コンファレンスレポート

第4回ジャイロトロンと自由電子レーザー 国際シンポジウム報告

今 崎 一 夫*

(1987年7月18日 受理)

Report for the 4th International Symposium on Gyrotron and Free Electron Laser

Kazuo IMASAKI*

第4回ジャイロトロンと自由電子レーザー国際シンポジウムが6月1日より6月5日の間、中国四川省成都にある成都電信工程学院Changdu Institute of Radio Engineering CIRE)において開催された。Fig.1 (a)にこのメインビルディングを示す。かなり大規模な組織で、数千人の人々が所属しており、日本では、単科大学に相当する。Fig.1 (b)に会議場を示す。会議は全般的に技術的な傾向が強い感があった。第1～2回目は米国、第3回目がスイス、第4回目が今回に当たる。会議の議長は、CIREの

Fig.1 (b) 会場発表風景

Fig.1 (a) 成都電信工程学院メインビルディング

学長であるLiu Shenggang教授であった。

会議の主題は、名称より判るとおり、ジャイロトロンと自由電子レーザー (FEL) である。ジャイロトロンの話題の中心は、パワー当りのコスト、短波長大出力化、高調波発生が主であった。FELに関しては、電磁波ウィグラー、短波長化についての発表が多かった。ここでは、紙面の制約もあるのでFELの話題を中心に報告する。

* 大阪大学レーザー核融合研究センター (〒565 吹田市山田丘2-6)

* Institute of Laser Engineering, Osaka University (2-6 Yamada-Oka, Suita, Osaka 565)

中国からの発表が最も多く、FEL関連では約30件程度あった。いずれも理論解析、数値計算に関するもので、実際の実験結果に関するものは1件のみであった。

成都電信工程学院より、静電場FELに関する理論的な研究の発表が2件あった。同軸型の導波管内にTEモードの励起波を入射し、これと反対方向よりREBを打込んだ場合のFELの最大成長率の解析的な検討、数値計算が示された。

北京電子研究所では、波長8mmで 10^9 V/mの電場強度を有したスタンディングウェーブを用い、これに、10MeV、2kA、半径1mmの電子ビームを打込んだ場合の数値計算例が示された。モデルはFig.2のようにになっている。波長 $10.6\mu\text{m}$ で出力30MW、効率1.6%が得られるとの計算が示された。この研究は以前、日本の高エネルギー研で行なわれた実験に極めて類似している。

北京高エネルギー物理研究所では、1MeV～1.4GeVまでのRFライナックを4台有しており、その内の30MeVの装置を用いてFEL研究を行なう計画が発表された。波長は $10\mu\text{m}$ 付近をめざしており、固体物理等への応用を考えて

Fig.2 北京電子研究所電磁波ウィグラーの概略図

Fig.3 MITで実験中のコンパクトFELジャイロトロンより出てきたミリ波を用いてREBとの相互作用により、 $100\mu\text{m}$ のFELを発生する。

いる。アンジュレーターは製作中とのことであった。

上海光機所では、北京電子研究所の30MeVライナックを使用してFEL研究を行なう計画が進行中である。西南物理研究所では、パルスパワー装置を用いた、ラマン領域での研究が進んでいる。中国で唯一の実験結果を出しており、 $27\text{GHz}\sim 33\text{GHz}$ のマイクロ波出力を検出している。またここではFEL用の誘導加速器を製作中で、1段300kVで2段を製作し、試験中とのことである。これ以外にチャネリングを応用したFELや、フェロエレクトリック単一結晶の表面ポテンシャルをウィグラー磁場の代わりに用いる方式についての発表があった。

米国からの発表は、スタンフォード大学、MIT、UCLA、メリーランド大学からあり、合計約15件であった。

MITから電磁波ウィグラーによるコンパクトFELに関する発表があった。Fig.3にその概略を示す。ジャイロトロンより発生した 0.1cm の波長の電磁波を用い、 $\sim 100\text{kV}$ のREBとの相互作用により、 $100\sim 10\mu\text{m}$ のFEL光を発生する。理論的な検討が終り、実験が進行中である。永久磁石を用いた平板タイプ及びヘリカルタイプの2種のウィグラーの特性についての発表がなされた。全体の長さは60cm程度で、ウィグラーピッチは4cm、磁場精度は1%以内であった。またラマンFELにおける光ガイド実験の結果が発表された。光ガイドにより、中心部での利得の増加が確認されている。この実験では、電子ビームの出力は25～150kV、パルス幅 $10\mu\text{s}$ 、 $\Delta\gamma/\gamma \approx 0.3\%$ でウィグラーピッチ3.3cm、利得の計測は、 $7\sim 21\text{GHz}$ のマイクロ波を用いて行なっている。

UCLAからは、CARM (Cyclotron Auto-Resonance Maser) に Distributed Feed BackやBragg Reflectorを用いた場合の解析結果の発表および、3Dでのシミュレーションコードでの、軸方向磁場のあるFELの利得計算、1Dでのサイクロトロン共鳴不安定性の起こるプロセスのシミュレーション結果の発表が

あった。

スタンフォード大学では、ガス封入した場合のFELについての発表があった。この方式ではプラズマ不安定性、多重散乱等により、 $\Delta\gamma/\gamma$ が増大するという問題はあるが、高利得で、ガス圧を変えることにより発振波長が変えられるという利点がある。ウィグラーピッチ2.3cm, $\gamma=80$, 圧力1.0atmで1 μ mの波長のFELが検討されている。主として医用への応用が考えられている。また将来計画として、FEL専用のRFライナックの建設を考えている。FEL出力 ~ 10 MW, 10 μ mで効率50%を期待している。

ロスアラモス国立研究所では、単一パルスで、X線領域の波長を持ったFEL計画の話があった。波長としては50Å前後をねらっている。設計パラメーターをTable Iに示す。ここで ρ は規格化パラメーターで出力に対して最適値を持ち次式で与えられる。

$$\rho = \left(\frac{G}{32\pi r_e n_0} \right)^{1/3} \lambda^{1/2} \lambda_w^{1/6} \left(\frac{a_w^4/3}{1 + \frac{1}{2} a_w^2} \right)^{1/2}$$

ここで λ_w はウィグラーピッチ, a_w はウィグラーのピーク値に対するベクトルポテンシャル, r_e は電子の古典半径, G は平板ウィグラーに対するベッセル関数の結合係数で $G=J_0(\xi)-J_1(\xi)$ で $\xi=a_w^2/(4+2a_w^2)$ を示す。また λ は発振波長, n_0 はビームの電子密度である。出力の最適値付近での計算結果がTable Iの値である。

フランスのThomson CSFから、RF加速器用クライストロンの発表があった。特にパルス幅を長くとりFEL用として考えられてある。最終目標は、100 μ s $\sim$ 10msのパルス幅を得ることであり、現在35 $\sim$ 40MW/10 μ sおよび、10 $\sim$ 15MW/200 μ sが達成できている。問題点は、冷却、絶縁、大形化である。

日本からの発表は、FELに関しては、大阪大学レーザー研、工学部より各1件、また東北大

Table I ロスアラモス国立研究所で計画中の軟X線FELのパラメーター

SASE at 4nm for N=1500 and $\rho=5.684 \times 10^{-4}$		
$\Delta\gamma/\gamma$	Peak Gain	P_{SASE} (watts)
0	2.4×10^5	2.05×10^6
5×10^{-4}	7.2×10^4	6.26×10^5
1×10^{-3}	5.3×10^3	5×10^4
2×10^{-3}	79	10^2

SASE at 6 nm for $\rho=6.99 \times 10^{-4}$		
$\Delta\gamma/\gamma$	Peak Gain	P_{SASE} (watts)
a) N=1000 periods ($L_w=1600$ cm)		
0	2.12×10^4	1.72×10^5
6.5×10^{-4}	7.26×10^3	5.87×10^4
1.3×10^{-3}	7.75×10^2	6.27×10^3
b) N=1500 periods ($L_w=2400$ cm)		
0	6.78×10^6	4.0×10^7
6.5×10^{-4}	1.12×10^6	6.7×10^6
1.3×10^{-3}	2.63×10^4	1.57×10^5

通研より、ペニトロン関係が2件、京大理学部より、ジャイロトロンのプラズマ加熱関係が1件であった。それぞれ質が高く好評であった。しかし隣国であることや、また日本の研究レベルを考えればもっと参加者が多くてもよいのではないかと思われる。

最後に中国の印象を少し述べると、若い学生の活発さがめだった。英語が下手でも、とにかく、積極的に会議に参加しようとしていたのは、好ましい。今後の中国の発展を暗示している感がある。また、中国と日本の文化は似ているが異質であるという人もいるが、やはり東洋文化圏の国どうしとして根底には共通のものが多々あると思われた。儒教的な考え方等の、互いに理解し合えるものも多いということである。今後とも日本と中国は、より盛んに学術的交流を行ない、西洋にない独自の発展により、世界の学術に寄与できればと考えられる。