरूपण के साथ नयी कक्षा को इष्टतम किया है जो व्यक्तिगत बीमलाइन के लिए कक्ष बम्प के प्रयोग की आवश्यकता का विलोपन व 2.5 GeV 100 mA पर बीम जीवन काल में 15 से बढ़कर 18 घंटे तक का सुधार हुआ है। मशीन ऑपरेशन के दौरान डाईपोल चेम्बर का तापमान सुरक्षित सीमा में आ गया है। इस प्रकार अधिक भंडार की गई बीम धाराओं पर उपयोगकर्ता के लिए इण्डस प्रचालन को सुगम बनाया गया है। इण्डस सिंक्रोट्रोन विकिरण स्त्रोत में बेहतर कार्य निष्पादन का प्रभाव उपयोगकर्ताओं की बढ़ती हुई संख्या में प्रतिबिम्बित हो रहा है। उपयोगकर्ताओं के लिए उपलब्ध प्रयोगों की संख्या 2013 में 190 से बढ़कर 2015 में 390 हो गई। वर्ष 2015 में इण्डस-2 में उपयोगकर्ताओं के प्रयोग हेतु 13 बीमलाइनों की उपलब्धता ~ 4370 घंटे थी।

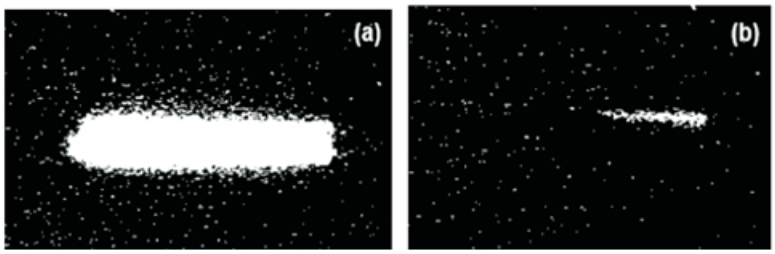
B. इण्डस-2 का अपग्रेडेशन -

1. स्थायी चुम्बकीय समतल ध्रुवित तरंगकों U1 एवं U2 का कमीशनन

दो प्लेनर तरंगक U-1 व U-2, एक परमाणु आणविक व प्रकाशिक विज्ञान (AMOS) किरणपुंज व दूसरा कोण विभेदित प्रकाश इलेक्ट्रॉन वलय (ARPES)में जिसकी स्थापना इण्डस-2 में गत वर्ष की गई थी। उनका बीम प्रकाशिकी पर तरंगकों के प्रचालन में प्रभाव का अध्ययन 2.5 GeV बीम ऊर्जा पर तरंगकों के पोल गेप 250 मी.मी. (अधिकतम) से 25 मी.मी. न्यूनतम के साथ अनेकों स्तर पर किया गया। संवृत कक्षा विरूपण में परिवर्तन का मापन पूरे रिंग की सभी 56 बीम पोजीशन संकेतकों (BPI) पर किया गया। जब दोनों तरंगकों में मेगनेट का पोल गेप 25 मी.मी. रखा गया तब COD में अधिकतम परिवर्तन 0.12 मी.मी. व 0.055 मी.मी. क्रमश: क्षैतिज व उर्ध्वाधर था तो इस बात की पुष्टि हो गयी की इण्डस-2 भंडारण वलय में तरंगक आवश्यक परिशुद्धता के साथ स्थापित किया गया है। दोनों तरंगकों U-1 व U-2 को पहली बार ~ 4 mA के निम्न भंडारित बीम धारा पर कमीशनन किया गया। सफलतापूर्वक कमीशनन करने के उपरांत धारा को नवंबर 2015 में चरणों में अपग्रेड कर -> 100 mA किया गया। मुख्य चुनौती अति भंडारित बीमलाइन के साथ तरंगकों को इसके अति तीव्र सिंक्रोट्रोन रेडिएशन बीम को संभालते हुए प्रचालन करना था। इसके निर्वात कक्ष की सुरक्षा बीम पोजीशन आधारित इंटरलॉक सीमाओं निर्धारण प्रायोगिक रूप से स्वीकार्य संवृत कक्षा को परिभाषित करते हुए निवेशन युक्ति बीम पोजीशन संकेतकों पर पता करके किया गया।

2.5 GeV तथा ~108 mA बीम धारा पर तरंगक U-1 की पोल दूरी परिवर्तन धीरे-धीरे चरणबद्ध अभ्यास की शुरूआत इसके प्रारंभिक अधिकतम 250 मी.मी. मान से न्यूनतम मान 25 मी.मी. से हुई। परीक्षणों के दैरान क्षैतिज एवं उर्ध्वाधर तल पर अधिकतम संवृत कक्षा विरूपण विचलन 20 माइक्रोन से नीचे

नियंत्रित किया गया था । बीटाट्रोन ट्यूब वेल्यू निर्वात कक्ष के तापमान, निर्वात व बीम लाइफटाईम में कोई सार्थक परिवर्तन नहीं हुआ । तरंगकों एवं उसके पास मोड़े जाने वाले चुम्बकों से उत्सर्जित सिंक्रोट्रोन विकिरण बीम के चित्रों को प्रदीप्ति स्क्रीन बीम व्यूअर का उपयोग करके रिकार्ड किया गया । U-1 से प्राप्त बीम का चित्र । (चित्र-1 में दर्शाया गया है) इसमें यह देखा जा सकता है कि तरंगक से उत्सर्जित सिंक्रोटोन विकिरण से उत्सर्जित विकिरण मोड़े जाने वाले चुम्बक की तुलना में अधिक प्रकाशमान है ।



चित्र -1 : सिंक्रोट्रोन विकिरण स्त्रोत से उत्सर्जित किरणपुंज का प्रतिबिम्ब । (a) पोल गेप 25 मी.मी. तरंगक U1 से एवं (b) पास के बेंडिंग चुम्बक से जब U1 पोल गेप इसके अधिकतम मान 250 मी.मी. का है ।

2. एपल-2 तरंगक की स्थापना

स्थायी चुम्बक ब्लॉक द्वारा निर्मित एपल-2 (प्रगत प्लेनर ध्रुवित प्रकाश उत्सर्जक) प्रकार के तरंगक की स्थापना इण्डस-2 के लम्बे सीधे अनुभाग (LS-5) में ऑफलाइन परीक्षणों के पश्चात् की गई । इस तरंगक में चार मानक हॉलबेक टाइप स्थायी चुम्बक की कतारों का समावेश है । दो कतारें इलेक्ट्रॉन कक्षा के तल के ऊपर एवं नीचे की ओर दो कतारें स्थित है । सिंक्रोट्रोन विकिरण की ध्रुवण अवस्था को बदलने के क्रम में दो तिरछी विपरीत कतारों को दो अन्य तिरछी विपरीत निर्धारित कतारों के संदर्भ में अक्ष के साथ परिवर्तन को स्वीकारने हेतु युग्मित किया गया । इस निवेशन युक्ति का उपयोग समायोज्य ध्रुवण के साथ विकिरण उत्पादन व सिंक्रोट्रोन विकिरण की पीक स्पेक्ट्रम दीप्ति दो या तीन के मेग्नीट्यूड ऑर्डर में स्पेक्ट्रम क्षेत्र में 200 eV से 300 eV तक बढ़ाने जिसमें उच्चतर हारमोनिक भी शामिल है । तरंगकों की स्थापना हेतु अनेक परा उच्च निर्वात संगत पेरीफेरल्स जैसे टेपर्ड निर्वात चेम्बर व बीम पोजीशन इंडीकेटर ऐसेम्बली की डिजाइन व निर्माण परिशुद्ध मशीनिंग व TIG वेल्डिंग से किया गया । एपल-2 तरंगकों के ऑफलाइन परीक्षण में कंट्रोल टेक के साथ प्रणाली को जोड़ने के पश्चात् पोल की गति रिमोट कंट्रोल प्रकार्य में लोकल टच पेनल का परीक्षण व डिवाइस को इंटरलॉक्स, बीम गतिकीय अध्ययन व तरंगकों के मेग्नेटिक क्षेत्र डेटा का मापन भी शामिल है ।

ऑफलाइन परीक्षण के पश्चात् 7.2 MT वजन के तरंगकों को इण्डस-2 में विभिन्न मशीन बाध्यताओं को पूरा करते हुए परिशुद्धता से निर्धारित स्थान पर सफलतापूर्वक स्थापित कर दिया । परिशुद्ध सर्वेक्षण मापन रिंग को खोलने से पूर्व निर्धारित अनुभाग में (वर्तमान कार्यस्थिति का) पोजीशन संवेदनशील घटकों की वर्तमान कार्यस्थिति को रिकार्ड करने व तत्पश्चात् तरंगक को +/- 0.1 मी.मी. की परिशुद्धता के साथ अनुभाग में स्थापित किया गया ।

तरंगक निर्वात कक्ष को अवाष्पीय गेटर (NEG) के साथ तरंगक पोल गेप के अंदर उसी स्थिति में सपोर्ट स्टेण्ड के साथ स्थापित कर दिया गया था । इसे पेरीफेरल घटकों जैसे टेपर चेम्बर्स निवेशन युक्ति बीम पोजीशन इंडीकेटर व बेलोस के साथ जोड़ दिया गया । ऐसेम्बली को दो RF सेक्टर वॉल्व के साथ शेष इण्डस-2 रिंग के साथ अलग कर दिया गया । इस तरंगक निर्वात सेग्मेंट का रिसाव परीक्षण व सिकाई (बेक) के पश्चात् NEG कोटिंग सक्रियण व चरम निर्वात 1.4 X 10^{-10} mbar प्राप्त किया ।

चित्र-2: निर्वात कक्ष एवं अन्य उपकरणों के साथ LS-5 में एपल-2 तरंगक की स्थापना।

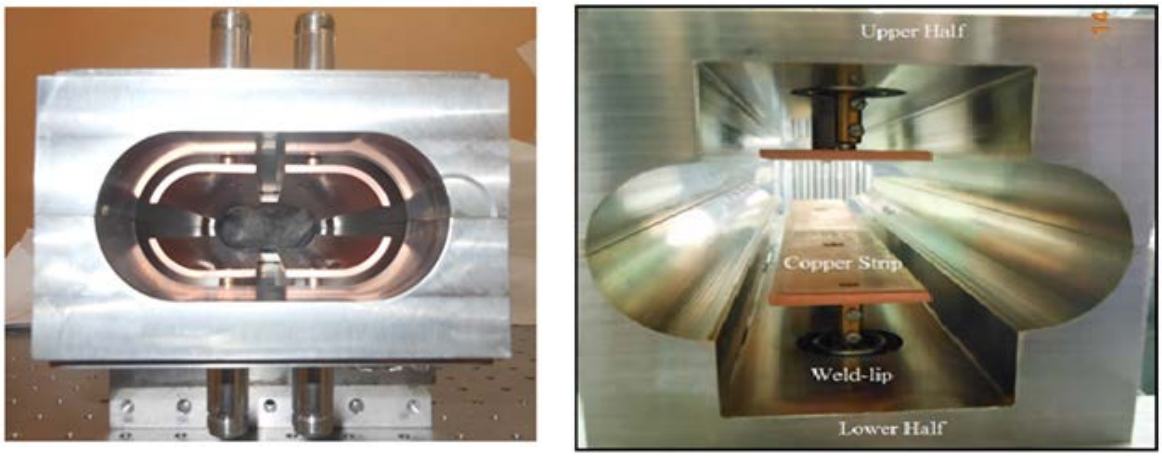
3. इण्डस-2 एवं बूस्टर सिंक्रोट्रोन के लिए नियंत्रण इलेक्ट्रॉनिक्स का अपग्रेडेशन

इण्डस त्वरकों माइक्रोटोन इंजेक्टर व औद्योगिक त्वरकों हेतु नियंत्रण प्रणाली को अपग्रेड कर एक नई उपप्रणाली को शामिल किया गया है। इसमें नियंत्रण कक्ष से तरंगकों का सुदूर एवं सुरक्षित प्रचालन करने के लिए नियंत्रण प्रणाली उच्चतर रेप-रेट 1 Hz पर इण्डस-2 डेटा लॉगिंग प्रणाली का अपग्रेडेशन कार्य आगे एक बीम आधारित एलाइनमेंट प्रणाली की इण्डस-2 में स्थापना, संवृत कक्षा विरूपण को उसी कक्षा में न्यूनतम करने, बीमलाइन जीवनकाल बढ़ाने, मशीन ट्यून में विविधता को कम करने व करेक्टर की सुदृढ़ता में कमी करने हेतु की गई। बीम आधारित एलाइनमेंट के लिए नियंत्रण प्रणाली (हार्डवेयर व सॉफ्टवेयर) का विकास 72 सक्रिय शंट पावर सप्लाई को नियंत्रित करने हेतु की गई है। बूस्टर सिंक्रोट्रोन के बीम पोजीशन मॉनीटर के उच्चतर आवृत्ति दर 1KHz पर मॉनीटरन हेतु अंत:स्थापित वेबसर्वर का उपयोग करते हुए, प्रोटोटाइप प्रोसेसिंग इलेक्ट्रॉनिक्स विकसित की गई है।

4. स्ट्रीपलाइन किकर चुम्बक की डिजाइन विकास एवं संस्थापना व निम्न चालकता जलप्रणाली का अपग्रेडेशन

स्ट्रीपलाइन किकर बंच बाई बंच फीडबेक प्रणाली का एक अभिन्न अंग हैं एवं डिवाइस आर.एफ. ऊर्जा द्वारा त्वरक इलेक्ट्रॉन बीम को अनुप्रस्थ ट्रांसवर्स करेक्शन किक प्रदान करता है। बंच बाई बंच फीडबेक प्रणाली के कार्य निष्पादन में वृद्धि को दृष्टिगत रखते हुए बीम स्थायित्व को बेहतर किया। परा उच्च निर्वात अनूकूल क्षैतिज व उर्ध्वाधर स्ट्रीपलाइन किकर के अपग्रेड वर्जन की डिजाइन, विकास एवं संस्थापना का कार्य किया गया। (चित्र-3) दोनों चुम्बकों का आंतरिक दृश्य।

इण्डस-2 निम्न चालकता जल (LCW) संयंत्र का उपयोग त्वरक घटकों के शीतलन, मेग्नेट की पावर डिवाइस व RF पावर आपूर्ति हेतु किया जाता है एवं इसे रात दिन प्रचालित किया गया। इस प्रणाली का अपग्रेड कूलिंग वॉटर तापमान स्थायित्व प्रक्रिया में वृद्धि करने व ताप स्थायित्व $\pm$ 0.7° C की तुलना में पूर्व स्थायित्व $\pm$ 1° C से बेहतर प्राप्त किया गया। इससे इण्डस-2 प्रचालन के स्थायित्व को बेहतर बनाने में मदद मिली है।



चित्र-3 : ऐसेम्बल्ड क्षैतिज एवं उर्ध्वाधर स्ट्रीपलाइन किकर चुम्बकों का आंतरिक दृश्य

5. इण्डस एस.आर.एस. सुविधाओं के लिए नए माइक्रोट्रोन का विकास

एक नये संशोधित 20 MeV इंजेक्टर माइक्रोट्रोन का विकास इण्डस सिंक्रोट्रोन विकिरण स्त्रोत सुविधा आरआरकेट के लिए किया गया (चित्र-4) । बीम को 22 वीं कक्षा तक त्वरित किया गया बीम ऊर्जा बीम को 20 MeV के साथ 22 वीं कक्षा में 30 mA बीम करंट पाया गया (चित्र-5) ।

चित्र-4 : नये माइक्रोट्रोन का आंतरिक दृश्य ।

चित्र-5 : 20 MeV ऊर्जा पर नये माइक्रोट्रोन की 22 वीं कक्षा में बीम करंट वेवफार्म (बीम एक्स्ट्रेक्शन कक्ष) बीम करंट गुलाबी ट्रेस में दर्शाया गया है । (स्केल प्रत्येक प्रमाण =10 mA)

6. इण्डस सिंक्रोट्रोन स्त्रोत सुविधा में विभिन्न चुम्बक पावर सप्लाई (ऊर्जा आपूर्तियों) का अपग्रेडेशन-

इण्डस-1 एवं इण्डस-2 में प्रयुक्त चुम्बक पावर सप्लाई को अपग्रेड किया गया है । इसमें ट्रांसपोर्ट लाईन (LT-2) में चतुध्रुव चुम्बक के लिए चार पावर सप्लाई (80 A, 25 V) जिसके द्वारा इलेक्ट्रॉन बीम को बूस्टर सिंक्रोट्रोन से इण्डस-1 से फीड किया जाता है एवं ट्रांसपोर्ट लाईन (TL-3) तीन, जो इण्डस-2 के इलेक्ट्रॉन बीम को फीड करती है । नई पावर सप्लाई की विशिष्टताओं में मोड्यूलर डिजाइन, बेहतर थर्मल

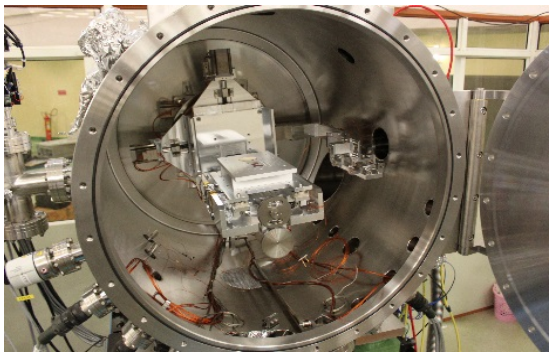
प्रबंध, साधारण विन्यास फिल्टर की कम आवश्यकताएं व आसान अनुरक्षण हेतु बेहतर ले-आऊट शामिल है। आगे चार तीव्र (फास्ट) कक्षा फीडबेक (FOFB) पावर सप्लाई व तीन सक्रिय शंट पावर सप्लाई का विकास इण्डस-2 चतुर्ध्रुव धारा के स्वतंत्र समायोजन हेतु किया गया।

ECIL के लिए एक्सप्लोसित डिटेक्शन प्रणाली के उपयोग हेतु एक उच्च वोल्टता DC व स्पंदित पावर सप्लाई को भी विकसित किया गया है।

C. इण्डस बीमलाइनों का कमीशनन, अपग्रेडेशन व उपयोगिता -

इण्डस सिंक्रोट्रोन स्त्रोत जो कि एक राष्ट्रीय सुविधा है, का उपयोग देश में स्थित विभिन्न विश्वविद्यालयों, राष्ट्रीय संस्थानों व अनुसंधान प्रयोगशालाओं के वैज्ञानिकों एवं विद्यार्थियों द्वारा किया जा रहा है। सॉफ्टएक्सरे परावर्तकता बीमलाइन (BL-3) को अभी हाल ही में कमीशनन किया गया है, जो इण्डस-2 में ऊर्जा परास 100 eV से 1500 eV में प्रचालित की जाने वाली 13 वीं बीमलाइन है। यह बीमलाइन स्थिर डेविएशन एंगल वेरिएबल लाइन समतल ग्रेटिंग मानोक्रोमेटर पर आधारित है। इसका उपयोग भारी मात्रा में निम्न Z एलीमेंट व संरचनात्मक एवं इन्टरफेशियल अभिलक्षणन के लिए 3 D ट्रांजिशन मेटल थिन फिल्म के अनुनादी एक्स-रे परावर्तकता मापन में किया जा सकता है एवं साथ ही दर्पणों के परावर्तकता, ग्रेटिंग एवं डिटेक्टरों की दक्षता थिन फिल्म फिल्टर के ट्रांसमिशन व मल्टीलेयर के मापन में भी उपयोगी है। इसका परीक्षण प्रयोग सफलतापूर्वक किया गया है एवं बीमलाइन को उपयोगकर्ताओं के लिए खुली है। (चित्र -6) इस बीमलाइन में प्रायोगिक केन्द्र का चित्र।

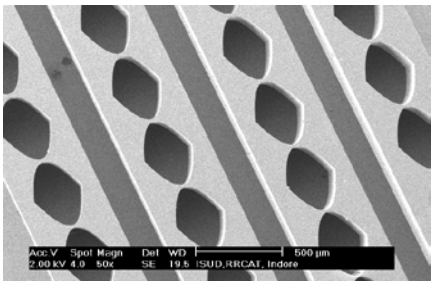
कुछ बीमलाइनों को उपयोग हेतु प्रगत सुविधाओं से सुसज्जित किया गया है। एक संवृत चक्र क्रायोस्टेट (CCR) आधारित शीतलन प्रणाली (चित्र-7) व उच्च तापमान स्तर की संस्थापना कोण परिक्षेपी एक्सरे विवर्तन बीमलाइन (BL-12) की प्रतिबिम्ब प्लेट में की गई है। एक नये उच्च तापमान स्तर (1100 K तक) को शुरू किया गया है। जिसका उपयोग दोनों क्रमवीक्षण (स्केंनिंग) विस्तारित एक्सरे अवशोषण अवशोषण सूक्ष्म संरचना बीमलाइन (BL-9) के साथ-साथ परीक्षेपी EXAFS बीमलाइन (BL-8) में भी किया जा सकता है। संवृत चक्र क्रायोस्टेट के साथ फूरिए ट्रांसफार्म अवरक्त प्रणाली की संस्थापना इण्डस-1 की प्रकाश भौतिकी बीमलाइन (BL-5) में की गई है। नये स्थापित किए गए एपल-2 तरंगक से उत्सर्जित प्रकाश का उपयोग करने हेतु एक बीमलाइन का निर्माण किया जा रहा है। एक्सरे चुम्बकीय सर्कुलर द्विवर्णता (Dichroism) XMCD प्रयोगों द्वारा चुम्बकीय सामग्री के अध्ययन में सर्कुलर ध्रुवित प्रकाश की मुख्य भूमिका है।



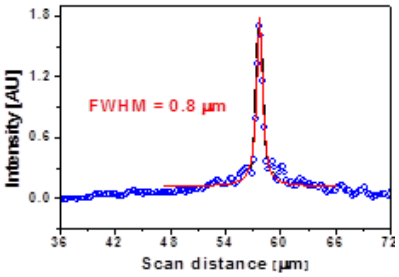
चित्र-6 : सॉफ्टएक्सरे परावर्तकता बीमलाइन(BL-3) की xyz सेम्पल मेनीपुलेशन स्तर के साथ दो अक्षीय उच्च निर्वात अनूकूल गोनियोमीटर।

चित्र-7 : कोण परिक्षेपी एक्सरे विवर्तन (ADXRD) बीमलाइन (BL-12) की इमेज प्लेट पर संस्थापित संवृत चक्र क्रायोस्टेट आधारित सेम्पल कूलिंग।

इण्डस-2 में एक्सरे लिथोग्राफी बीमलाइन (BL-7) का उपयोग करते हुए हार्ड एक्सरे प्रणाली में उपयोग हेतु एक्सरे लेंस का विनिर्माण एक नये एन्टीमनी मुक्त पदार्थ कोड सं. SUEX से किया गया । (चित्र-8) में लेंस का स्केनिंग माइक्रोग्राफ बिंब दर्शाया गया है । 0.8 माइक्रोन के FWHM का फोकल बीम व्यास डायमण्ड प्रकाश स्त्रोत को UK डायमण्ड लाइट स्त्रोत में इस लेंस का उपयोग कर प्राप्त किया गया (चित्र-9) । 25 मी.मी. फोकल लम्बाई की फ्रेनेल जोन प्लेट्स का विनिर्माण अल्ट्राथिन टाइटेनियम पर 30 KeV इलेक्ट्रॉन बीम लिथोग्राफी का उपयोग करते हुए पोली मिथाइल मेथाक्राइलेट (PMMA) किया गया है । इसकी डिजाइन केशिका निस्सरण आधारित आर्गन एक्सरे लेसर (तरंगदैर्ध्य 46.9 नेनोमीटर) में फोकसन हेतु किया गया ।



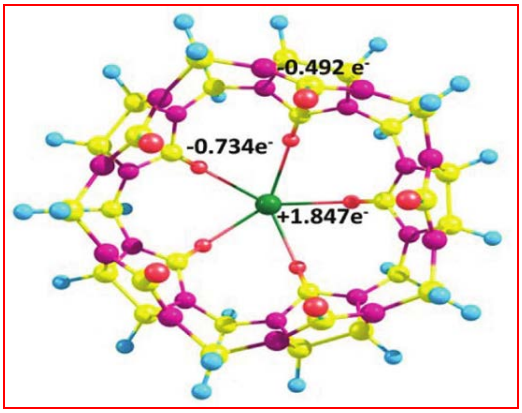
चित्र-8 : बीमलाइन (BL) पर विकसित किए गए SUEX लेंस का स्केनिंग माइक्रोस्कोप चित्र ।



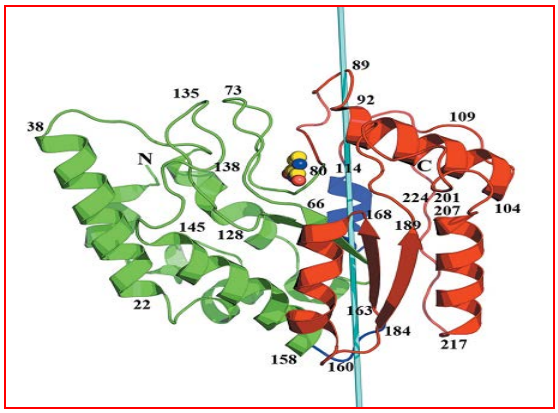
चित्र-9 : एक्सरे लेंस के फोकस पर एक्सरे बीम का बीम प्रोफाईल ।

वर्ष 2015 के दौरान उपयोगकर्ताओं द्वारा इण्डस बीमलाइन का उपयोग विभिन्न प्रकार के प्रयोगों हेतु व्यापक रूप से किया गया । जिनमें कुछ उदाहरण- साफ्टएक्सरे अवशोषक बीमलाइन (BL-1) पर $Ni_xZn_{1-x}O$ में ऑक्सीजन के अवशोषक कोर पर अध्ययन, इमेजिंग बीमलाइन (BL-4) पर ट्राईस्ट्रक्चरल आइसोटोप (TRISO) नाभिकीय माइक्रोपेलेट्स का इमेजिंग अध्ययन, एक्सरे लिथोग्राफी बीमलाइन (BL-7) का उपयोग करते हुए दीर्घ अवधि फायबर ग्रेटिंग का विकास, विस्तारित एक्सरे अवशोषक सूक्ष्म संरचना (EXAFS) बीमलाइन (BL-9) पर कूकरबिट्स (एन) यूरिल अणु द्वारा Eu^{3+} आयन के ट्रेपिंग हेतु जटिल निर्माण पर एक्सरे अवशोषक अध्ययन , चरम ऊर्जा परिक्षेपी / कोण परिक्षेपी (ED/AD)XRD बीमलाइन का उपयोग , $NaZr_2(PO_4)_3$ प्रणाली में दाब के विभिन्न स्तरों पर होने वाले परिवर्तनों की पहचान के साथ उच्च दाब एक्सरे विवर्तन का मापन , ADXRD बीमलाइन (BL-12) पर Co_3TO_6 की संरचना के जटिल चुम्बकीय गुणवत्ता की पहचान हेतु अध्ययन, एक्सरे प्रतिदीप्ति (XRF) बीमलाइन (BL-16) पर एक्सरे स्थायी तरंगों का उपयोग करते हुए सिलिकॉन अवस्तर पर स्वर्ण नेनोकणों का अभिलक्षणन व प्रोटीन क्रिस्टलोग्राफी बीमलाइन (BL-21) पर नई प्रोटीन संरचना का निर्धारण ।

चित्र- 10 व 11 में EXAFS बीमलाइन तथा क्रिस्टलोग्राफी बीमलाइन के कुछ परिणाम दर्शाए गए हैं ।



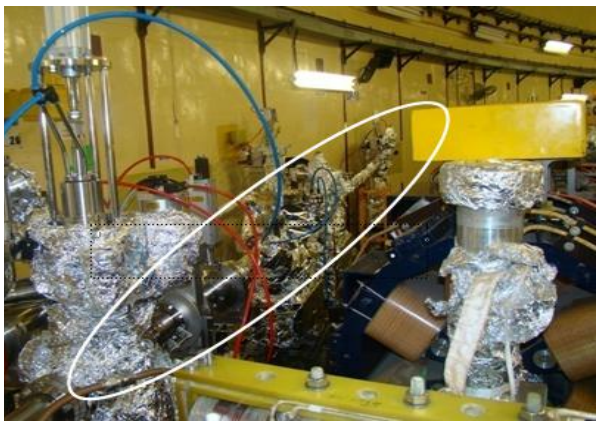
चित्र-10: EXAFS बीमलाइन (BL-9) का उपयोग करते हुए कूकरबिट (5) यूरिल अणु के साथ Eu3+ आयन के सम्मिश्र की इष्टतम संरचना का निर्धारण।



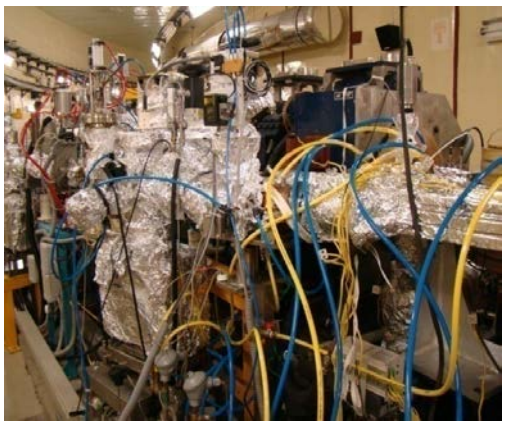
चित्र-11 : माइक्रोबेक्ट्रियम ट्यूबरकुलोसिस डीएनए ग्लाइकोलीसेस संरचना का क्रिस्टलाग्राफी बीमलाइन (BL-21) पर निर्धारण।

बीमलाइन एवं फ्रंटएंड के लिए संस्थापना कार्य एवं विभिन्न घटकों का निर्वात परीक्षण कार्य भी कर लिया गया है। इण्डस-2 फोटो इमीशन इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप (PEEM) बीमलाइन (BL-22) का डिजाइन कार्य, विनिर्माण कर उसे शुरू कर दिया गया है (चित्र-12)। कुछ घटकों जैसे प्री मास्क वॉटर कूल्ड बीम व्यूअर, स्केनिंग वायर मॉनीटर इत्यादि की डिजाइन उनका स्वदेशी निर्माण एवं स्थापना इनसरशन डिवाइस आधारित परमाणु, आण्विक व प्रकाशिक अध्ययन (AMOS) व एंगल रिजोवल्ड फोटो इलेक्ट्रॉन स्पेक्ट्रोस्कोपी (ERPES) बीमलाइनों के फ्रंटएंड (चित्र-13) में कर दी गई है।

एक संवृत द्विस्तरीय विशेष पम्पिंग प्रणाली (लम्बाई 415 मी.मी.) को विकसित कर उसका परीक्षण एवं इण्डस-2 के BL-3 पर उसकी स्थापना बीमलाइन के उच्च एवं निम्न निर्वात क्षेत्र के बीच विंडोलेस पारगमन उपलब्ध कराने हेतु की गई।



चित्र-12 : इण्डस-2 वलय पर स्थापित किए गए फोटो इमीशन इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप (PEEM) बीमलाइन (BL-22) के फ्रंट End का दृश्य।



BL-10 में फ्रंट End घटकों का दृश्य। (एंगल रिजोल्व्ड फोटो स्पेकट्रोस्कोपी बीमलाइन)

II. त्वरक प्रौद्योगिकी

1. नौ सेल 1.3 GHz अतिचालक रेडियो आवृत्ति गुहिका की पॉलिशिंग

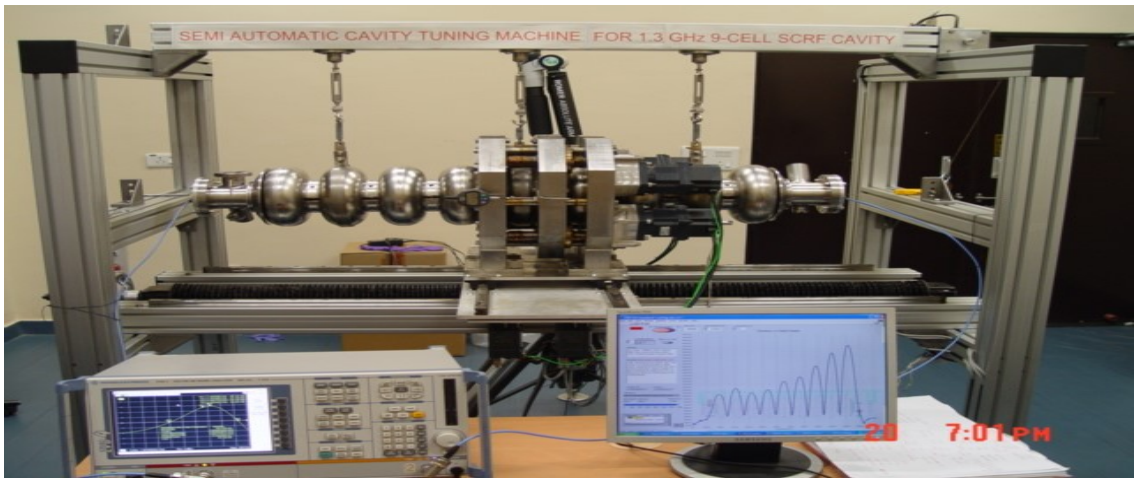
आरआरकेट में मल्टी सेल 1.3 GHz अतिचालक रेडियो आवृत्ति (SCRF) गुहिका के प्रोसेसिंग हेतु एक सुविधा स्थापित की गई है। इस सुविधा का उपयोग करते हुए नौ सेल 1.3 GHz SCRF गुहिका (चित्र-14)। का विनिर्माण किया गया एवं घरेलू सुविधाओं से इसका संसाधन किया जा रहा है। इस गुहिका का परीक्षण स्वदेशी निर्मित ऑप्टिकल निरीक्षण बेंच पर किया गया। गुहिका निरीक्षण के दौरान कोई भी भारी त्रुटि नहीं देखी गई। गुहिका की मोटाई का मापन अल्ट्रासोनिक थिकनेस गेज का प्रयोग करते हुए 136 स्थानों पर किया गया। गुहिका की प्रोसेसिंग अंतर्राष्ट्रीय मानक रेसिपी का प्रयोग करते हुए की गई है। इसमें 120 माइक्रोन इलेक्ट्रोपोलिशिंग (बल्क पोलिशिंग), उच्च तापमान, तापानुशीतन 600^{o}C पर 10 घंटे तक, 25 माइक्रोन इलेक्ट्रोपोलिशिंग (लाइट पोलिशिंग) पराश्रव्य व हाईप्रेशर रिंसिंग, 48 घंटे का वैक्यूम लीक परीक्षण निम्न तापमान बेकिंग RF कपलर की ऐसेम्बली व क्लास 100 कक्ष में 120 डिग्री पर निम्न तापमान बेकिंग व 2K वर्टिकल टेस्ट स्टेण्ड सुविधा में RF परीक्षण सम्मिलित है। प्रथम चरण में गुहिका के इलेक्ट्रोपोलिशिंग से 50 माइक्रोन तक सामग्री हटाने व 120 बार दाब पर अल्ट्रा प्योर वॉटर से प्रयोग करते हुए उच्च दाब रिंसिंग के बाद गुहिका अब द्वितीय स्तर की पोलिशिंग हेतु तैयार है एवं उसका परीक्षण 2K पर आवश्यक गुणवत्ता कारक व त्वरण प्रवणता के संदर्भ में किया जाएगा।

चित्र-14 : नौ सेल 1.3 GHz अतिचालक रेडियो आवृत्ति गुहिका का इलेक्ट्रोपोलिशिंग।

2. एक अर्द्धस्वचालित (सेमी ऑटोमेटिक) गुहिका ट्यूनिंग मशीन का स्वदेशी विकास

एक अर्द्धस्वचालित गुहिका ट्यूनिंग मशीन (चित्र-15)। की डिजाइन व निर्माण मल्टीसेल 1.3 GHz अतिचालक रेडियो आवृत्ति (SCRF) गुहिका RF रेजोनेटिंग आवृत्ति व फील्ड फ्लेटनेस करेक्शन हेतु किया गया है।

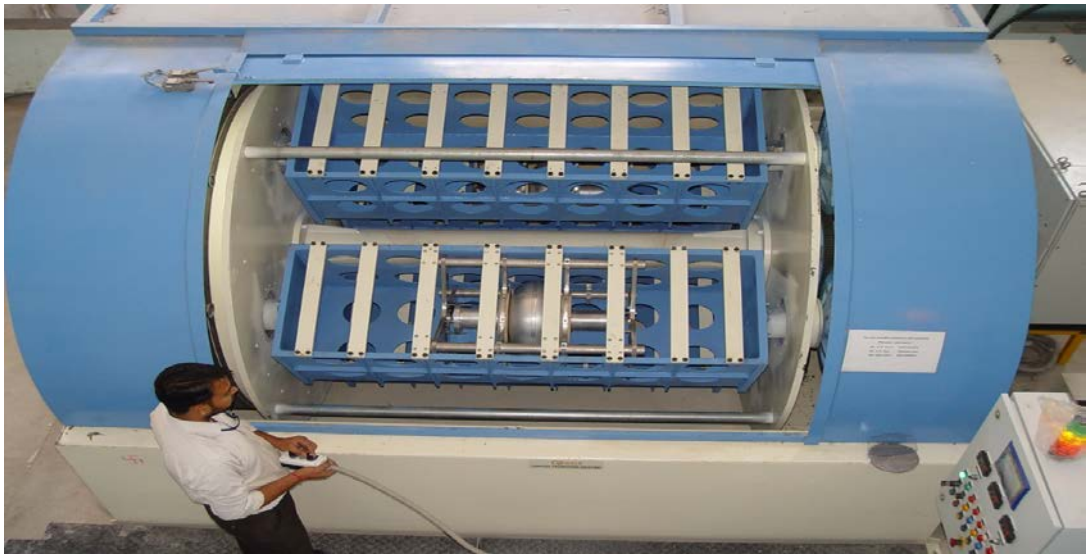
ट्यूनिंग मशीन में एक मोटर चालित ट्यूनिंग जबड़े गुहिका स्थापना प्रणाली व बीड पुल मापन प्रणाली का समावेश है। मल्टी सेल गुहिका को ट्यून करने हेतु ट्यूनिंग क्रियाविधि विकसित की गई है व नौ सेल 1.3 GHz गुहिका पर परीक्षण किए जा चुके हैं।



चित्र- 15 : अर्द्धस्वचालित ट्यूनिंग मशीन पर नौ सेल 1.3 GHz SCRF गुहिका।

3. सेन्ट्रीफ्यूगल बैरल पोलिशिंग मशीन का स्वदेशी विकास

मल्टी सेल अतिचालक रेडियो आवृत्ति (SCRF) गुहिका की आंतरिक सतह की पोलिशिंग हेतु एक सेन्ट्रीफ्यूगल बैरल पॉलिशिंग मशीन (चित्र-16) का स्वदेशी डिजाइन से निर्माण किया गया है। मशीन में चार बैरल द्वारा अदद पांच सेल 650 MHz SCRF गुहिकाओं को एक साथ पॉलिश करने का प्रावधान है।



चित्र-16 : सेन्ट्रीफ्यूगल बैरल पोलिशिंग मशीन में लगी हुई एक सेल 650 MHz गुहिका।

4. स्वदेशी रूप से विकसित लेसर वेल्डिंग तकनीक से 650 MHz गुहिका विकास

आरआरकेट द्वारा अतिचालकता रेडियो आवृत्ति (SCRF) गुहिका निर्माण के लिए नई वेल्डिंग तकनीक को विकसित किया गया था। इस तकनीक का उपयोग करते हुए 1.3 GHz परीक्षण गुहिका की वेल्डिंग की गई एवं इसका कार्यनिष्पादन प्रदर्शन अन्तर्राष्ट्रीय मानकों के अनुरूप था। इस प्रक्रिया को जापानी पेटेन्ट मिल गया है। वर्तमान में इस तकनीक का उपयोग सिंगल सेल 650 MHz SCRF गुहिका (चित्र-17) के विनिर्माण हेतु किया गया है जो कि आकार मे काफी बड़ी है। 650 MHz पर मल्टीसेल गुहिकाओं का विकास उच्च तीव्रता पल्स प्रोटोन लिनेक के निर्माण हेतु अत्यावश्यक हे जिसका उपयोग दीर्घकालीन भारतीय स्पेलेशन न्यूट्रॉन स्त्रौत (ISNS) कार्यक्रम के लिए किया जा सकेगा।

चित्र - 17 : 650 MHz लेसर वेल्डेड अतिचालक रेडियो आवृत्ति गुहिका।

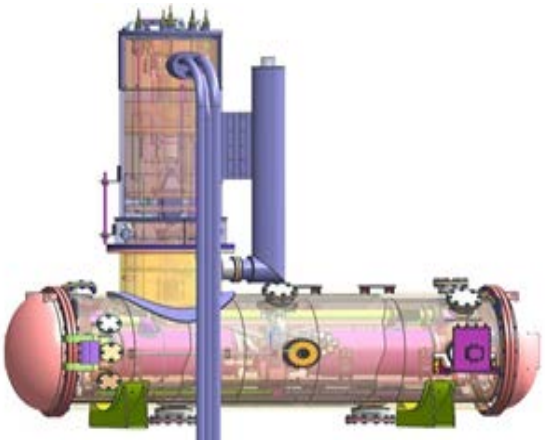
5. स्वदेशी हीलियम द्रावित्र की द्रवीकरण क्षमता में वृद्धि

आरआरकेट में सर्वप्रथम में पूर्णरूप से स्वदेशी प्रणाली द्वारा हीलियम द्रवीकरण 2010 में प्राप्त किया गया। यह प्रणाली रेसीप्रोकेटिंग टाइप एक्सपान्शन इंजन (पारस्परिक प्रकार के विस्तारित इंजन) पर आधारित थी व इसमें अनुप्रस्थ प्रतिप्रवाह (क्रॉस काउंटर) प्रकार के ताप विनियामक का प्रयोग किया गया। अब इस प्रणाली को वृहत रेफ्रजेरेशन क्षमता विस्तार इंजन व स्टेट ऑफ आर्ट ब्रेज्ड एल्यूमीनियम प्लेट फिन ताप विनियामकों के साथ अपग्रेड किया गया है। उच्च ताप ट्रांसफर दर व दक्षता के साथ ब्रेज्ड एल्यूमीनियम प्लेट फिन ताप विनियामकों का निर्माण देश में ही करके हीलियम द्रवीकरण प्रणाली को पहली बार सफलतापूर्वक स्थापित किया गया। इस अपग्रेड की गई प्रणाली से प्रति घंटे 35 लीटर द्रवित हीलियम का उत्पादन हो रहा है। (चित्र-18)।

चित्र - 18 : स्वदेशी रूप से निर्मित 35 लीटर/घंटा क्षमता का हीलियम दावित्र

6. क्षैतिज परीक्षण क्रायोस्टेट की डिज़ाइन -

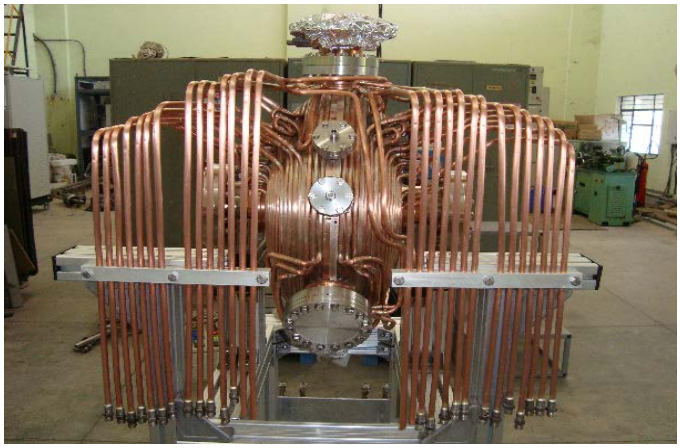
सिंगल परीक्षण चक्र में 2 K पर दो 650 MHz “dressed” अतिचालकता रेडियो आवृत्ति (SCRF) गुहिका परीक्षण हेतु क्षैतिज परीक्षण क्रायोस्टेट की डिज़ाइन भारतीय संस्थान- फर्मीलेब के सहयोग तहत की गई है। आरआरकेट द्वारा विकसित की जा रही यह क्रायोस्टेट प्रणाली विश्व में अपने तरह की तीसरी प्रणाली होगी एवं इसका उपयोग 5 सेल 650 MHz (SCRF) गुहिकाओं CW / स्पंद के परीक्षण में किया जाएगा। इसकी डिज़ाइन की जांच एवं अनुमोदन अंतर्राष्ट्रीय विशेषज्ञों द्वारा किया जा चुका है। (चित्र-19)।



चित्र - 19 : क्षैतिज परीक्षण क्रायोस्टेट 3-D डिज़ाइन ।

7. इण्डस-2 के लिए स्वदेशी रूप से विकसित RF गुहिका एवं उच्च ऊर्जा कपलर-

इन्डस-2 के लिए घंटी के आकार की एक ट्यूनेबल ऑक्सीजन मुक्त ताम्र रेडियो आवृत्ति (RF) गुहिका व 505.8 MHz पर प्रचालित उच्च ऊर्जा इनपुट कपलर की स्वदेशी रूप से डिज़ाइन, विनिर्माण एवं परीक्षण किया गया है ।(चित्र-20)



चित्र- 20 : 505.8 MHz पर ताम्र कूलिंग कोइल्स के साथ उच्च शुद्धता ताम्र रेडियो आवृत्ति गुहिका।

आर एफ गुहिका हाफ शेल, पोर्ट्स व कूलिंग ट्यूब को प्रेसिजन फिक्सचर के उपयोग से चार स्तरीय निर्वात ब्रेजिंग प्रक्रिया द्वारा जोड़ा गया । सुरक्षित सीमाओं में उच्चतर मोड़ रखने हेतु गुहिका बॉडी को व्यापक रूप से जल द्वारा शीतल किया गया । पोर्ट्स एवं कपलर पार्ट्स का तापमान स्थायित्व $\pm$ 0.1°C की सीमा में था । गुहिका की सिकाई व शीतलता के पश्चात् शीर्ष निर्वात $5X10^{-10}$ mbar प्राप्त हुआ। इण्डस-2 के अनूकूल प्रचालन आवश्यकताओं को पूरा करने हेतु आर एफ गुहिका का उच्च ऊर्जा परीक्षण 33 kW कुल औसत आर एफ ऊर्जा पर किया गया । पूरे परीक्षण के दौरान कोई विशेष मल्टीपेक्टिंग, आरकिंग या ओसिलेशन देखने में नहीं आया ।

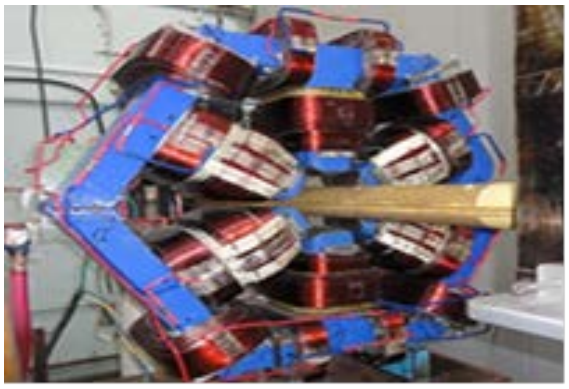
8. इण्डस - 2 के सभी चार RF केन्द्रों पर डिजिटल निम्न स्तर रेडियो आवृत्ति (LLRF) का विकास एवं स्थापना

इण्डस -2 के सभी चार रेडियो आवृत्ति केन्द्रों को फील्ड प्रोग्रामेबल गेट अरे (FPGA) आधारित डिजिटल निम्न स्तर आरएफ (LLRF) नियंत्रण प्रणाली के साथ अपग्रेड किया गया है (चित्र-21) । एनालॉग प्रणाली की जगह डिजिटल प्रणाली स्थापित करने के बाद इन चारों केन्द्रों पर फीडबेक नियंत्रण पेरामीटरों को फेज स्थायित्व 0.5 से बेहतर व आयाम स्थायित्व 0.5 प्रतिशत से बेहतर की प्राप्ति हेतु मानकों को इष्टतम किया गया । सभी चार केन्द्रों पर फीडबेक लूप बेंडविथ का इष्टमीकरण बीम को इंजेक्शन ऊर्जा पर संचित किया गया व ऊर्जा को रेम्पिंग करके 2.5 GeV पर 200 mA से अधिक की बीम प्राप्ति की गई । DLLRF प्रणाली के विकास में आर.एफ. सिग्नल प्रोसेसिंग व तीव्र फीडबेक नवीन प्रौद्योगिकियां भी शामिल है ।

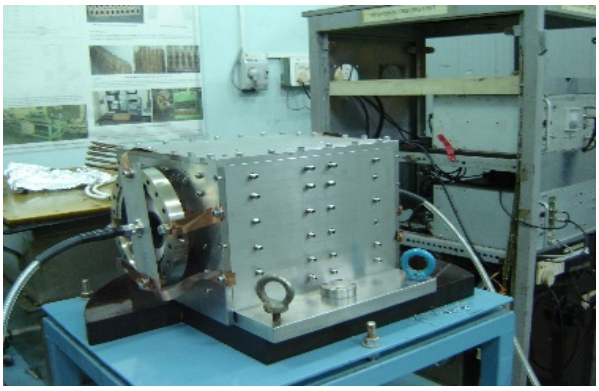
चित्र-21 : इण्डस -2 में आर.एफ. केन्द्रों के साथ स्थापित डिजिटल एल.एल.आर.एफ. प्रणाली ।

9. चुम्बक प्रौद्योगिकी

इण्डस सिंक्रोट्रोन स्त्रौत के लिए आवश्यक विभिन्न प्रकार के चुम्बकों का विकास घरेलू संसाधनों को जुटा कर किया गया । इण्डस-2 के कार्य निष्पादन में और अधिक सुधार हेतु निरंतर प्रयासों से प्रोटोटाइप हारमोनिक सेक्स्टूपोल चुम्बक (चित्र-22) एवं निम्नयुग्मक प्रतिबाधा किकर चुम्बकों (लो-कपलिंग इम्पीडेंस किकर मेग्नेट) (चित्र-23) का विकास किया गया । हारमोनिक सेक्स्टूपोल मेगनेट की आवश्यकता विद्यमान क्रोमेटिक सेक्स्टूपोल चुम्बकों की नॉन लिनिएरिटी प्रेरण को रोकने एवं इण्डस-2 के भंडारण वलय में डायनामिक एपरचर में सुधार हेतु आवश्यक है । कम कार्बन युक्त एक स्टील कोर प्रोटोटाइप मेगनेट का विकास एवं अभिलक्षणन एकीकृत मेग्नेटिक फील्ड सुदृढ़ता व गुणवत्ता के लिए किया गया । इण्डस-2 में बीम की दिशा में उपलब्ध जगह को समायोजित करने हेतु समग्र भौतिक लम्बाई 200 मी.मी. के अंदर ही रखी गई है । चुम्बक परीक्षण हेतु आवश्यक आधारभूत सुविधाओं के संवर्धन के लिए उच्च ऊर्जा स्थायी चुम्बकों के अभिलक्षणन हेतु स्पंद प्रकार का MH लूप ट्रेसर प्रणाली व प्लेनर तरंगकों के चुम्बकीय क्षेत्रों के अभिन्न भागों के मापन हेतु तनन वायर प्रणाली का विकास किया गया । आरआरकेट में उच्च ऊर्जा (100 kW) CW फेराइड सर्कुलेटरों का विकास व फेराइड व गारनेट की पावर हेंडलिंग क्षमताओं के मापन हेतु स्पिन वेव मापन प्रणाली का विकास किया गया ।



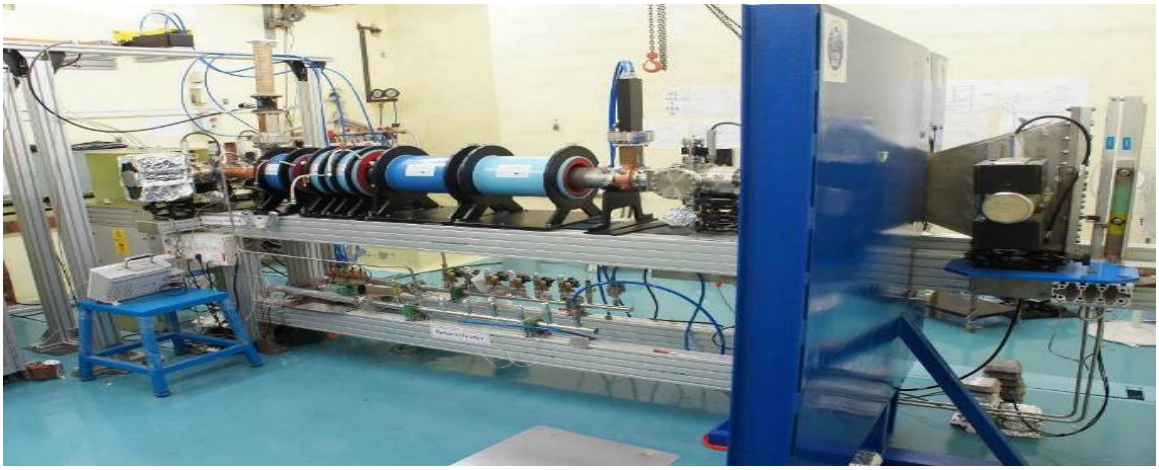
चित्र-22 : इण्डस-2 के लिए प्रोटोटाइप हारमानिक सेक्स्टूपोल चुम्बक।



चित्र-23 : इण्डस-2 के लिए निम्न युग्मक प्रतिबाधा किकर चुम्बक।

10. लिनेक प्रौद्योगिकी का विकास

औद्योगिक वातावरण में प्रचालन उपयुक्त 10 MEV इलेक्ट्रॉन लिनेक का विकास मुख्यत: स्वदेशी डिज़ाइन एवं घटकों के निर्माण द्वारा किया गया। इसकी पर्यवेक्षण नियंत्रण प्रणाली द्वारा नियंत्रण कक्ष से लिनेक के सुदूर, सुरक्षित एवं विश्वस्त प्रचालन व्यक्तिगत संरक्षा के साथ किया जा सकता है। वर्तमान में विकसित लिनेक (चित्र-24) द्वारा 4.2 kW बीम ऊर्जा प्रदान की जा रही है एवं इसको लगातार 90 घंटे से अधिक चलाकर परीक्षण किया गया।



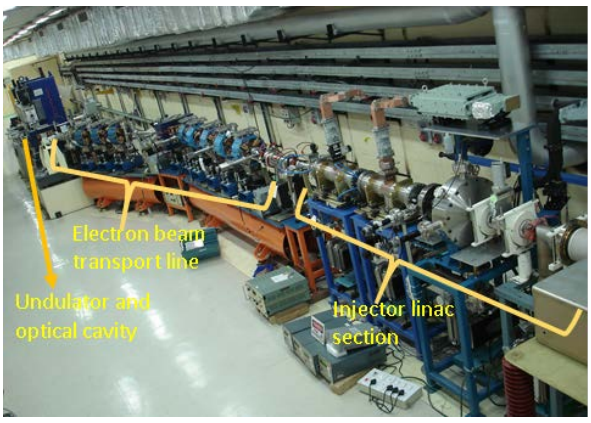
चित्र- 24 : 10 MeV औद्योगिक लिनेक। लिनियर त्वरित संरचना, मेगनेटिक एलीमेंट व बीम स्केनर को फोकस करते दर्शाता चित्र।

11. अवरक्त मुक्त इलेक्ट्रॉन लेसर (IRFEL) का विकास -

15-50 माइक्रोन में काम करने वाले अवरक्त मुक्त इलेक्ट्रॉन लेसर का विकास किया गया जिसमें 15-25 MeV पर इलेक्ट्रॉन बीम का उपयोग करते हुए इंजेक्टर लिनेक व 2.5 लम्बी विशुद्ध स्थायी चुम्बक 50 मी.मी की अवधि के तरंगकों को साथ पूरा किया गया। IRFEL में स्वदेशी रूप से विकसित इंजेक्टर लिनेक प्रणाली के साथ घरेलू संसाधन से निर्मित दो समतल तरंग ट्रांसफॉर्मर (PWT) लिनेक संरचना को प्रयोग में लाया गया है। (चित्र-25)। PWT लिनेक ऐसेम्बली की मुख्य चुनौती परिशुद्ध मशीनिंग व परिशुद्ध ब्रेजिंग द्वारा UHV रिसाव मज़बूती व ताम्र डिस्क की परिशुद्ध स्पेसिंग को आश्वस्त करना है। एक निम्न स्तर एस- बेंड LLRF प्रणाली की डिज़ाइन एवं विकास IRFEL के इंजेक्टर लिनेक में डाले जाने वाले माइक्रोवेव पावर के फेज व आयाम स्थायीकरण हेतु किया गया। इलेक्ट्रॉन बीम ट्रांसपोर्ट लाइन व चुम्बक IRFEL के

लिए निर्वात लाइन का निर्माण घरेलू संसाधनों से किया गया । इसका ऑफलाइन परीक्षण कर IRFEL प्रणाली में स्थापित किया गया। डिजाइन किए गये निर्वात को संपूर्ण निर्वात बीमलाइन में प्राप्त कर लिया गया है । निर्वात प्रणाली की डिजाइन एवं परीक्षण 14 मीटर लम्बी वेरीएबल क्रास सेक्शन बीम ट्रांसपोर्ट लाइन पर किया गया । यह प्रणाली पूरी लाइन पर आवश्यक निर्वात स्तर $3X10^{-8}$ mbar से बेहतर बनाए रखने में सक्षम है । IRFEL की व्यक्तिगत उपप्रणालियों का कमीशनन एवं परीक्षण वर्तमान में प्रगति पर है । (चित्र - 26)

चित्र - 25 : अवरक्त मुक्त इलेक्ट्रॉन लेसर के लिए प्लेन वेव ट्रांसफार्मर लिनेक ।



चित्र - 26 : 60 मीटर लम्बी शील्डेड टनल में ऐसेम्बल किए जा रहे मुक्त इलेक्ट्रॉन लेसर को दर्शाता चित्र ।

12. अल्ट्राक्लीन नियंत्रित वातावरण ब्रेजिंग भट्टी की स्थापना एवं कमीशनन

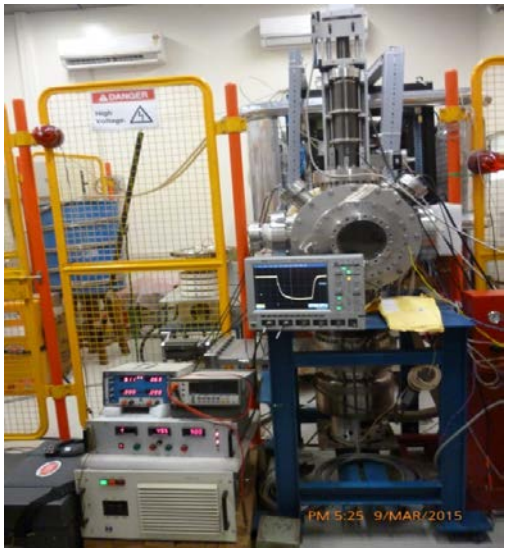
स्वदेशी रूप से निर्मित हाइड्रोकार्बन मुक्त अल्ट्राक्लीन कोल्ड वाल्ड वातावरण ब्रेजिंग भट्टी की स्थापना (चित्र-27) त्वरक घटकों के लिए आवश्यक असमान धातु ट्रांजिशन जोड़ व कॉपर से कॉपर जोड़ो के ब्रेजिंग हेतु की गई । भट्टी द्वारा एक घण्टे से कम पर फास्ट पम्प डाउन शीर्ष निर्वात $5X10^{-7}$ mbar एवं तापमान एकरूपता $\pm$ 5°C प्रदर्शित की गई है । यह डायनामिक ऑर्गोन आंशिक प्रेशर 0.05 mbar पर भी प्रचालित किया जा सकता है । विभिन्न त्वरक परियोजनाओं की ब्रेजिंग आवश्यकताओं को पूरी करने के अलावा इस अल्ट्राक्लीन भट्टी का उपयोग नायोबियम एवं कॉपर को ऑस्टेनिटिक इस्पात से जोड़ने की नई ब्रेजिंग रिसाइप को भी विकास करने में किया गया ।

चित्र- 27: नियंत्रित वातावरण ब्रेजिंग भट्टी ।

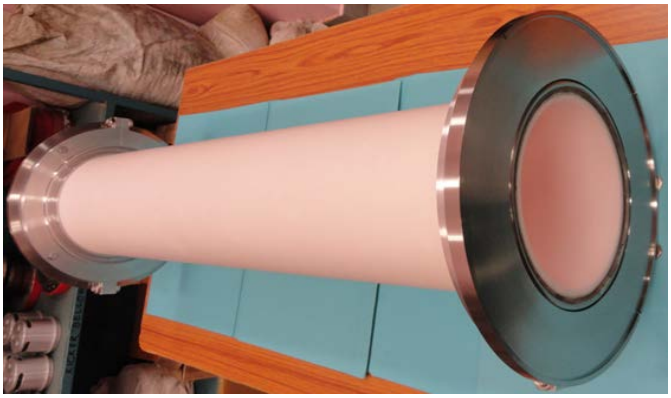
13. भारतीय स्पेलेशन न्यूट्रॉन स्त्रोत (ISNS) कार्यक्रम के लिए घटकों का विकास-

इंजेक्टर लिनेक के लिए निम्न ऊर्जा बीम ट्रांसपोर्ट (LEBT) लाइन व मध्यम ऊर्जा बीम ट्रांसपोर्ट (MEBT) लाइन की भौतिक डिज़ाइन को पूरा कर लिया गया है । LEBT आयन स्त्रोत से रेडियो आवृत्ति चर्तुध्रुव प्रवेश तक बीम का एवं MEBT व RFQ निकास से सिंगल स्पोक रिजोनेटर के प्रवेश तक बीम के परिवहन को एक साथ मेच करता है ।

सिंगल स्पोक रिजोनेटर के तीन प्रकारों की इलेक्ट्रॉनिक मेग्नेटिक डिजाइन व बीम गतिकी अध्ययन किया गया । जिससे बीम को तीन पृथक ऊर्जा श्रेणियों में त्वरित किया जा सकेगा । एक मल्टीकस्प टाइप H^- का विकास उच्च धारा H इंजेक्टर लिनेक हेतु किया गया । (चित्र-28)। विकसित मल्टीकस्प फिलामेंट आधारित H^- स्त्रोत का प्रचालन 50 keV 6 mAH^- धारा स्पंदित मोड 0.5 ms स्पंद अवधि के साथ व 2 Hz पुनरावृत्ति दर पर किया गया । एक प्रोटोटाइप उच्च परिशुद्ध एल्युमिना सिरेमिक कक्ष का टाइटेनियम End फ्लैंज के साथ डिज़ाइन एवं विकास किया गया है (चित्र-29) । थिन मेटेलिक कोटिंग के ऐसे चेम्बर की आवश्यकता इंजेक्शन किकर्स चुम्बकों के क्रम में तीव्र गति से परिवर्तित होते किकर क्षेत्र में परीरक्षण से बचने, भंवरधारा ताप को न्यूनतम करने व बीम प्रेरित प्रतिबिम्ब धारा को ले जाने के लिए होती है ।



चित्र-28 : फिलामेंट आधारित मल्टीकस्प H^- स्त्रोत ।

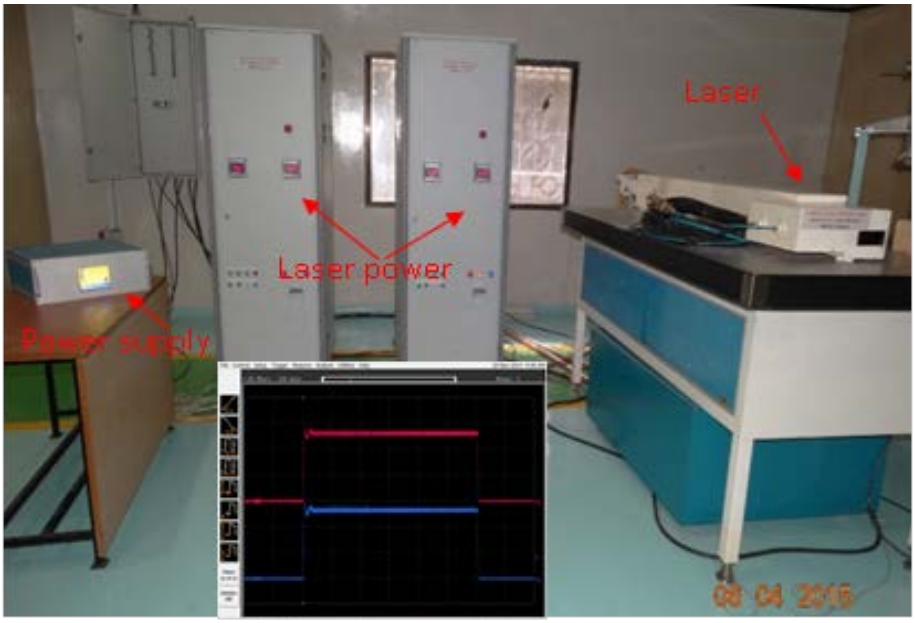


चित्र - 29 : इंजेक्शन किकर चुम्बक के लिए टाइटेनियम एंड फ्लैंज के साथ एल्यूमिना सिरेमिक चेम्बर ।

III. लेसर प्रौद्योगिकी

1. नायोबियम अतिचालक रेडियो आवृत्ति गुहिकाओं की वेल्डिंग के लिए 20 kW पीक पावर एनडी : याग लेसर का विकास-

4 mm तक की मोटाई की नायोबियम अतिचालक रेडियो आवृत्ति गुहिकाओं की लेसर वेल्डिंग (SCRF) हेतु एक 20 kW पीक पावर स्पंद प्रदान करने वाला फायबर कपल्ड स्पंदित एनडी:याग लेसर को विकसित किया गया है (चित्र - 30)। इस लेसर की स्पंद अवधि 2-60 ms एवं स्पंद पुनरावृत्ति दर 1 से 100 Hz तक परिवर्तित हो सकती है। यह लेसर औसतन 1 kW पावर प्रदान करता है। यह लेसर प्रणाली 600 माइक्रोन कोर व्यास के दो शेयर्ड फायबर ऑप्टिक पोर्ट्स से सुसज्जित है। एक नायोबियम SCRF गुहिकाओं की पूरी गहराई तक वेल्डिंग एवं दूसरी न्यूनतम ताप प्रभावित क्षेत्र विरूपण व सिकुड़न के साथ सतह के समतलीकरण एवं अच्छी गुणवत्ता से जोड़ों की वेल्डिंग के लिए यह लेसर 1 kW की औसत पावर देता है।



चित्र - 30 : अतिचालक रेडियो आवृत्ति गुहिकाओं की वेल्डिंग हेतु 20 kW पीक पावर एनडी:याग लेसर।

2. प्रोटोटाइप द्रुत प्रजनक रिएक्टर की किरणित ईंधन सब ऐसेम्बली के सुदूर विघटन हेतु स्पंदित एन-डी:याग लेसर का विकास

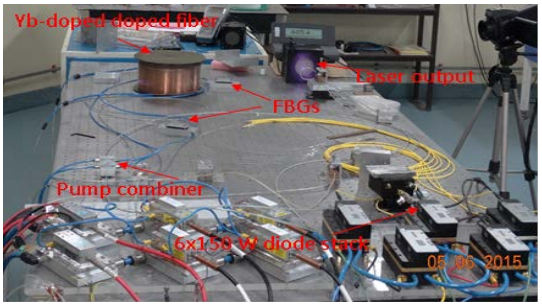
10 kW पीक पावर के ड्यूल पोर्ट फायबर ऑप्टिक बीम डिलिवरी वाले स्पंदित एनडी:याग लेसर का विकास किया गया (चित्र-31)। इस लेसर का उपयोग IGCARके हॉट सेल में प्रोटोटाइप द्रुत प्रजनक रिएक्टर के किरणित ईंधन सब ऐसेम्बली का सुदूर तकनीक से विघटन के लिए किया गया। यह लेसर आवधिक चलन में 2 से 40 ms की श्रेणी में स्पंद अवधि व 1 से 100 Hz में पुनरावृत्ति दर प्रदान करता है। लेसर प्रणाली के मानकों का इष्टमीकरण 3 मी.मी. मोटाई की हेक्सागोनल ईंधन ऐसेम्बलियों की फिसलन

व पायरोफोरिक सोडियम की लगभग 106 rad/hr विकिरण स्तर की उपस्थिति में कटिंग के लिए किया गया।

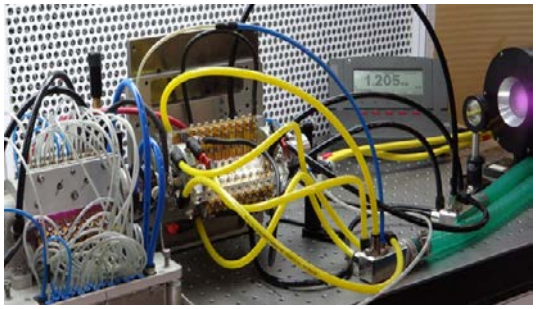
चित्र - 31 : IGCAR के लिए 10 kW पीक पावर फायबर युग्मिक स्पंदित एनडी:याग लेसर।

3. पदार्थ संसाधन अनुप्रयोग के लिए लेसर का विकास

एकल दोलित्र (Single Oscillator) का उपयोग करते हुए 400 W आऊटपुट पावर वाला Yb-doped CW फायबर लेसर विकसित किया गया है। (चित्र-32)। इस लेसर में 71% उच्च ऑप्टिकल से ऑप्टिकल रूपांतरण दक्षता हासिल की गई। 20 माइक्रोन कोर व्यास के Yb-doped फायबर उत्सर्जित लेसर उत्पादन लगभग गॉसियन बीम प्रोफाईल (M^2 ~1.04) था। 1 kW उत्पादन क्षमता के 1060 नेनोमीटर तरंगदैर्ध्य पर प्रचालित एक डायोड पम्प सतत् तरंग (CW) एनडी:याग लेसर को भी विकसित किया गया है (चित्र-33)। लेसर में डबल पम्प हेड रिजोनेटर का प्रयोग किया गया है व प्रत्येक पम्प हेड में 80 W पावर वाले 27 डायोड समायोजित है। इस लेसर के आऊटपुट को 400 माइक्रोन व्यास फायबर में युग्मित किया गया है। ये दोनों लेसर पदार्थ संसाधन अनुप्रयोग में बहुत उपयोगी हैं।



चित्र - 32 : 400 W आल फायबर Yb- डोप्ड CW फायबर लेसर।

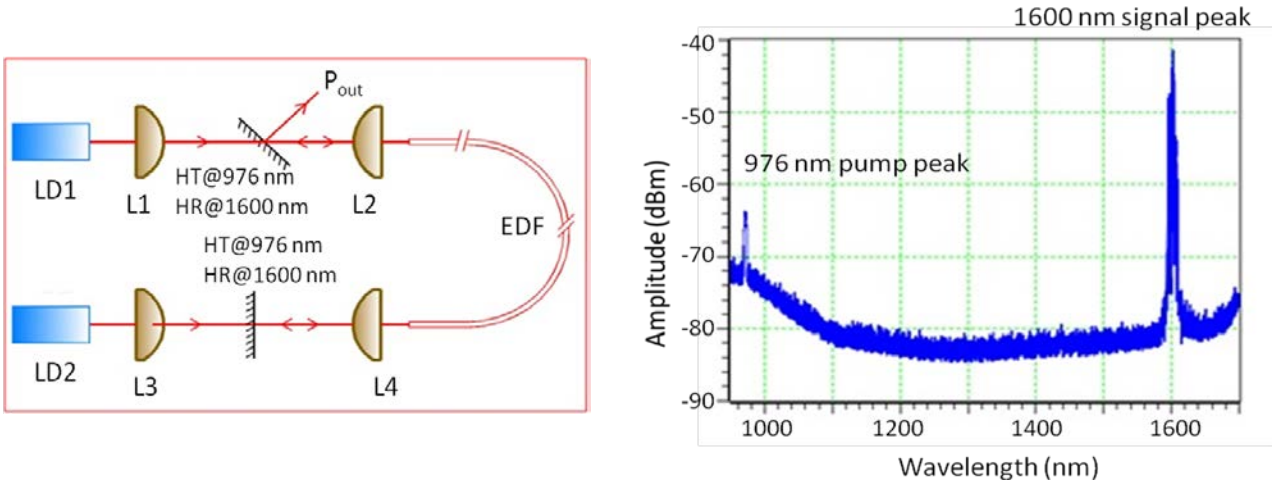


चित्र - 33 : 1 kW CW एन.डी. याग लेसर।

4. आई-सेफ रीजन में 25 W इरबियम डोप्ड फायबर लेसर का विकास-

आंखों के लिए सुरक्षित 1600 नेनोमीटर तरंगदैर्ध्य उत्सर्जन करने वाले Er doped फायबर लेसर को भी विकसित किया गया है। (चित्र-34) इस लेसर में लार्ज मोड Er-डोप्ड फायबर जिसको 976 नेनोमीटर डायोड लेसर से पम्प किया जाता है, का उपयोग होता है।

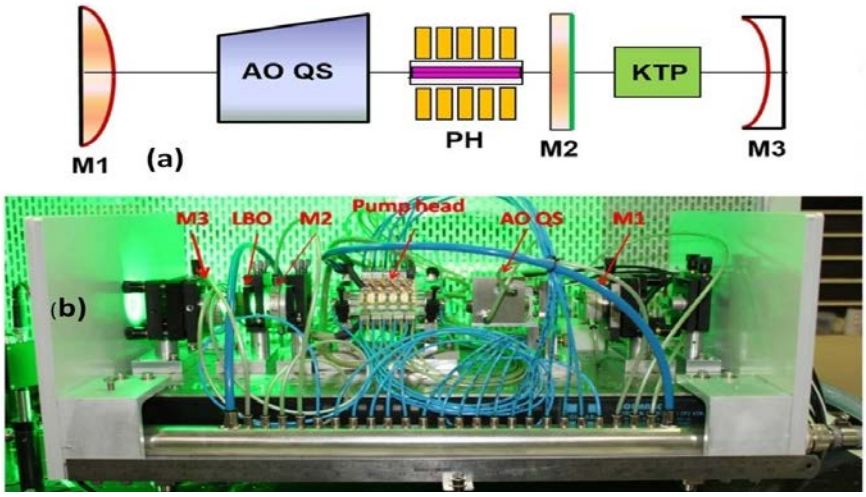
पम्प एवं लेसिंग वेवलेंथ के बीच बड़ी मात्रा में ~ 39% की क्वांटम त्रुटि के कारण फायबर के लिए एक वॉटर कूल्ड हीट सिंक की डिजाइन करने की जरूरत पड़ी जिससे लेसर का प्रचालन इतनी उच्च ऊर्जा पर किया जा सके।



चित्र - 34 : (a) 25 W Er- डोप्ड CW फायबर लेसर का (b) 1600 नेनोमीटर पर पीक आउटपुट शीर्ष पर स्पेक्ट्रम। लेसर आरेखित चित्र।

5. डायोड पम्पड ठोस अवस्था हरितलेसर (ग्रीन लेसर) के सुनियोजित मॉडल का विकास –

उपयोगकर्ता अनूकूल 532 नेनोमीटर पर प्रचालित डायोड पम्प्ड ठोस अवस्था हरित लेसर का एक सुनियोजित संस्करण भी विकसित किया गया है। (चित्र - 35)। यह लेसर 6.25 kHz पुनरावृत्ति दर पर 40 स्पंद नेनोसेकण्ड से कम अवधि पर 40 W की औसत ऊर्जा प्रदान करता है व इसकी नियंत्रण एवं संरक्षा विशिष्टताएं सुदूर (Remote) प्रचालन हेतु उपयुक्त है। इसे 15 घंटे तक लगातार प्रचालित किया गया। पल्स टाइमिंग जिटर व ग्रीन लेसर की पोइंटिंग बीम स्थायित्व का मापन कर उन्हें संतोषजनक पाया गया। दो DPSS ग्रीन लेसर के ऐसे सुनियोजित मॉडल BARC को दिए गए हैं, वहां उन्हें सफलतापूर्वक प्रतिस्थापित किया गया।



चित्र - 35 :(a) डायोड पम्पड ठोस अवस्था ग्रीन लेसर का आरेखीय चित्र (b)सुनियोजित मॉडल की आंतरिक संरचना।

6. वाइड एपरचर जिनॉन क्लोराइड (XeCl) एक्जाइमर लेसर का विकास -

308 नेनोमीटर तरंगदैर्ध्य पर 120 mJ ऊर्जा प्रदान करने वाले एक वाइड एपरचर XeCl एक्जाइमर लेसर का भी विकास किया गया है (चित्र-36) । इस लेसर गुहिका की डिज़ाइन उच्च बिन्दु स्थायित्व व अनुचित संरेखण (मिस एलाइंमेंट) में उच्च सहृता (High Tolerance) साथ किया गया । यह लेसर पदार्थ संसाधन अनुप्रयोग हेतु उपयुक्त है।

चित्र - 36 : वाइड एपरचर जिनॉन क्लोराइड एक्जाइमर लेसर।

7. स्वदेशी रूप से विकसित लेसर ग्लास का परीक्षण एवं गुणवत्ता नियंत्रण-

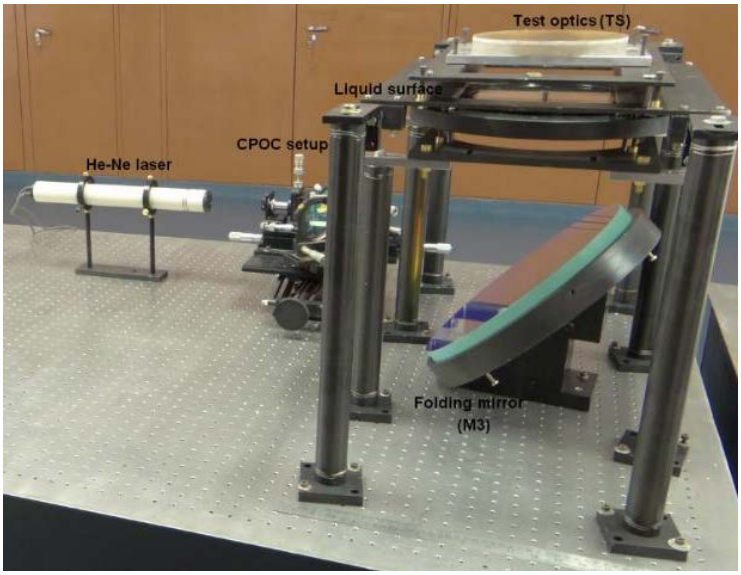
CGCRI कोलकात्ता के सहयोग से स्वदेशी रूप से विकसित एनडी-डोप्ड फॉस्फेट लेसर ग्लास का परीक्षण व गुणवत्ता नियंत्रण पेरामीटर्स एवं प्रक्रिया का विकास किया गया (चित्र-37) । आरआरकेट में ऐसी ग्लास छड़ों के कार्य निष्पादन का अध्ययन उच्च ऊर्जा लेसर चेन में उपयोग करके किया गया एवं इसकी गुणवत्ता अन्तर्राष्ट्रीय मानकों की पाया गयी । लेसर ग्लास छड़ों की गुणवत्ता नियंत्रण लेसर को अनेकों स्पेक्ट्रोस्कोपिक एवं भौतिक गुणधर्मों का मापन जैसे अपवर्तक इन्डेक्स, नॉन लिनियर अपवर्तक इन्डेक्स एवं

संख्या स्टीमुलेटेड इमीशन क्रास सेक्शन, फ्लूरोसेंस पीक, फ्लूरोसेंस लाइफ टाइम व 1053 नेनोमीटर व 3000 CM^2 पर एटेनुएशन का मापन करके किया गया। यह गुणवत्ता नियंत्रण प्रक्रिया निकट भविष्य में हमें लेसर ग्लास विनिर्माण प्रक्रिया प्रौद्योगिकी के बेच बाई बेच उत्पादन निष्पादन का अध्ययन करने का अवसर प्रदान करेगी।

चित्र - 37 : एक आदर्श ग्लास पट्टिका व 40 मी.मी. व्यास, 310 मी.मी. लम्बी एन डी ग्लास छड़ जो ऐसे ही लाक्षणिक पट्टिका से बनाई गई है।

8. वृहत आकार एन डी फॉस्फेट लेसर प्रवर्धक डिस्क के प्रकाशिक परीक्षण हेतु फीजो व्यतिकरण मापी (इन्टरफेरोमीटर) का विकास-

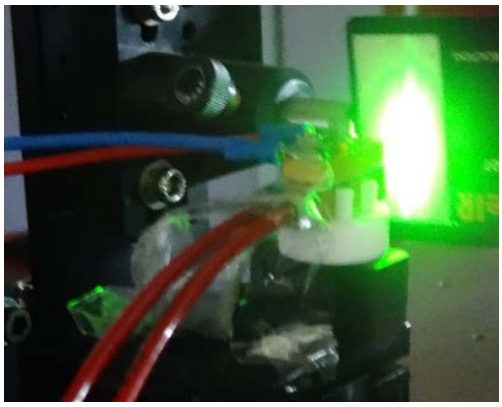
एक वृहत बीम व्यास (250 मी.मी.) फीजो व्यतिकरणमापी (इन्टरफेरोमीटर) का विकास पॉलिश किए गए वृहत प्रर्वधक डिस्क की पृष्ठीय गुणवत्ता के परीक्षण हेतु किया गया (चित्र-38)। द्रवित पेराफीन का उपयोग प्रकाशिक संदर्भ समतल सतह की तरह किया जाता है। इस व्यतिकरणमापी (इन्टरफेरोमीटर) का परीक्षण 633 नेनोमीटर पर $\lambda/6$ फ्लेटनेस के साथ 200 मी.मी. व्यास के पॉलिश किए गए प्रकाशिक खिड़की के पृष्ठीय फ्लेटनेस के लिए सफलतापूर्वक किया गया।



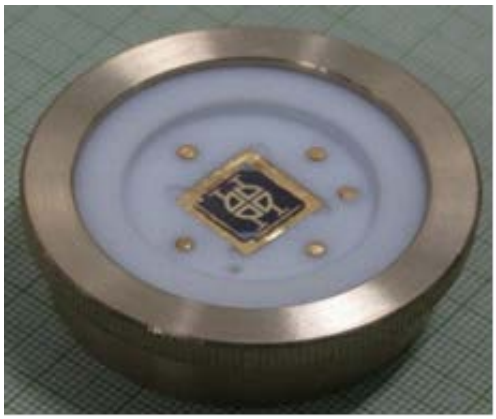
चित्र - 38 : वृहत व्यास प्रकाशिकी के परीक्षण हेतु विकसित किए गए फीजो इन्टरफेरोमीटर का एक हिस्सा।

9. अर्धचालक लेसर एवं संसूचकों का विकास -

GaAs व InP अर्धचालक आधारित फोटोनिक युक्तियों का विनिर्माण किया गया है । इनमें से कुछ है : लेसर डायोड एरेज (चित्र-39)। जो कि 980 नेनोमीटर पर 2.35 पीक पावर व 3W CW पावर देते हैं, 200 से 900 नेनोमीटर तरंगदैर्ध्य पर प्रचालित GaAs आधारित विकिरण ठोस (गामा किरण हेतु 100 kGy) क्वाडरेंट संसूचक जो 200 से 900 नेनोमीटर में कार्य करते हैं । (चित्र-40) व नूतन स्वर्ण / अर्धचालक हाइब्रिड के संसूचक की सर्कुलर ध्रुवीकरण की डिग्री व लेसर बीम की तीव्रता का मापन एक साथ कर सकते हैं ।



चित्र- 39 : डायोड अरे लेसर व प्रतिदीप्ति स्क्रीन पर उसकी किरण।

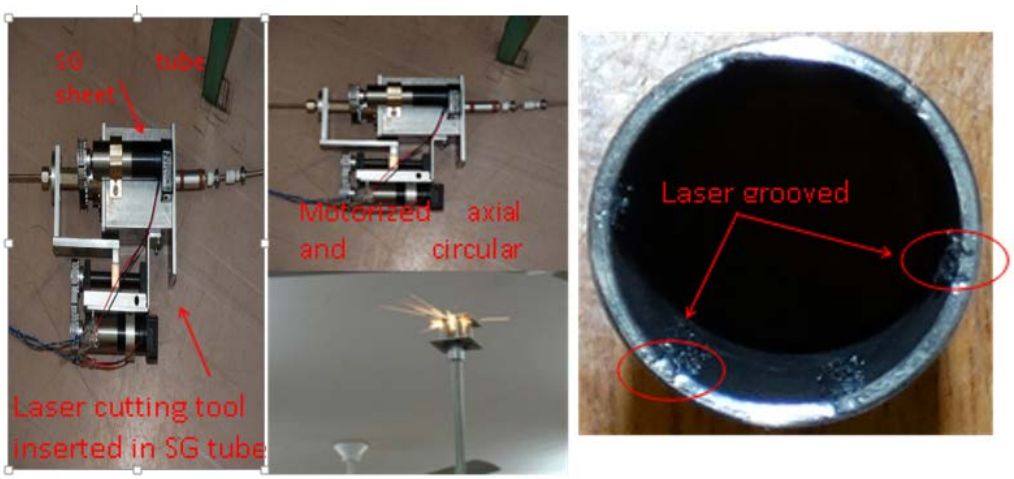


चित्र-40 : विकिरण ठोस आधारित GaAS क्वांड्रेंट संसूचक।

IV. लेसर अनुप्रयोग

1. कैगा बिजली उत्पादन केन्द्र -4 रिएक्टर के वाष्प जेनरेटर (SG) ट्यूब की अक्षीय एवं सर्कुलर कटिंग के लिए लेसर कटिंग टूल एवं तकनीक का विकास-

कुछ नाभिकीय संयंत्रों जैसे कैगा बिजली उत्पादन केन्द्र - 4 में वाष्प जेनरेटर ट्यूब की ट्यूब शीट में ओवर रोलिंग की समस्या थी । ऐसे मामलों में रिसाव वाली एस. जी. ट्यूब को यांत्रिक विधि से हटाने के लिए बहुत अधिक ताकत की आवश्यकता थी । रिएक्टर के ओवर रोल्ड वाष्प जेनरेटर ट्यूब की पुल आऊट शक्ति 2 टन से कम करने (पूर्व मे इसके लिए 5 टन पुल आऊट शक्ति की आवश्यकता होती थी) के लिए लेसर आधारित अक्षीय ग्रुविंग प्रौद्योगिकी का विकास किया गया है । (चित्र - 41) यह लेसर ग्रुविंग तकनीक कैगा-4 में अगले द्विवार्षिक शटडाउन के दौरान क्षरित एस जी ट्यूबों को निकालने के लिए प्रयोग में लायी जाएगी ।

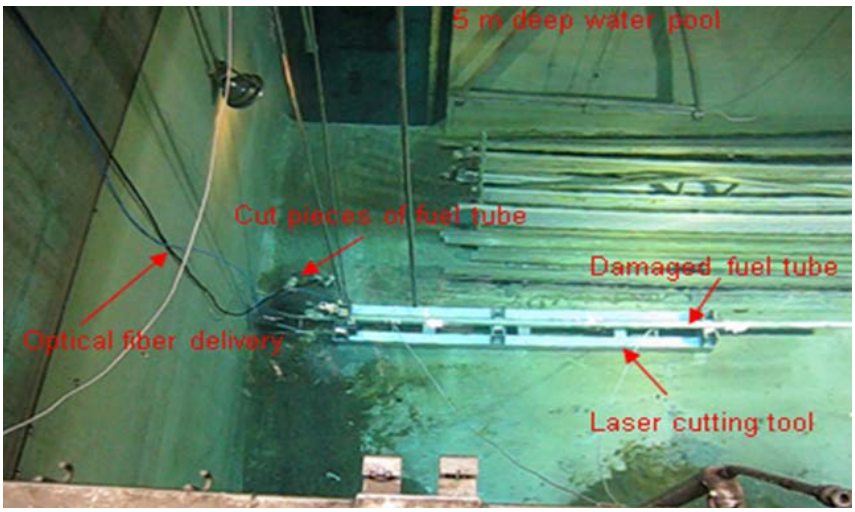


चित्र - 41 : जेनरेटर ट्यूब की लेसर कटिंग हेतु लेसर कटिंग मॉकअप फिक्सचर व एस.जी. ट्यूब की लेसर ग्रुव्ड सेम्पल ।

2. ध्रुव रिएक्टर की क्षतिग्रस्त एवं फ्लेयर्ड ऐसेम्बली की वॉटर जेट की सहायता से अन्तरजलीय लेसर कटिंग कार्य-

अति रेडियो सक्रियतावाली 12 भुक्तशेष ईंधन ऐसेम्बिलियों के क्षतिग्रस्त हिस्से की कटिंग हेतु घरेलू संसाधनों से निर्मित सुदूर प्रचालित वॉटर जेट वाली अन्तरजलीय लेसर कटिंग प्रौद्योगिकी विकसित कर प्रयोग में लाई गई है ।(चित्र -42) ।

कई एल्यूमीनियम की ईंधन ऐसेम्बली (2.5 मी.मी. मोटाई एवं ~ 4 मी. लम्बाई) ध्रुव रिएक्टर परिसर में भुक्तशेष ईंधन भंडारण तालाब के 5 मीटर गहरे पानी के तालाब के अंदर रखी थी । इसे बिना किसी एयरबोर्न गतिविधि के व बहुत मामूली विकिरण डोस ~ 600 mR के साथ पुर्नसंसाधन हेतु काटा गया ।

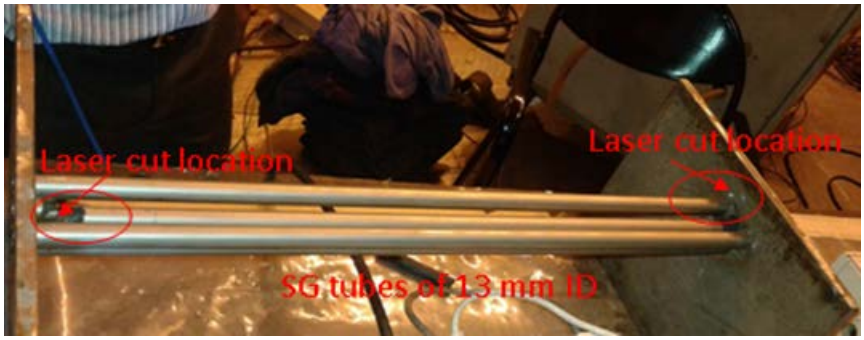


चित्र -42 : ध्रुव रिएक्टर परिसर में भुक्तशेष ईंधन भंडारण ताल में क्षतिग्रस्त ईंधन ट्यूब की अन्तरजलीय वाटर जेट की सहायता से लेसर कटिंग कार्य।

3. कुडनकुलम नाभिकीय ऊर्जा संयंत्र में SG ट्यूब की कटिंग-

कुडनकुलम नाभिकीय ऊर्जा संयंत्र यूनिट दो में कुछ वाष्प जेनरेटर ट्यूब में सूक्ष्म दरारें देखी गई थी व इसके लिए तीन वाष्प जेनरेटर ट्यूबों को रेडियोग्राफी व हाइड्रोटेस्ट हेतु कट किया जाना था । विद्युत संयंत्र रिएक्टर के KKNPP-2 के SG-2 स्थित ~ 300 मी.मी. लम्बाई की तीन वाष्प उत्पादन ट्यूब

की कटिंग हेतु एनडी:याग लेसर, लचीले फायबर प्रकाशिक बीम डिलिवरी व मिनिएचर कटिंग नोजल का विकास एवं स्थापना के साथ रिसाव के कारणों को समझने एवं भविष्य के संदर्भ (चित्र-43)। हेतु की गई है। यह कार्य स्थान की कमी की वजह से यांत्रिक विधि से संभव नहीं था।



चित्र - 43 : KKNPP-2 में मॉक अप परीक्षण के दौरान वाष्प जेनरेटर ट्यूब के लेसर कट स्थान का दृश्य।

4. KAPS रिएक्टर से Q-16 कूलैंट चैनल की स्वस्थान पर लेसर कटिंग-

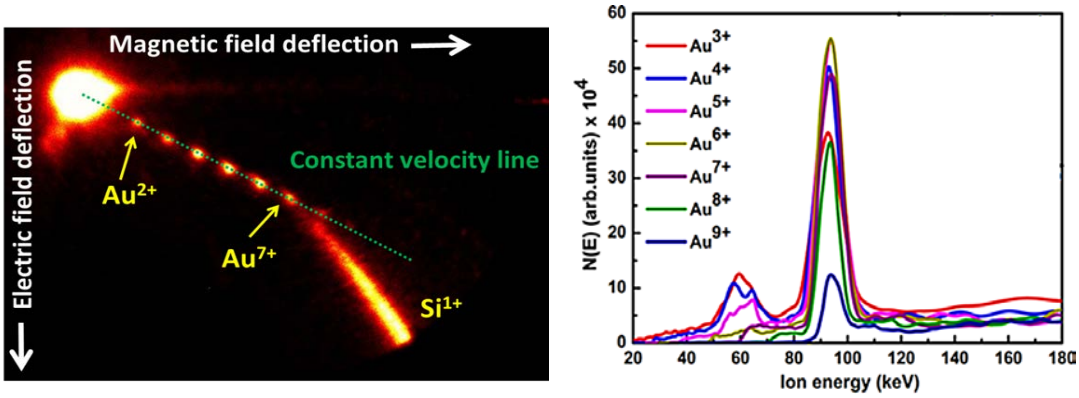
20 वर्षों के वाणिज्यिक प्रचालन के बाद KAPS-2 के Q-16 कूलैंट चैनल के प्रेशर ट्यूब के गोल जोड़ के हिस्से के पास एक सूक्ष्म दरार से भारी पानी के रिसाव का पता चला। रिएक्टर को पुन: प्रचालित करने एवं प्रेशर ट्यूब के पोस्ट किरणन परीक्षण के लिए इसे रिएक्टर कोर से निकालना आवश्यक था। इस कूलैंट चैनल को प्रयुक्तानूकूल लेसर कटिंग प्रणाली का उपयोग करते हुए सफलतापूर्वक निकाला गया (चित्र - 44) जो स्थान की कमी को देखते हुए यांत्रिक विधि से संभव नहीं था।

चित्र - 44 : प्रेशर ट्यूब स्टब के जलमग्न लेसर कटिंग हेतु औजार का चित्र (b) आउटबोर्ड End फिटिंग के बाद बेलो लिप का लेसर कटिंग मॉक अप।

5. क्वासी मोनो इनरजेटिक आयन त्वरक हेतु नूतन महीन फोईल टारगेट-

विशेष डिजाइन किए गए लक्ष्य के साथ तीव्र पारस्परिक क्रिया, अल्ट्राशॉर्ट लेसर स्पंद से आयन्स के क्वासी मोनो एनरजेटिक त्वरण का प्रदर्शन आरआरकेट में किया गया। (B) मल्टीस्केप फिलामेंट आधारित H^- स्त्रोत का स्पंद मोड़ में 0.5 ms स्पंद अवधि व 2 Hz पुनर्रावृत्ति दर पर परिचालन कर 50 KeV ऊर्जा पर 6 mA H^- आयन विद्युत धारा प्राप्त की गई। (C) यह लक्ष्य एल्यूमीनियम सिलिकॉन या माइलार सरफेस की सतह पर कुछ नेनोमीटर मोटाई की स्वर्ण परत व इसके ऊपर कुछ 10 एक नेनोमीटर मोटी कार्बन परत चढ़ा कर बनाए जाते हैं। एक 150 TW Ti:sapphire लेसर बीम को लक्ष्य पर $3X10^{19}$ W-cm^2 पीक तीव्रता से फोकस किया गया। स्वर्ण परतों के हाइड्रोडायनामिक विस्तार में कार्बन परतों की उपस्थिति से रूकावट हुई।

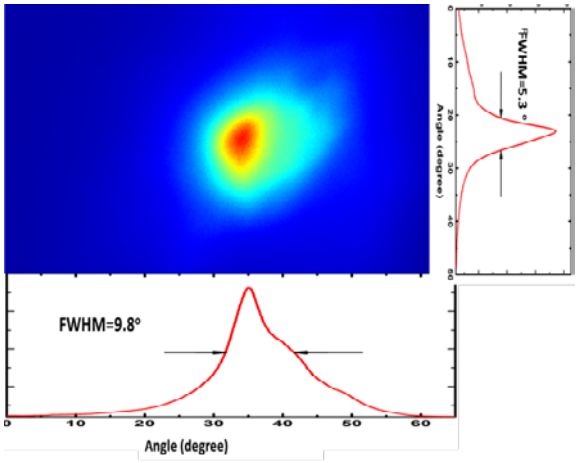
परिणामस्वरूप प्लाज्मा जनित विभिन्न आवेशित प्रजातियों के सभी स्वर्ण आयन्स का परिरोध एक नैरो एनर्जी रेंज में हुआ। उपरोक्त ज्यामिती के लिए कंप्यूटर सिमुलेशन ने भी प्रयोगों के परिणामों की पुष्टि कर दी है। चित्र - 45 a में अलग-अलग आवेश अवस्था के स्वर्ण आयनों के थॉमसन पेराबोला ट्रैक में दिखाए गए हैं जो सभी एक ही ऊर्जा के हैं। (चित्र-45 b)।



चित्र - 45 : (a) में भारी स्वर्ण (Au) आयन के थॉमसन पेराबोला ट्रैक दिखाए गए हैं जो अलग आवेशित स्तर पर, लेकिन परंतु समान ऊर्जा के हैं।(चित्र-45) (b)।

6. ग्रेजिंग इन्सीडेंस लेसर पर कॉलीमेटेड MeV तीव्र इलेक्ट्रॉन बीम - सॉलिड इन्टरेक्शन

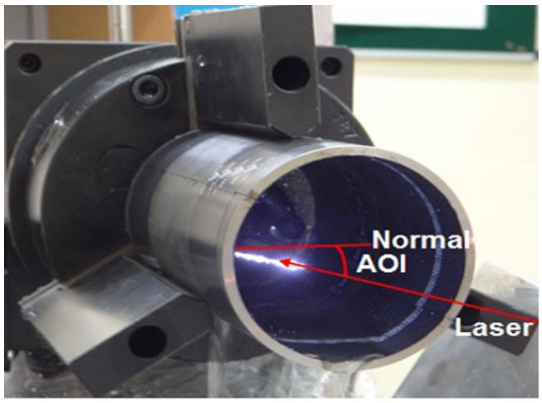
ग्रेजिग इन्सीडेंस पर लेसर ठोस पारस्परिक क्रिया द्वारा तीव्र इलेक्ट्रॉन के समांतरित बीम (Collimated Beam) को विकासित किया गया। इलेक्ट्रॉन बीम का (FWHM) क्षैतिज एवं उर्ध्वाधर दिशा में क्रमश: (चित्र-46) 9.8 व 5.3 डिग्री नापा गया। इलेक्ट्रॉन बीम की ऊर्जा 300 keV से 1 MeV के बीच थी।



चित्र -46 : हॉट इलेक्ट्रॉन बीम का एक स्थानिक प्रोफाइल।

7. नलीदार SS304L के लिए प्रतिबल संक्षारण दरारों के प्रतिरोध में सुधार हेतु तिर्यक लेसर पीनिंग तकनीक -

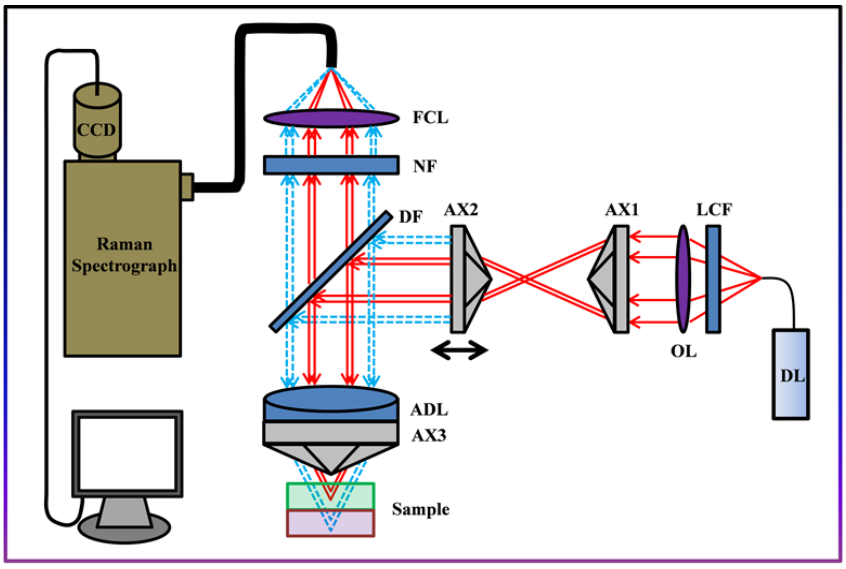
लेसर शॉक पीनिंग तकनीक का विकास प्रतिबल संक्षारण दरारों को रोकने हेतु किया गया । नलीदार SS304L घटकों के परिणाम दर्शाते हैं कि पीनिंग के बाद प्रतिबल संक्षारण दरारों से प्रभावित क्षेत्र 25 % की अपेक्षा 2 % से भी कम हो गया है ।



चित्र-47 : तिर्यक लेसर पीनिंग प्रणाली।

8. परतदार ऊतकों में गहराई संवेदी मापन हेतु कोन शैल (शंकु कवच) रमन स्पेक्ट्रमिकी-

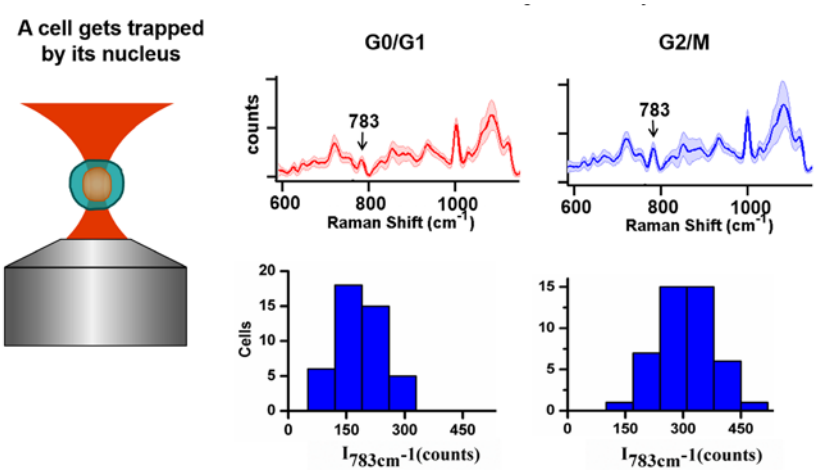
कोन शैल रमन स्पेक्ट्रमिकी तकनीक पर आधारित रमन स्पेक्ट्रमिकी प्रणाली का विकास परतदार जैविक ऊतकों को बिना छूए व गहराई संवेदी मापन हेतु किया गया । (चित्र - 42)। ऊतक परतों का सतह से ~ 2-3 मि.मी. नीचे स्थित रमन स्पेक्ट्रम रिकॉर्ड किया जा सकता है । इस प्रणाली की विशिष्टता यह है कि जांच की जाने वाली गहराई को सिर्फ एक्सिकोन के बीच की दूरी घटा बढ़ाकर बदला जा सकता है । सेम्पल आर्म में समयोजन की कोई आवश्यकता नहीं है जिसका नॉनकोनटेक्ट गहराई संवेदी मापन में बहुत फायदा है । CSRS कार्य निष्पादन प्रणाली का मूल्यांकन पेराफिन के परतदार अजैविक फैंटम, एसीटामीनोफेन व 2.5 मी.मी. मोटाई के शीर्ष ऊतक वाले चिकन टिबिया के गहराई संवेदी रमन स्पेक्ट्रा के मापन से किया गया । परिणाम CSRS प्रणाली की उस योग्यता को प्रदर्शित करते हैं जिसमें सतह से ~2-3 मी.मी.नीचे गहराई स्थित परतों से रमन स्पेक्ट्रम प्राप्त होता है । (चित्र - 48)।



चित्र- 48 : कोन शैल रमन स्पेक्ट्रमिकी प्रणाली के लिए प्रायोगिक व्यवस्था।

9. कोशिका चक्र विश्लेषण हेतु रमन प्रकाशिक ट्विज़र-

लेबल फ्री कोशिका चक्र विश्लेषण हेतु रमन प्रकाशिक ट्विज़र की उपयोगिता का प्रदर्शन मानव कोलोन की कैंसर कोशिका (Colo-205) चक्र के विभिन्न स्तरों पर किया गया। यह विश्लेषण दिखाता है कि 738 cm^{-1} DNA रमन बेंड, DNA विषय संबंधी जानकारी उपलब्ध करा सकता है (चित्र-49)। इसकी महत्वपूर्ण प्रेरणा का लाभ निलंबन में प्रवाहित कोशिकाओं का लेबल फ्री विश्लेषण के बाद भी कार्यात्मक रूप से सक्रिय होने से ले सकते हैं। G0/G1 एवं G2/M सिंक्रोनाईज़ ऑप्टिकली ट्रेप्ड Colo-205 सेल का रमन स्पेक्ट्रा यह प्रदर्शित करता है कि 738 cm^{-1} पर DNA रमन बैंड ऑप्टिकली ट्रेप्ड रमन स्पेक्ट्रा में DNA विषय की सूचना सेल के नाभिक में बिना नाभिक को अलग किए उपलब्ध करा सकता है व इस प्रकार इसे DNA के लेबल फ्री इंडिकेटर के रूप में स्वीकार किया जा सकता है। इस अध्ययन के परिणाम लेबल फ्री-सेल सायकल विश्लेषण हेतु रमन ऑप्टिकल ट्विज़र की उपयोगिता को दर्शाते हैं।

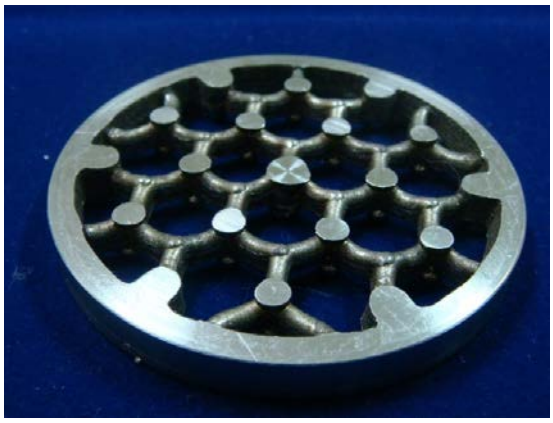


चित्र- 49 : प्रकाशिक ट्रेप्ड सेल का सेल चक्र के विभिन्न स्तरों पर रमन स्पेक्ट्रा।

10. लेसर योज्य नाभिकीय घटकों का निर्माण-

लेसर योज्य निर्माण प्रणाली, जिसमें 2 kW फायबर लेसर ट्विन पावडर फीडर व 5 Axis CNC वर्कस्टेशन का समावेश है, का उपयोग नाभिकीय घटकों के निर्माण हेतु किया गया है जो पाम्परिक विधि द्वारा नहीं किया जा सकता है । एक ऐसी संरचना SS304L से हनीकूंब टाइप ऑरीफिस (चित्र-50) है । इसकी आवश्यकता प्रोटोटाइप द्रुत प्रजनक रिएक्टर में बनी द्रव सोडियम के पावर लेवल अनुसार विखंडन ताप को हटाने के लिए आवश्यक प्रवाह संतुलन के लिए होती है । हनीकूंब ज्यामिती ऑरीफिस एक ऐसी स्थाई प्रेशर ड्रॉपिंग डिवाइस है जिसका उपयोग पीएफबीआर कोर उप प्रणालियों के आधार में किया जाता है । इसकी जटिल संरचना अनेकों हब्स एवं रिब्स के जुड़ने से बनती है । पारंपरिक परिशुद्ध विधि से निर्मित ऑरीफिस से सीमित सफलता प्राप्त हुई है । इसलिए इन ऑरीफिस को एल.ए.एम. द्वारा बनाया गया । (चित्र-51) में विनिर्मित संरचना को दर्शाता है । मापन मूल्यांकन के बाद इन ऑरीफिस को अगले परीक्षण हेतु इंदिरा गांधी परमाणु ऊर्जा अनुसंधान संस्थान को प्रदान कर दिया गया है ।

चित्र - 50 : लेसर योज्य निर्माण प्रक्रिया (LAM) ।

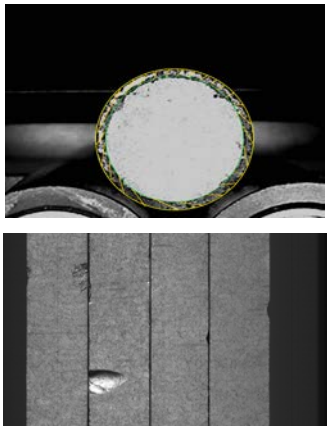


चित्र - 51 : LAM द्वारा निर्मित इस्पात की ऑरीफिस प्लेट द्रुत प्रजनक रिएक्टर हेतु ।

11. प्रोटोटाइप नाभिकीय ईंधन पैलेट निरीक्षण प्रणाली-

दाबित भारी पानी रिएक्टर में प्रयुक्त ईंधन पैलेट की गुणवत्ता आश्वस्त करने हेतु प्रोटोटाइप मशीन विजन आधारित कंम्प्यूटराज्ड निरीक्षण प्रणाली की डिजाइन एवं विकास किया गया है । (चित्र-52) इस प्रणाली द्वारा तीन सेकेण्ड में आठ पैलेट की बेलनाकार सतह का व प्रत्येक के end फेस का 400 m sec में निरीक्षण किया जा सकता है । यह प्रणाली विभिन्न सतही त्रुटियों जैसे गड्ढे, चिप्स, दरारों (चित्र-53) का पता लगाने व उनका वर्गीकरण करने में सक्षम है । इस तकनीक को न्यूक्लियर फ्यूल कॉम्पलेक्स द्वारा क्वालिफाय कर दिया है । पैलेट हस्तन क्रिया विधि न्यूक्लियर फ्यूल कॉम्पलेक्स द्वारा विकसित की जा रही है ।

चित्र- 52 : ईंधन पैलेट के निरीक्षण हेतु लाइन कैमरा प्रणाली ।

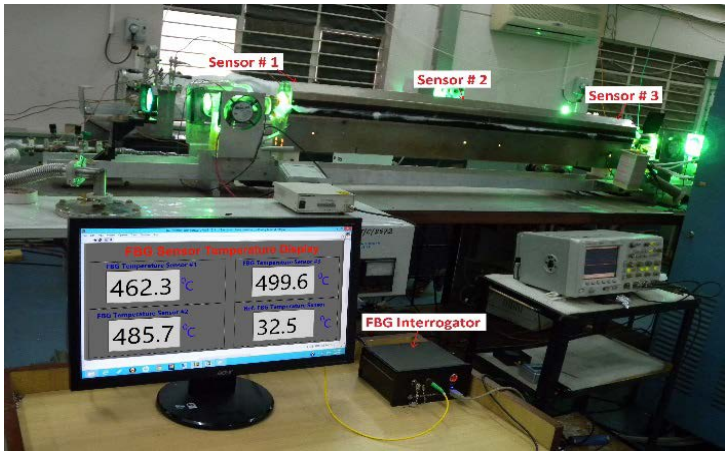


चित्र- 53: चिप त्रुटियों के साथ ईंधन पैलेट का चित्र ।

ऊपर- एक पैलेट का End cap चित्र ।
नीचे- चार पैलेट की बेलनाकार सतह ।

12. फायबर ब्रेग ग्रेटिंग आधारित वितरित तापमान संवेदक -

घरेलू संसाधनों से निर्मित एक ताम्र वाष्प लेसर आधारित फायबर ब्रेग ग्रेटिंग (FBG) इन्सक्रिप्शन व्यवस्था (चित्र-54) का उपयोग सिंगल फायबर में चार FBG के साथ वितरित तापमान संवेदकों के निर्माण में 500°C तापमान के मापन हेतु किया गया है ।

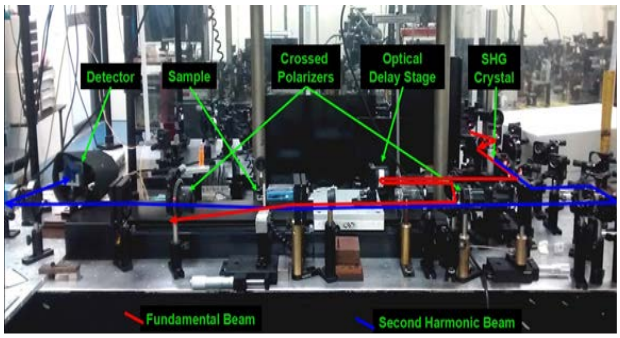


चित्र - 54 : फायबर ब्रेग ग्रेटिंग व्यवस्था।

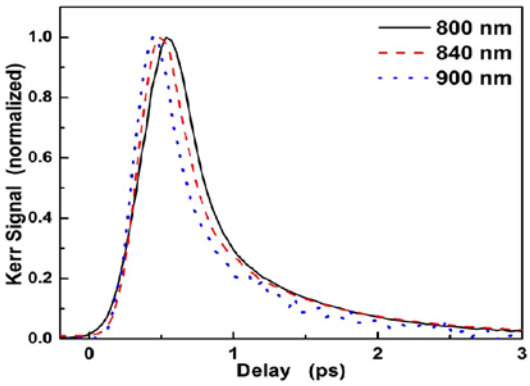
13. द्विरंगीय फेम्टो सेकेण्ड आप्टिकल कॅर गेट-

द्विरंगीय फेम्टो सेकेण्ड ऑप्टिकल Kerr गेट प्रणाली का विकास किया गया है (चित्र-55) जिसका उपयोग नॉन डिजेनेरेट कॅर नॉन लिनियरिटी के साथ-साथ पदार्थ की क्षणिक संदीप्ति व प्रकाश संदीप्ति का सब पीको सेकण्ड मापन अल्ट्राफास्ट ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक डिवाइस के लिए किया जा सकता है । नॉन लिनियर पदार्थ ~100 फम्टोसेकण्ड लेसर पम्प पल्स द्वारा गेटेड व इसके द्वितीयक हारमोनिक द्वारा प्रोब की गई है । इस तकनीक से लेसर द्वारा नियत ट्विनेबिलिटी (वर्तमान में 690-1040 nm) तरंगदैर्ध्य विस्तार में पदार्थ की कॅर

नॉन लिनियरिटी का परिमाण, उत्थान समय व अपक्षय समय का मापन किया जा सकता है। CS_2 के साथ जो की एक नॉन लिनियर पदार्थ है, का न्यूनतम गेटिंग समय 350 fs प्राप्त किया गया(चित्र-56) ।



चित्र - 55 : फेम्टो सेकण्ड टूकलर Kerr गेट व्यवस्था



चित्र-56 : विभिन्न पम्प तरंगदैर्ध्य CS_2 कॅर संकेत कद्वारा बढ़ती हुई तरंगदैर्ध्य के साथ गेट में कमी को दर्शाता चित्र।

14. लेसर आधारित सिलिका फायबर ड्राइंग प्रणाली का विकास एवं धातु के माइक्रोमशीनिंग हेतु लेसर आधरित प्रणाली

फ्यूज़ सिलिका फायबर बनाने की एक प्रणाली का विकास किया गया (चित्र-57) जिससे बने फायबर का उपयोग उच्च विभेदन विस्थापन इंटरफेरोमीटर में प्रकाशिक घटकों को ग्राउण्ड नॉइज से विलग करने के लिए किया जा सकता है। इस प्रणाली में 50 वॉट सीलबंद कार्बन डाय ऑक्साइड लेसर व डायमण्ड से बने एक्सिकोन ऑप्टिक्स में संतुलित ताप "प्रीफॉर्म" फ्यूज्ड सिलीका छड़ एवं सर्वोचालित पूलिंग कार्यविधि द्वारा प्रीफॉर्म छड़ को 600 माइक्रोन व्यास फायबर में खींचने हेतु उपयोग किया जाता है। सर्वो नियंत्रण प्रणाली का विकास किया गया है। जिससे लेसर पावर प्रीफॉर्म फीड दर एवं निर्दिष्ट व्यास में पुलिंग दर को बनाए रखना, यह सब एक साथ हो सकता है। इंटिग्रेटेड प्रणाली की जांच एवं परीक्षण को पूरा कर लिया गया है। फायबर लेसर आधारित प्रणाली की डिजाइन एवं विकास (चित्र-58) धातुओं की माइक्रोमशीनिंग हेतु किया गया है। इस विकसित की गई प्रणाली में 50 माइक्रोन न्यूनतम चिन्ह के साथ 100 मी.मी. व्यास का माइक्रोमशीनिंग क्षेत्र शामिल है। इस प्रणाली का विकास प्रेसीजन इंजीनियरिंग प्रभाग, बी.ए.आर.सी. की आवश्यकतानुसार धातु में सूक्ष्म मशीनिंग विशेषताओं व मेटल फोईल की सूक्ष्म संरचना के लिए किया गया।

चित्र-57 : लेसर आधारित फायबर ड्राइंग प्रणाली।

चित्र-58 : विकसित फायबर लेसर माइक्रो मशीनिंग का चित्र।

15. लेसर कूल्ड ^{87}Rb अणु के लिए चतुर्ध्रुव की आर एफ ट्रेसिंग द्वारा टोरोइडल ट्रेप का विकास

लेसर कूल्ड ^{87}Rb अणु के लिए टोरोइडल ज्यामिती में ट्रेपिंग का प्रदर्शन चतुर्ध्रुव पर एक शक्तिशाली रेडियो आवृत्ति क्षेत्र के अधिस्थापन से बनी आरएफ ड्रेस्ड चतुर्ध्रुव मेगनेट ट्रेप का प्रयोग करते हुए किया गया है। इस आर एफ ड्रेस्ड का न्यूनतम विभव चतुर्ध्रव ट्रेप के केन्द्र के कुछ दूर एक वृत में होता है जिससे टोरोइडल ज्यामिति में ट्रेपिंग सुगम हो जाती है। कोल्ड एटम ट्रेपिंग की टोरोइडल ज्यामिति में कोहेरेन्स सुपर फ्लूइडिटी जोसेफसन ओसिलेशन अणु गायरोस्कोप रियलाइजेशल के अध्ययन में बहुत से अनुप्रयोग हैं। इन प्रयोगों का निष्पादन डबल मेगनेटो ऑप्टिकल ट्रेप प्रणाली का उपयोग करके किया गया। द्वितीय MOT कोल्ड एटम को आरएफ ड्रेस्ड टोरोइडल ट्रेप में उचित आवृत्ति एवं पावर के आरएफ फील्ड का प्रयोग करते हुए लोड किया गया। टोरोइडल ट्रेप में ट्रेप किए गए अणुओं की संख्या ~$1.3X10^5$ व तापमान ~ 40 μK था।

V. पदार्थ विज्ञान-

1. लेसर एवं संबंधित अनुप्रयोगों हेतु क्रिस्टल वर्धन एवं अभिलक्षणन-

विभिन्न फोटोनिक अनुप्रयोगों हेतु अलग-अलग तकनीकों द्वारा अनेक उच्च गुणवत्ता वाले क्रिस्टलों का उत्पादन किया गया है। इनमें लेसर हेतु Er व Cr को डोप्ड YVO_4 ,पायरोइलेक्ट्रिक अवरक्त संवेदकों हेतु Cr- **डोप्ड स्ट्रांशियम बेरियम नायोबेट (SBN)** क्रिस्टल व प्रस्फुरण (Scintillation) संसूचकों (चित्र-59)के लिए ट्रांस स्टीलबिन सम्मिलित है। Er $^{3+}$ doped Yttrium ortho-vanadate YVO_4 ~1.55 व 2.9 μm पर दो महत्वपूर्ण लेसर उत्पादित करता है जो कमश: उच्च गति ऑप्टिकल संचार व गैस सेसिंग अनुप्रयोगों हेतु उपयोगी है। Yb मदद के साथ को-डोपिंग Er $^{3+}$ के उच्चतर चरण में दक्ष पोपुलेशन सृर्जन में सहायक है। Yb-Cr-को डोप्ड YVO_4 का इस्तेमाल सेल्फ क्यू स्विच्ड लेसर गेन मीडियम की तरह किया जा सकता है। स्ट्रांशियम बेरियम नायोबेट (SBN) क्रिस्टल का वर्धन विभिन्न डोपेन्डस के साथ उनके पायरोइलेक्ट्रिकल गुणधर्मों के इष्टतमीकरण हेतु किया गया गया है। पायरोइलेक्ट्रिक अवरक्त सेंसर का निर्माण उत्पादित SBN क्रिस्टल व परीक्षण 1064 नेनोमीटर 7ns Nd:Yag स्पंद लेसर को मापने में किया गया। ट्रांसस्टिलबिन एक जैविक सेंटिलेटर पदार्थ है जो विशेष तौर से रेडियोसक्रिय पदार्थ से गामा विकिरण पृष्ठ भूमि की उपस्थिति में तीव्र न्यूट्रॉनों का पता लगाने में उपयोगी है। tSB क्रिस्टल की प्लेटलेट्स का उत्पादन निम्न तापमान विलियन वृद्धि द्वारा एक नये विलायक एसीटोन में किया गया।

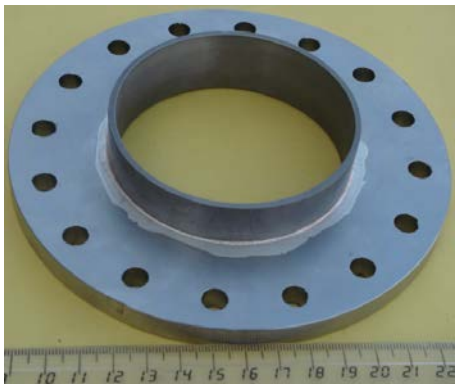
चित्र - 59 : विभिन्न तकनीकों का इस्तेमाल कर कुछ उच्च प्रकाशिक गुणवत्ता वाले क्रिस्टलों के वर्धन संबंधी चित्र। (a) Cr-Co-doped YVO_4 (b) $Sr_{0.61}.Ba_{0.39}Nb_20_6$ (SBN), (c) ट्रांस स्टीलबिन।

2. अतिचालक आरएफ गुहिकाओं के लिए नायोबियम 316 एल इस्पात ब्रेज्ड ट्रांजिशन ज्वॉइंट्स उत्पादन व इलेक्ट्रोप्लेटिंग रहित कॉपर 316 एल इस्पात ब्रेज्ड ट्रांजिशन ज्वॉइंट्स प्रौद्योगिकी का विकास

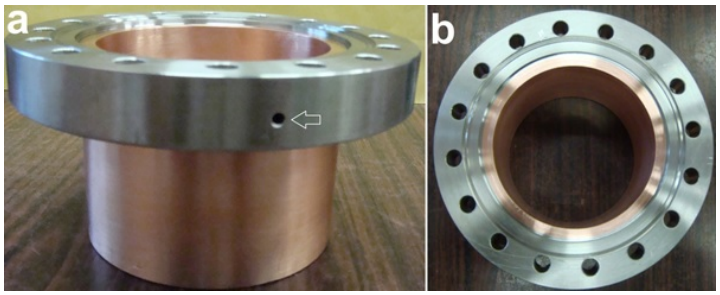
एक विश्वसनीय Nb-316L इस्पात ट्रांजिशन ज्वांट्स का विकास कण त्वरकों के अतिचालक रेडियो आवृत्ति गुहिकाओं के लिए ऑस्टेनिटिक एस.एस. हीलियम वेसल के क्षेत्र में एक महत्वपूर्ण कदम है। एक स्वदेशी प्रक्रिया का विकास एनबी पाइप/316 एल इस्पात फ्लैंज जोड़ों के उत्पादन हेतु एक स्वदेशी प्रक्रिया का विकास किया गया है। जो निम्न बीटा एससीआरएफ गुहिकाओं हेतु उपयुक्त है। (चित्र-60)। इस नई प्रक्रिया की कुछ विशेषताएं इस प्रकार है-

(1) ब्रीटल इन्टर मेटालिक्स से मुक्त (2) समान एवं नियंत्रित ब्रेज्ड गेप (3)ब्रेज्ड फीलर धातु का प्रभावशाली उपयोग (4) सुगम प्री-ब्रेज फिटिंग प्रक्रिया (5)पर्यावरण हितैषी सफाई प्रक्रिया (6)प्री-बेज ऐसेम्बली के लिए आसान भंडारण

पूरे विश्व में कण त्वरकों के क्षेत्र में OFE कॉपर 316 एल इस्पात ट्रांजिशन ज्वॉइंट्स का अनुप्रयोग बहुत ही व्यापक है। इस ट्रांजिशन ज्वाइंट्स की निर्वात ब्रेजिंग के परंपरागत तरीके में Ni व Cu के साथ एस.एस. पार्ट की इलेक्ट्रोप्लेटिंग शामिल है। इस संदर्भ में त्रुटि रहित ब्रेज्ड Cu 316 L ट्रांजिशन ज्वाइंट्स को बिना इलेक्ट्रोप्लेटिंग के लिए तैयार किया गया। (चित्र-61)। ऐसे ट्रांजिशन ज्वाइंट्स का बहुत से कण त्वरक घटकों जैसे लिनियर त्वरक की रेडियो आवृत्ति, रेडियो आवृत्ति चतुर्ध्रुव, हाई ब्रीलियंस मशीनों हेतु चेम्बर्स फोटोन अवशोषक, निवेशन युक्तियों हेतु प्रोफाईल ट्रांजिशन, पिन हॉल ऐसेम्बली इत्यादि में व्यापक अनुप्रयोग हैं।



चित्र-60 : एनडी पाइप एवं इस्पात फ्लैंज ज्वान्ट्स।



चित्र-61 : OFE कॉपर व प्लेटरहित 316 L एस.एस. के बीच निर्वात बेज्ड पोर्ट ज्वाइन्ट का साइड एवं ऊपरी दृश्य।

3. पदार्थ के चुम्बकीय, इलेक्ट्रॉन परिवहन, तापीय, विद्युत व यांत्रिक गुणधर्मों सम्भाव्य प्रौद्योगिक अनुप्रयोगों पर अन्वेषण

आरआरकेट में प्रौद्योगिकीय उपयोग के विभिन्न पदार्थों पर सिंक्रोट्रोन विकिरण स्त्रोत, लेसर व अन्य परिष्कृत उपकरणों द्वारा मूलभूत अनुसंधान किया जा रहा है। इसमें जी.डी. डोप्ड लेड मैग्नीशियम नायोबेट (PMN) का सेचुरेशन मगनेटाइजेशन का अध्ययन, माइक्रोरमन प्रक्रिरण द्वारा कैल्शियम फेरोइलेक्ट्रिक सिरेमिक का संरचनात्मक फेज ट्रांजिशन अध्ययन, एमोर्फस स्वर्ण (gold) प्लेटिनम डिवाइस संरचना में इलेक्ट्रिक फील्ड कंट्रोल्ड रिप्रड्यूसेबल नॉन वॉलाइटल यूनिपोलर प्रतिरोधी ममोरी स्विचिंग का प्रदर्शन, पोलर सेमीकन्डक्टर हीटेरोस्ट्रक्चर पर कमजोर स्थिति में दो विमीय इलेक्ट्रॉन गैस के परिरोधन का परिवेक्षण, परमाणु लेयर डिपोजिशन द्वारा निर्मित (Zn, Al)O_X ओ एक्स थिन फिल्म में फेस कोहरन्ट इलेक्ट्रॉन परिवहन, टर्नरी उच्च डाय इलेक्ट्रिक में उच्च दाब एंगल परिक्षेपी एक्सरे विवर्तन का प्रयोग करते हुए मेमोरी अनुप्रयोग हेतु स्ट्रक्चरल फेज अध्ययन, अतिचालक एलोय का संशलेषण एवं उनके चुम्बकीय एवं तापीय गुणधर्मों का अध्ययन सम्मिलित है।

अतिचालकों की प्रौद्योगिकीय उपयोगिता का मूल्यांकन करने हेतु यांत्रिक गुणधर्मों की जानकारी बहुत महत्वपूर्ण है। रिजानेंट अल्ट्रास्कोपिक तकनीक पर आधारित एक प्रायोगिक सुविधा (चित्र-62) डिजाइन एवं विकास पदार्थों के (2-300 K) के तापमान व चुम्बकीय क्षेत्र (70 kOe) पर निर्भर इलास्टिक स्थिरांक मापन

हेतु किया गया । इनका उपयोग Mo-Re एलोय के आंतरिक गुणधर्मों के अध्ययन में किया जा रहा है, जो त्वरक प्रौद्योगिकी में नायोबियम का विकल्प पदार्थ है ।

चित्र-62 : निम्न तापमान (2-300K) व उच्च मेगनेटिक फील्ड (70 kOe) पर इलास्टिक स्थिर पदार्थ के मापन की रिजोनेंट पराध्वनि स्पेक्ट्रोस्कोपी की प्रायोगिक सुविधा ।

VI. अंतर्राष्ट्रीय सहयोग-

1. परमाणु ऊर्जा विभाग सर्न के सहयोग के तहत् 20 kW, 499.75 MHz स्पंदित ठोस अवस्था शक्ति वाले प्रवर्धक का विकास -

20 kW स्पंदित ठोस अवस्था प्रवर्धक व उसके 5 kW प्रोटोटाइप प्रवर्धक प्रणाली की डिजाइन व निर्माण सी.एल.आई.सी., सर्न, जेनेवा के लिए किया गया (चित्र-63) । पहले प्रोटोटाइप प्रवर्धक को कार्य निष्पादन, मूल्यांकन के लिए सर्न जेनेवा भेजा गया । जिसके बाद 20 kW प्रवर्धक का निर्माण किया गया । इस 20 kW प्रवर्धक का पूर्ण रूप से परीक्षण 200 घंटे से अधिक ऊष्माचालित करके किया गया और इसे अब सर्न, जेनेवा भेज दिया गया है ।

2. भारतीय संस्थान - फर्मी प्रयोगशाला सहयोग के तहत् 30 kW 650 MHz ठोस अवस्था आर एफ प्रवर्धक का विकास-

अंतर्राष्ट्रीय सहयोग कार्यक्रम के लिए 650 MHz पर एक 350 kW ठोस अवस्था प्रवर्धक की डिजाइन एवं निर्माण भारतीय संस्थान- फर्मी लेब सहयोग (IIFC) के तहत् किया गया (चित्र-64)। इस डिजाइन में 40 अदद 500 वॉट के आरएफ प्रवर्धक मॉड्यूल को 40 WAY पावर डिवाइडर, कम्बाइनर तथा उच्च ऊर्जा डारेक्शनल कपलर के साथ जोड़कर 15 kW पावर प्राप्ति की गई । ऐसे 15 kW आरएफ प्रवर्धकों की आऊटपुट पावर रेक को 2 WAY पावर कम्बाइनर का प्रयोग करते हुए 30 kW आरएफ पावर प्राप्ति हेतु जोड़ा जाता है । 30 kW आरएफ पावर का परीक्षण 50 ओह्मस मानक जल कूल्ड आरएफ 5 मी. लोड के साथ किया गया ।

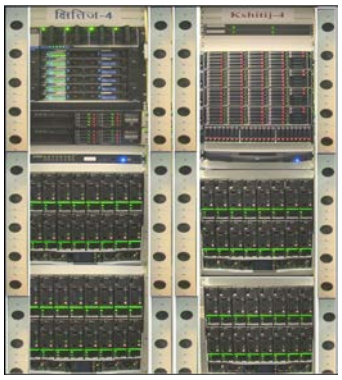
चित्र- 63 : CERN CLIC सुचिधा के लिए विकसित 20 kW - 499.75 MHz ठोस अवस्था प्रवर्धक

चित्र- 64 : भारतीय संस्थान फर्मीलेब सहयोग के तहत् विकसित 30 kW-650 MHz ठोस अवस्था प्रवधर्क।

VII. आधारभूत सुविधाएं

1. कंप्यूटिंग आधारभूत सुविधाएं -

आरआरकेट के वैज्ञानिकों एवं इंजीनियरों हेतु समग्र कंप्यूटिंग पावर की उपलब्धता उच्च कार्य निष्पादन कंप्यूटिंग क्लस्टर क्षितिज-4 समाकलन के साथ 43.08 टेराफ्लाप है। आरआरकेट सिक्योर क्लाउड ड्राइव के लिए साफ्टवेयर को भी विकसित, स्थापित कर वरिष्ठ अधिकारियों को उपलब्ध कराया गया है। (चित्र-65)। इस सुविधा से इन्टरनेट पर बड़ी फाइलों को आवश्यक डेटा सुरक्षा के साथ प्राप्त कर सकते हैं। इण्डस अपग्रेडेशन/कार्यविधि/शटडाउन से संबंधित गतिविधियों के प्रबंधन हेतु वर्कफ्लो आधारित सॉफ्टवेयर का विकास एवं स्थापना आरआरकेट इन्फोनेट पर इनके उपयोग हेतु की गई है जो इण्डस प्रचालन एवं अनुरक्षण का कार्य करते हैं। इलेक्ट्रिक फेंस के लिए एक वेब आधारित MIMIC पेनल का विकास एवं स्थापना त्रुटि की स्थिति का ग्राफिकल रिप्रेजेंटेशन द्वारा पता लगाने हेतु की गई।



चित्र-65 : आरआरकेट में सुरक्षित क्लाउड ड्राइव का व्यवस्थित आरेख

2. सिविल आधारभूत सुविधाएं -

पेटावॉट लेसर प्रयोगशाला भवन (चित्र 66) अवरक्त मुक्त इलेक्ट्रॉन लेसर उपयोगकर्ता प्रयोगशाला भवन (चित्र 67) गुहिका संसाधन प्रयोगशाला भवन, हीरक जयंती अतिथिगृह (चित्र 68) हीरक जयंती उद्यान (चित्र 69) व 12 V E प्रकार के आवासों का निर्माण व विद्युत कार्य पूरा कर लिया गया है। भविष्य में आरआरकेट के उत्तरी क्षेत्र में बनने वाली प्रयोगशालाओं की ऊर्जा आवश्यकताओं को पूरा करने हेतु एक नये विद्युत उपकेन्द्र की स्थापना की गई है। प्रयोगशाला क्षेत्र में स्थित उद्यानों हेतु एक माइक्रो इरीगेशन प्रणाली स्थापित की गई है।

चित्र- 66 : पेटावॉट लेसर प्रयोगशाला भवन

चित्र- 67 : अवरक्त मुक्त इलेक्ट्रॉन लेसर उपयोगकर्ता भवन।

चित्र- 68 : हीरक जयंती अतिथिगृह।

चित्र- 69 : गौधुलि में सुखनिवास झील स्थित द्वीप पर निर्मित हीरक जयंती उद्यान।

VIII. मानव संसाधन विकास-

आरआरकेट में मानव संसाधन विकास गतिविधियों में वृद्धि के साथ त्वरक, लेसर एवं उनके अनुप्रयोगों के क्षेत्र में विश्वविद्यालयों के विद्यार्थियों के प्रशिक्षण हेतु उपलब्ध शोध सुविधाओं का विस्तार किया गया है । आरआरकेट, इन्दौर में होमी भाभा राष्ट्रीय संस्थान के तत्वावधान में एक बड़ी संख्या में विद्यार्थी अपना पी.एच.डी. डिग्री संबंधी शोध कार्य करते हैं । एम. टेक./ एम.एस.सी. विद्यार्थियों (चित्र- 70) के उनके डिग्री के आंशिक भाग को पूरा करने संबंधी एक वर्ष/छमाही परियोजना कार्य हेतु अवसर प्रदान किए जाते हैं ।

चित्र- 70 : लेसर इण्डस त्वरकों एवं बीमलाइन उपयोगिता संबंधी पर परियोजना कार्य कर रहे एम.टेक./एम.एस.सी. विद्यार्थी ।

IX. आऊटरीच गतिविधियां -

त्वरकों, लेसरों व संबंधित विज्ञान एवं प्रौद्योगिकियों पर प्रथम अभिमुखीकरण पाठ्यक्रम (OCAL-2015) का प्रारंभ इस ग्रीष्म मे किया गया जिसमें देश के विभिन्न भागों से चयनित 40 विद्यार्थियों ने भाग लिया (चित्र 71) । सभी विद्यार्थियों ने सफलतापूर्वक इस पाठ्यक्रम को पूरा किया व डॉ. एम.आर. श्रीनिवासन, सदस्य परमाणु ऊर्जा आयोग व पूर्व अध्यक्ष व सचिव परमाणु ऊर्जा विभाग द्वारा उनको प्रमाणपत्र वितरित किए गए । जनजागरूकता कार्यक्रम के तहत् अनेकों कार्यक्रम 'कण एवं प्रकाश विज्ञान सप्ताह' विषय पर हीरक जयंती समारोह तहत् आयोजित किए गए । इन कार्यक्रमों का आयोजन इन्दौर एवं इन्दौर के आस-पास के नगरों उज्जैन, महू, देवास, खरगोन स्थित स्कूलों एवं महाविद्यालयों में किया गया । इन कार्यक्रमों में विशेष रूप से बनाए गए वर्किंग मॉडल । (चित्र 72) परमाणु ऊर्जा विभाग कार्यक्रमों एवं आरआरकेट की अनुसंधान विकास गतिविधियों को दर्शाते पोस्टर, व्याख्यान, आरआरकेट के वैज्ञानिकों के साथ विद्यार्थियों/शिक्षकों के चर्चा सत्र (चित्र 73) के साथ-साथ चित्रकला, निबंध, क्विज प्रतियोगिताएं भी

आयोजित की गई । लगभग 1500 से 2000 विद्यार्थियों एवं संकाय शिक्षकों सदस्यों ने प्रत्येक कार्यक्रम में भाग लिया एवं विभिन्न कार्यक्रमों में कुल 12000 प्रतिभागी शामिल हुए ।

चित्र - 71 : संकाय सदस्यों के साथ OCAL-2015 के विद्यार्थी।

चित्र- 72 : इण्डस-2 के वर्किंग मॉडल को दिखाते वैज्ञानिक।

चित्र- 73 : विद्यालय में आयोजित जनजागरूकता कार्यक्रम ।