

20p-1

CONSTRUCTION AND DEVELOPMENT OF A UV FREE ELECTRON LASER UNDER THE COOPERATION OF NIHON U, KEK, PNC, ETL AND TOHOKU U

Y. Torizuka, K.Hayakawa, T.Tanaka, K.Sato, R.Kabasawa, M.Ohkubo, S.Igari, Y.Matsubara, O.Hara, I.Kawakami, I.Sato*, S.Fukuda*, T.Kurihara*, T.Kamitani*, S.Ohsawa*, A.Enomoto*, S.Toyama**, M.Nomura**, Y.Yamazaki**, T.Yamazaki***, K.Yamada***, M.Ikezawa****, Y.Sibata**** and M.Oyamada****

Atomic Energy Research Institute, Nihon University, Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku
Tokyo 101, JAPAN

ABSTRACT

The construction and development of a UV free electron laser has started under the cooperation of Nihon U, KEK, PNC, ETL and Tohoku U. The project requires a 70 MeV S band electron linear accelerator to produce a high brightness electron beam at a micropulse of 210pC and 3.5ps with a macropulse of 20 μ s and 200mA in average current.

The injection system consists of a rf gun with a LaB₆ cathode and beams are compressed by using α magnet. The rf cavity is designed to eliminate the cathode back-bombardment and allows control of the beam current. A laser output of 30MW in peak power and 30W in average power would be expected in the wavelength of UV region.

日大、高工研、動燃、電総研、東北大 紫外領域自由電子レーザー協力開発

1 はじめに

自由電子レーザーは、通常のレーザーに対して、波長可変、大出力を特徴としており、現在、赤外・遠赤外領域では、実用の域に達している。自由電子レーザーが大きく期待されているのは、紫外・軟X線等の短波長領域で同位体分離、光化学反応、物質科学、生命科学への応用、医学治療への応用等があげられる。

自由電子レーザーの最初の増幅・発振が行な

われて以来、すでに20年近くになるが、短波長化が進まないのは、電子ビームに対する厳しい条件があるからである。今、世界で最先端をいく自由電子レーザーは、ロス・アラモス(米)のHIBAFと、スタンフォード・デューク(米)のMarkIIIである。いずれも線形加速器を改造・改良あるいは新規に開発したもので、40MeVのエネルギーで、3倍の高調波による紫外領域の安定なレーザー発振をめざしている。

*National Laboratory for High Energy Physics

**Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

***Electrotechnical Laboratory

****Tohoku University

我が国では、官民合同の自由電子レーザー研究所FELIが、関西地区に設立された。赤外及び紫外領域の自由電子レーザーを開発し、産業界が利用する構想である。この他に、原研東海の超伝導ライナックによる自由電子レーザー、動燃大洗の大電流CW加速器のレーザー計画等がある。一方ここに述べる自由電子レーザー開発計画は、日大原研、高エ研、動燃、電総研、東北大学の研究資材と開発能力を組織化して紫外領域の大出力レーザーを開発し、利用することを狙ったものである。

2 自由電子レーザーの目標値

開発目標の自由電子レーザーの加速器、光共振器、レーザー出力の値は次の表1のようにになっている。

表1 自由電子レーザー目標値

| | |
|----------------|--|
| 電子ライナック | |
| エネルギー | 70 MeV |
| 周波数 | 2856 MHz |
| マクロパルス幅 | 20 μ s |
| マクロパルス繰返し | 50 Hz |
| マクロパルス平均電流 | 200 mA |
| マイクロパルス電流 | 60~120 A |
| マイクロパルス幅 | 1.75~3.5 ps |
| マイクロパルス長 | 0.5~1 mm |
| マイクロパルス間隔 | 1000 ps |
| 規格化エミッタンス | $<10 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ |
| エネルギー幅 | $<1 \%$ |
| 光共振器 | |
| 発振波長 | 350 nm |
| アンジュレータ周期長 | 1 cm |
| アンジュレータ周期数 | 50 |
| アンジュレータパラメータ K | 0.75 |
| 光共振器長 | 2 m |
| ゲイン | $>10 \%$ |
| 立上り時間 | $<5 \mu$ s |

| | |
|--------|-------|
| レーザー出力 | |
| ピーク出力 | 30 MW |
| 平均出力 | 30 W |

以上のパラメータの特長は次のようになる

- 1) エネルギーを70MeV以上に選び、基本波で紫外レーザー発振をする。
- 2) 光出力はビームパワーの1/4kNに比例する。kは高調波次数、Nはアンジュレータの周期数である。従って出力は基本波が高い。
- 3) ビームのエネルギー幅の条件は、1/2kN以下である。従って基本波が有利である。
- 4) アンジュレータの周期長は1cm, K = 0.75 を開発する。
- 5) 熱陰極 (LaB₆カソード) の rf 電子銃でバックボンバードメントを最小にする方式を考案し、開発する。
- 6) サブハーモニック空洞を用い、マイクロパルスの電荷量は210 pCである。したがって3.5psのマイクロパルスの場合60A、1.75psの場合120Aのピーク電流が得られる。
- 7) マクロパルス幅は 20 μ s、繰返し50 Hz、デューティ・サイクルは 1×10^{-3} である。
- 8) 70MeV以上のエネルギーは、50MWのクライストロン1本、2mの加速管2本で実現できる。
- 9) 光パワーは、ピーク30MW、平均出力30Wを目標とする。

3 開発研究項目

表1の目標値を達成するためには、電子銃、入射器、加速管、クライストロン、クライストロン電源、ビームトランスポート、光共振器、アンジュレータ、ビームモニタ、光計測等多岐にわたってそれぞれ得意の分野で協力研究を進める必要がある。

特に紫外自由電子レーザーにおいては電子ビームに対する要求が厳しく、電子銃、入射

器の開発が最重点項目にあげられる。先に述べたFELI、原研東海、動燃大洗はいずれも従来型の電子銃の改良を進めている。この形式はロスアラモスの初期の20MeVライナック、オランダのFELIXの経験によると規格化エミッタンスを $100 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ 以下にすることは困難な様子である。

スタンフォードのMarkIIIおよびロスアラモスの新規に開発した40MeVライナックはrf電子銃を用い、エミッタンスを上記の値の10分の1以下にすることに成功した。MarkIIIの場合は、 LaB_6 カソードを空洞の壁に取り付けた構造となっているが、ビームが逆行するバックボンバードメントにより、数 μs 以上のマクロパルス幅を得ることは困難である。ロスアラモスはフォトカソードを用いレーザでマイクロパルスの電流とパルス幅を制御している。この方式は原理的に優れているが実用化するまでにまだ時間がかかる。

本計画で現在とりあげているのは、図1に示す改良型rf電子銃である。主rf空洞の2856MHzに952MHzの1/2セルのサブハーモニック空洞を直結したものである。特長は

- 1) 1000psの間隔で210pCの電荷量を加速できる。この値は表1のビーム性能に対応する。
- 2) 最初の空洞の加速電圧を低くすることによってバックボンバードメントを回避する。
- 3) 空洞の電極構造を変えて最小のエミッタンスを探す。
- 4) 磁場による収束を活用することを工夫する。

などである。このrf電子銃の詳細については早川が本研究会において発表する。

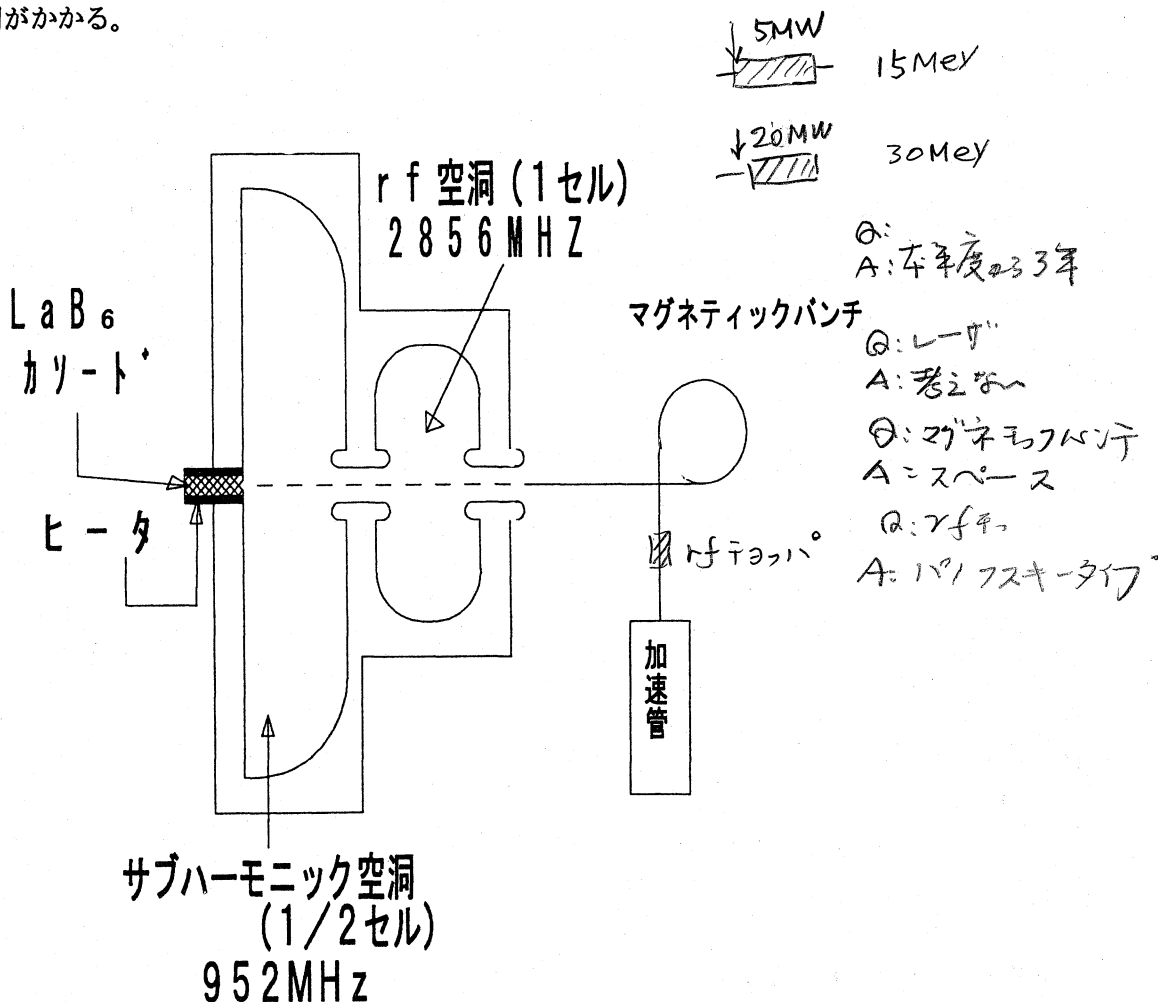


図1 改良型熱陰極サブハーモニックrf電子銃