

INDUCTION LINAC FOR FREE ELECTRON LASER RESEARCH

T.Akiba, K.Imasaki*, M.Mokuno, H.Yoshioka, S.Miyamoto, H.Otani,
C.Yamanaka* and S.Nakai

Institute of Laser Engineering, Osaka University

*Institute for Laser Technology

ABSTRACT

Induction linac system has been developed for a free electron laser research at ILE Osaka. In this system an electron beam is accelerated up to energy 6MeV, with 10kA, 100ns. So far, experimental studies of generation and acceleration of the electron beam were performed. Expected FEL wavelength is 300 μ m-1mm. The output power of the FEL is expected to be from 100MW to 1GW.

自由電子レーザー用誘導加速器

1. はじめに

自由電子レーザー (Free Electron Laser: FEL) は電子ビーム自身がレーザー媒質であり、ポンプ源でもある、高効率、波長可変及び短波長発振が可能なレーザーである。短波長の大出力FEL発振には高エネルギーの大電流電子ビームが必要である。一方、誘導加速器は高透磁率の磁性体で誘導絶縁を行うものであり、高エネルギー、大電流の電子ビーム発生が可能であるため、これを用いた自由電子レーザーは大出力・高効率の波長可変のコヒーレント光源として期待できる。この様な観点から、大阪大学レーザー核融合研究センターでは、従来より行ってきたパルスパワー技術により誘導加速器システムを開発し¹⁾、大出力FELの開発を推進している。

2. 誘導加速システム

加速器システムは大別して、電源部、及びビーム発生・伝搬部で構成されている。また自由電子レーザー部はウィグラーより成っている。

初期エネルギー蓄積部は0.1Hzのマルクス発生器 (最大蓄積エネルギー: 60kJ) である。このエネルギーを単純同軸のパルス成形ライン (Pulse Forming Line: PFL、特性インピーダンス1.25 Ω) で、500kV、100nsにパルス成形する。パルス成形部と初期エネルギー蓄積部の間には、中間エネルギー蓄積部が必要である。中間エネルギー蓄積部は低インダクタンスコンデンサーとして働きパルス成形ラインを高速充電する。成形パルスは分配ラインで40本の同軸ケーブル (特性インピーダンス50 Ω) に分けられ、誘導加

速器に印加される。印加電圧は誘導加速モジュールの段数分だけ重畳される。入力エネルギーの90%以上が電子ビームに変換される。誘導加速キャビティの断面図を図1に示す。誘導絶縁に必要な強磁性材料として、熱処理を施した非晶質磁性体を用い、装置の小型化を図った。

加速電圧はダイオードインピーダンスの時間変化により50 nsの間±10%であった。この様なビームのエネルギー変動はFELの増幅・発振に極めて有害である。そこで、加速電圧を時間的に安定な波形にするために誘導加速モジュールに並列に抵抗を装着し、ダイオードインピーダンスの変化による影響を緩和した。この結果、70 nsの間で±3%の電圧安定度を達成した。

3. ビーム発生部・伝搬部

ビーム発生部は誘導電圧重畳部内にある。電子は爆発型放出(Explosive Emission)により発生され、空間電荷制限領域で動作し、大電流密度(100A/cm²~1kA/cm²)の電子ビームを得ることが可能である。誘導加速器の電圧、電流特性を図2に示す。カソード半径4 cmで10 kAの電子ビームを発生している。カソード材料として、カーボン繊維、カーボンプレート、ヴェルヴェットについてベッパボット法で輝度を計測し比較・検討を行った(図3)。その結果、最も輝度の高い材質は、ヴェルヴェットであり、規格化輝度($\epsilon\beta\gamma$)は 1.3×10^3 (A/rad·cm²)であった。この値を更に高める様、現在、電子銃の改良を行っている。

電子ビームの伝播は、500ガウスの縦磁場によるビーム半径2 cmのブリルアン流としている。ウィグラーまで導かれる間に、エミッタンスセクター、ビームモニター部等を設置してある。ビームモニター部はループアンテナとプロファイルモニターからなっている。また、ビームのエネルギーは磁場偏向型エネルギーアナライザーによって計測される。

4. 自由電子レーザー部

ウィグラーはピッチ60mmの永久磁石によるハルバッハ型ウィグラーであり、ピッチ数は30である。電子ビームのエネルギーとウィグラーの磁場強度を調整する事により、300 μm~1mmの波長可変性がある。また、ウィグラーの磁極間隙を変化させることにより、テーパー化が可能である、シミュレーションによれば、ビーム電流1 kAで成長率は0.5 dB/cm程度と見込まれ、増幅光源を用いれば出力は1 GWに達する。また、パルス幅が50 ns~100 nsであるため2mの共振器を組み込み、レーザーの発振も可能である。

参考文献

- 1) T.Akiba et.al "Development of an Inductive Voltage Accumulating system for a Free Electron Laser" Nuclear Instruments and Method in Physics Research A259 (1987) 115-118

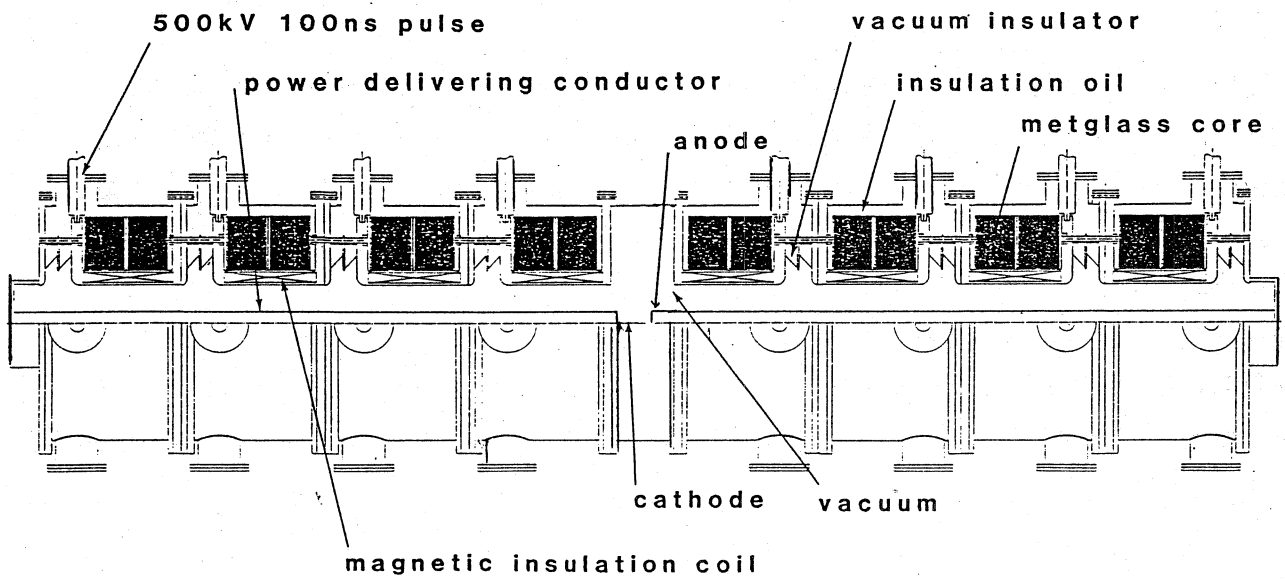


図1 誘導加速器の断面図

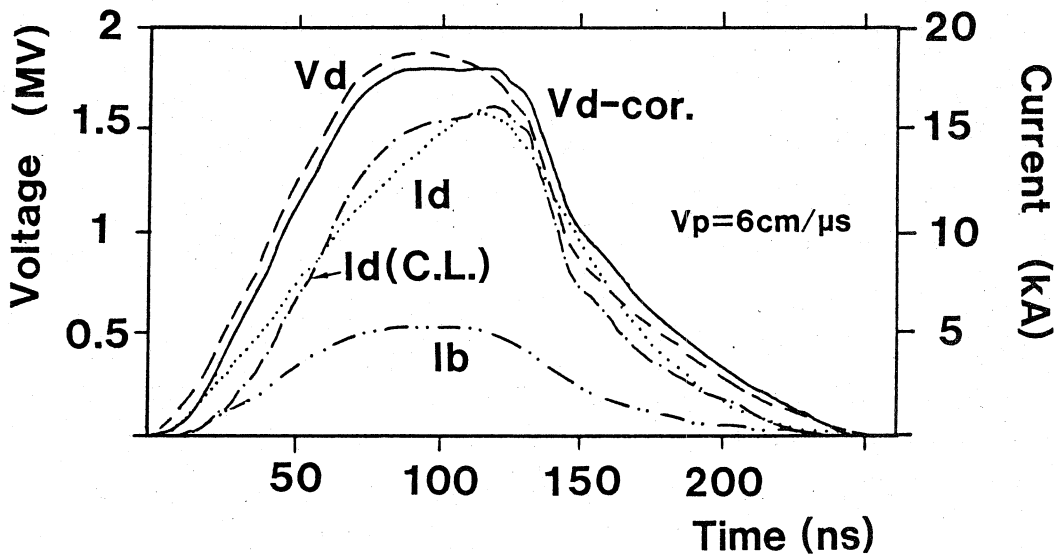


図2 誘導加速器の電圧電流特性

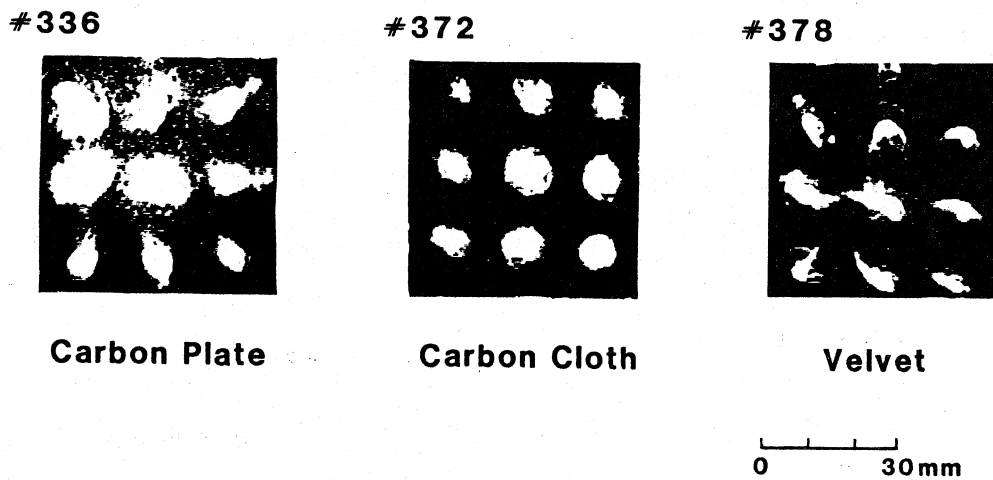


図3 ペッパーポット法によるエミッタンス計測