

FREE-ELECTRON LASER EXPERIMENTS WITH A HIGH-BRIGHTNESS DOUBLE-BUNCH BEAM AT ISIR

Shuichi OKUDA, Juzo OHKUMA, *Shoji SUEMINE, Tamotsu YAMAMOTO,

Shuya ISHIDA, Takayoshi YAMAMOTO, Toichi OKADA and **Seishi TAKEDA

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, 8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka

567

*Unicon System

**National Laboratory for High-Energy Physics, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305

ABSTRACT

Free-electron laser experiments have been performed with high-brightness electron beams of the 38 MeV L-band linac at ISIR. Self-amplified spontaneous emission from a single-bunch beam has been observed at wavelengths of 20 and 40 μ m and the characteristics of the radiation have been measured. In order to amplify the radiation under an oscillator configuration a two-bunch beam has been generated at an interval corresponding to the round-trip time of the optical cavity. The experiments are being carried out.

産研ライナックの単バンチおよび2バンチビームによるFEL実験

1. はじめに

大阪大学産業科学研究所では38 MeV Lバンド電子ライナックからの高輝度ビームを利用した自由電子レーザー (FEL) の基礎研究を行ってきた。新たな計画のスタートにより、マルチバンチビームによる発振実験は、ビームの低エミッタンス化を初めとする装置開発を中心に進める。また単バンチビームを用いた自発放射光増幅型 (SASE) FELは、FELの素過程に関する知見を得ると共に新たな増幅方式を開発する計画である。

これまでに行った研究で、波長20, 40 μ mでSASEの発生を確認した。本研究ではこのSASEの特性を測定すると共に、高出力の光を得るための2回増幅を行う目的で2バンチビームを発生させ、実験を行った。

2. 実験配置

Lバンドライナックを含めたFEL実験装置および光測定系を図1に示す。1回通過のSASEについての測定を行うために用いた電子ビームおよびウイ

グラーの条件を表1に示す。共振波長は40 μ mである。SASE測定実験では下流側の共振器鏡を除き、光の測定立体角は 10^5 srである。2回増幅型の時には共振器鏡を設置し、あおりと位置を遠隔駆動す

表1 電子ビームおよびウイグラーの条件

<i>Electron Beam</i>	
Mode	Single Bunch
Energy	17.1 MeV
Energy Spread	2%
Pulse Length	30 ps
Charge per Bunch	28 nC
Beam Diameter	5 mm ϕ
<i>Wiggler</i>	
Length	1920 mm
Period	60 mm
K Parameter	1
B_0	0.18 T
Magnet Material	Nd-B-Fe

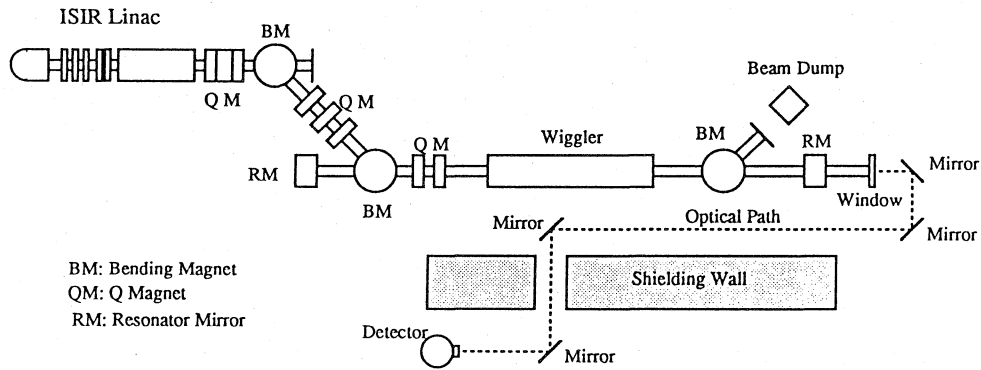


図1 FEL実験装置

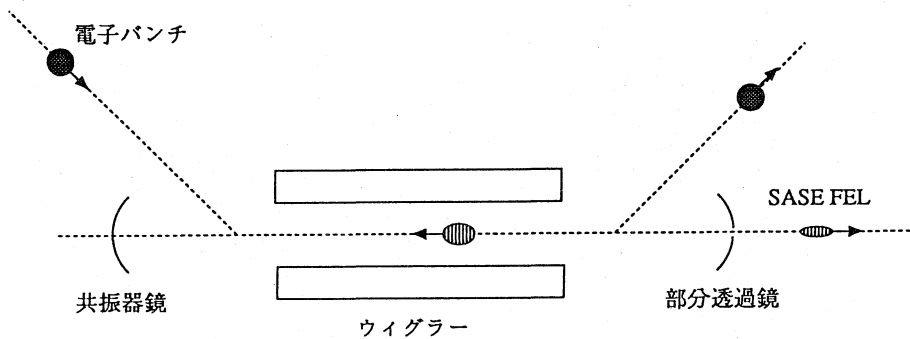


図2 2バンチビームによる光増幅

る。赤外光の水蒸気による吸収を防ぐために、放射光は窒素ガスを封入したパイプで加速器室外に導き、液体He冷却のGe:Be検出器で測定する。

3. SASE型FELの特性測定

これまでの実験で、波長20, 40 μm においてウィグラーからの放射光強度がインコヒーレントな自発放射光に比べて顕著に増加する現象が観測された[1]。本実験ではこの放射光の特徴を調べるために、波長40 μm のSASEについて諸特性を測定した。これらの結果を表2に示す。光のパルス幅の測定は行っていないが、ウィグラー中での電子バンチと光パルスのスリップ、バンチのピークにおいて光の増幅率が特に高いことから、電子バンチの幅30 psに対して約20 psと推定される。

光源としての開発を行うためには、より高いピーク出力を得る必要がある。これにはウィグラーの長さやK値を増す方法がある。またバンチの電荷量を増してピーク出力を向上させることは、バンチの電荷量30 nC以上におけるエネルギー広がり増加からあまり期待できない。

表2 SASE型FELの諸特性

Pulse Width	20 ps
Peak Power (for 28 nC charge per bunch)	
	0.6 W at $\lambda = 20 \mu\text{m}$
	4 W (max. 14 W) at $\lambda = 40 \mu\text{m}$
Spectrum	2.8% (FWHM) at $\lambda = 40 \mu\text{m}$
Horizontal Distribution	
	10^{-1} narrowing at $\lambda = 40 \mu\text{m}$
Linear Polarization	$85 \pm 3\%$

本研究では、2バンチビームを発生させてこのビームによる2回増幅を試みた。

4. 2バンチビームの特性と増幅実験

本研究におけるSASEでは、FEL利得が $10^3 \sim 10^4$ と計算される。エネルギーの揃った2個の高輝度単バンチビームを、光共振器における光の往復時間の間隔で発生させて、共振器配置(図2)で増幅すると高いピーク出力が期待される。

本条件に適合する2バンチビームの発生システ

表3 2バンチビームおよび光共振器の特性

2 Bunch Beam

Energy	17.1 MeV
Energy Spread	1.3% (FWHM)
Charge per Bunch	19 nC

Optical Resonator

Cavity Length	5532 mm
Radii of Curvature of Resonator Mirrors	3384, 2763 mm
Mirror Hole Diameter	6 mm ϕ
Round-Trip Time	36.9 ns

ムについては、本研究会で別に報告する。現在得られている電子ビームの条件および実験に用いた光共振器のパラメータを表3に示す。2バンチのエネルギーを揃えるためには、サブハーモニックバンチャーを含めたRF系のビームローディングの問題があるが、それぞれの調整により最適な条件を探した。ただしビーム調整は非常に困難である。この実験に用いた共振器鏡のパラメータは発振実験と同じであるが、半透過鏡の穴径は6 mm ϕ と大きくとった。共振器鏡間隔の同調範囲はバンチ幅を30 psとすると約5 mmで、あまり精度を要しないが、2バンチにおける位相のずれが問題となる。

最近行った2バンチビームによる実験の結果ではSASE光が観測されたが、いずれか一方のバンチからのものと推定される。検出器の応答が遅く、信号は分離できない。増幅は観測されていないが、光共振器の設定精度の問題やビーム条件の変動を解決する必要があると推測される。

5. まとめ

2バンチビームの発生と増幅への利用という新たな試みを行うために、実験条件を満足するビームを発生させ、増幅実験を開始した。

SASE光の特徴はFELの増幅過程を観測しやすいことである。今後、ピーク出力を増加させると共に、FEL素過程の研究を行う。

参考文献

- [1] S. Okuda, J. Ohkuma, Y. Honda, T. Okada, S. Takamuku, T. Yamamoto and K. Tsumori, Nucl. Instr. and Meth. A 331 (1993) 76.