

## CHARACTERISTICS OF PHOTOINJECTOR FOR 6MEV RF LINAC

M. FUJITA, J. CHEN, H. FURUKAWA, K. IMASAKI, C. YAMANAKA

*Institute for Laser Technology**Yamada-oka 2-6, Suita, Osaka, 565, Japan*

M. ASAKAWA, T. YAMAMOTO, N. Inoue, K. Mima, S. Nakai

*Institute of Laser Engineering, Osaka University**Yamada-oka 2-6, Suita, Osaka, 565, Japan*

T. Agari, A. Moon, N. Ohigashi

*Kansai University**3-10-1 Senriyama-higashi,**Suita, Osaka, Japan***Abstract**

Using a 6MeV S-band rf linac, a compact FEL system for a wide wavelength range is being developed at ILT. It covers radiation wavelengths from  $\sim 10\mu\text{m}$  to a few millimeters. For an efficient FEL operation, we developed a high-brightness electron beam source. A photocathode driven by a Nd:YAG laser has been installed in the rf gun. We found that heated metal photocathode ( $\text{LaB}_6$ , W) provided sufficient beam brightness and long lifetime. Significant improvement of the beam quality ( $\Delta E/E \sim 1\%$ ,  $B_n \sim 10^{11} \text{ A/m}^2\text{rad}^2$ ) was achieved. The photocathode operation was investigated in detail by our simulation code.

**6MeV RFライナックにおけるフォトインジェクター特性****1. はじめに**

自由電子レーザー(FEL)は波長が自由に変わられ且つ高効率で大出力が可能なことより次世代のレーザーとして注目されている。当研究所では産業応用を目指して、小型の高周波線形加速器(RFライナック)を用いた自由電子レーザーの開発研究を行っている。我々のシステムは小型の加速器からの比較的低エネルギー(6MeV~9MeV)の電子ビームを用いて、波長 $10\mu\text{m}$ から数mmのレーザー光を発生させることができる。

効率良く自由電子レーザーを動作させるためには、質の良い高輝度の電子ビームが必要とな

る。このため、レーザーで陰極を照射し光電子を加速するフォトカソードRF電子銃を加速器システムに導入した<sup>1)</sup>。加熱型金属陰極の採用により電子ビームのエネルギー拡がり約1%、規格化輝度 $10^{11} \text{ A/m}^2\text{rad}^2$ を達成することができた。

**2. 高輝度電子ビーム源の開発****2.1. 概要**

フォトカソードにおいては、短パルスのレーザーで陰極を照射し光電子を発生させるためRF位相において最適なタイミングで電子の加速を行うことができ、エネルギーの揃った電子ビーム

が得られる。又、バックボンバードメントも避けることが出来る。さらに、高度なレーザー制御技術を電子ビーム制御へと直接応用することが可能となる。反面、照射に用いるレーザー光の不安定性(タイミングや強度の揺らぎ)が電子ビームの質に直接影響を与える。我々は加速器のシミュレーションコードを開発し、レーザー光の照射タイミングが電子ビームに与える影響を調べ、レーザーに対する要求の検討を行った。又、実際にレーザーシステムの中で発振器が持つタイミングジッターを定量的に測定した。さらに、フォトカソードのRFライナックシステムへの導入を行い、その特性を調べた。

## 2.2. 加速器シミュレーション

図1に研究に用いているS-band (2856MHz)の小型RFライナックのシステムを示す。陰極から発生した電子はRFガンで1MeVまで加速され、 $\alpha$ 磁石を通すことにより20psから5psへパルス圧縮(パンチング)され、同時にスリットによりエネルギー選択される。その後、全長約1mの加速管でエネルギー6~9 MeVまで加速される。シミュレーションにおいてはレーザーのパルス幅に対応した半振幅20psのガウス分布で電子ビームを発生させた。レーザーのジッターの影響を調べるため電子ビーム発生タイミングをRF位相に対して変化させた。レーザーのジッターが $\pm 5$ psの範囲でエネルギー拡がり0.7%、ピーク電流の揺らぎが40Aに対して $\pm 40\%$ の電子ビームが得られることがわかった。又、レーザーのジッターが $\pm 2.5$ psの範囲でエネルギー拡がり0.5%、ピーク電流の揺らぎが40Aに対して $\pm 25\%$ の電子ビームが得られることがわかった。この時の電子パンチのジッターは $\pm 0.5$ psとなる。従って、フォトインジェクターを安定に動作させるためには、照射レーザーのジッターを $\pm 2.5$ ps以下に抑制する必要がある。

## 2.3. フォトインジェクターシステムのジッター

フォトカソードRFガンで問題となるジッターはレーザー自身が持つジッターである。レーザー発振器におけるタイミングジッターの抑制に

Lightwave社製のSeries 1000 タイミングスタビライザーを採用した。これは発振器からのパルス列をフォトダイオード(PD)でモニターしタイミングのずれを検知し、A/O モジュレーターへの信号へフィードバックすることによりジッターを抑制するものである。スペクトルアナライザーを用いてレーザー発振器のジッターの定量的な測定を行った。タイミングスタビライザーを動作させた時は動作させない時に比べて位相雑音が低下していることがわかった。この時のジッターは3.3psであった。レーザー発振器のキャビティー長やタイミングスタビライザーのフィードバックゲインを調整することで、目標の2.5ps以下までジッター抑制が期待される。

## 2.4. RFライナックにおけるフォトカソードの温度依存性

これまで直流電場のもとでの金属陰極(LaB<sub>6</sub>, W)における光電子の発生の様子や量子効率が定量的に調べられてきている<sup>2,3)</sup>。これらの結果をふまえてフォトカソードのRFライナックシステムへの導入を行い、その温度特性を調べた。陰極の照射に使用したレーザーはフラッシュランプ励起のモードロックNd:YAGレーザーである。レーザー光はf = 3mのレンズで直径3mmのLaB<sub>6</sub>上へ集光した。レーザー光は陰極垂直から50°の角度で入射される。陰極は量子効率を改善するため<sup>2)</sup>700℃から1000℃まで加熱して実験を行った。出射電子ビームはファラデーカップでモニターした。図2に熱電子、光電子のピーク電流を陰極の温度の関数として示す。白丸が光電子成分であり、黒丸が熱電子成分である。実線は文献2において調べられた量子効率の温度依存性を表わす。図からRFライナックにおいて発生した光電子はDC電場のもとで測定された量子効率の温度依存性に良く一致している。陰極の温度を1000℃程度まで上げることにより常温での使用に比べて数倍電流の増加が確認された。温度1000℃でも、熱電子と光電子の寄与の割合は100倍程度あり実用上、問題ないと思われる。又、熱電子成分はRichardson-Dushmanの式で与えられる熱電子放出の温度依存性に良く

一致している。

### 2.5.熱陰極とフォトカソードの比較

180° 偏向型電子スペクトロメーターを用いてライナック出口でのフォトカソード電子ビームのエネルギー、エネルギー拡がりを計測した。ペーパーポット法を用いてエミッタンスの計測も行った。表1に熱陰極とフォトカソードでの電子ビームの比較を示す。ピーク電流はフォトカソードの方が高いが、繰り返し周波数が熱陰極運転の1/32であるため平均電流は低くなっている。そのため、中心エネルギーはビームローディングの影響でフォトカソードの場合、9MeVへと増加した。エネルギー拡がりは5%から1.5%へと改善された。これはフォトカソードレーザーと加速器を最適化することにより1%以下に抑えることが期待できる。エミッタンスは1/3以下に改善され、ピーク電流の増加と相まって規格化ビーム輝度は $\sim 10^{11} \text{ A/m}^2\text{rad}^2$ と100倍以上の向上がみられた。

### 3.まとめ

効率良く自由電子レーザーを動作させるため、レーザーで陰極を照射し光電子を加速するフォトカソードRF電子銃を加速器システムに導入した。加速器のシミュレーションコードを開発し、レーザー光の照射タイミングが電子ビームに与える影響を調べた。又、実際にレーザーシステムの中で発振器が持つタイミングジッターを定量的に測定した。さらに、フォトカソードのRFライナックシステムへの導入を行い、その特性を調べた。加熱型金属陰極の採用により電子ビームのエネルギー拡がり約1%、規格化輝度 $10^{11} \text{ A/m}^2\text{rad}^2$ を達成することができた。

### 参考文献

- 1) M.Fujita et al., Nucl. Inst. and Meth., A341, ABS35(1994).
- 2) M.Asakawa et al., Nucl. Inst. and Meth., A331, 302(1993).
- 3) M.Asakawa et al., Appl.Phys.Lett., 64, 2056(1994)

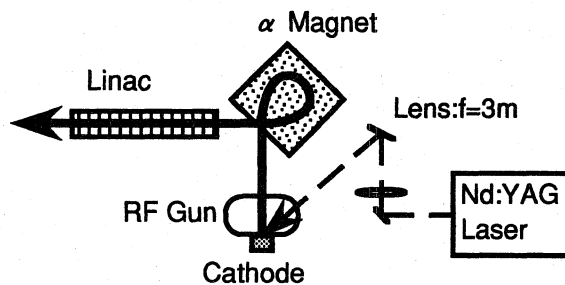


図1. 6MeV RFライナックシステム

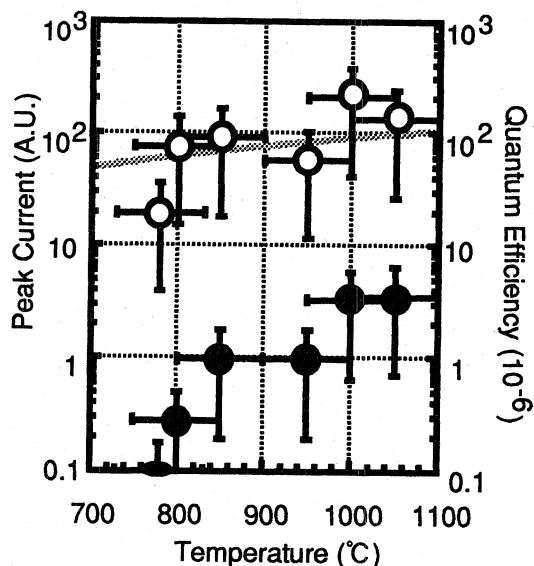


図2.電子ビーム電流の温度依存性。

○は光電子成分、●は熱電子成分を示す。

表1. 熱陰極とフォトカソードの比較

	熱陰極	フォトカソード
繰り返し周波数 (MHz)	2856	89.25
中心エネルギー (MeV)	7.5	9.0
ピーク電流 (A)	5	50
平均電流 (mA)	70	20
規格化エミッタンス (mm mrad)	$40\pi$	$11\pi$
規格化輝度 ( $\text{A/m}^2\text{rad}^2$ )	$6 \times 10^8$	$8 \times 10^{10}$
エネルギー拡がり	5%	1.5%