

[13A-01]

OBSERVATION OF SASE SPECTRA IN THE REGION FROM INFRARED TO SUBMILLIMETER WAVELENGTH

R. Kato^{*)}, T. Igo, M. Kuwahara, T. Konishi, M. Fujimoto, R. A. V. Kumar,
S. Mitani, S. Okuda, S. Suemine and G. Isoyama

Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
Mihogaoka 8-1, Ibaraki, Osaka, 567-0047 JAPAN

Abstract

We are conducting experiments of Self-Amplified Spontaneous Emission (SASE) in the region from far infrared to sub-millimeter wavelength by using a high brightness single-bunch beam from the L-band linac at ISIR, Osaka University. We measured the spectra of SASE radiated from the single-bunch beam passing through the wiggler for the existing infrared FEL system. The measured wavelength spectrum has the spectrum width that is two times wider than that derived with the one-dimensional model. The spectrum of light interpreted as a second order higher harmonic wave of SASE has been observed, too.

赤外からサブミリ波領域での SASE スペクトルの観測

1. はじめに

阪大産研の L バンド電子ライナックは最大電荷 73 nC/bunch の単バンチを加速できる高輝度電子ライナックである[1]。我々はこの L バンドライナックを駆動源として赤外自由電子レーザー (Free-Electron Laser; FEL) の研究開発を行っている。これまでの研究は、発振型 FEL の発振波長の長波長化を中心として進められてきた。その結果、RF ライナック・ベースの FEL としては最長の発振波長 150 μ m を達成した[2]。これに加えて、昨年度より赤外領域で単一通過型 FEL (Self-Amplified Spontaneous Emission; SASE) の原理検証のための研究を開始した[3]。SASE は、共振器を構成できるようなミラーのない X 線領域で、レーザーを実現するための有力な候補の一つと考えられている。阪大産研では 1991 年に波長 20 μ m と 40 μ m で最初の SASE を観測している[4]。現在は、共振器ミラーの一つを取り外し、他の一つの曲率半径を変更するといった最小限度の変更だけで、既存の FEL システムをそのまま利用した実験を行っている。昨年の本研究会

では、SASE の光強度の K 値依存性と電荷量依存性についての報告をおこなった。その後、電子銃からの入射パルスのピーク電流を増加させることにより、分光測定が可能になった。今回はこれまでに得られた波長スペクトルとその解析結果について報告する。

2. 実験配置

阪大産研の L バンド電子ライナックは 3 台の SHB により構成される入射器を持つ。単バンチ運転モードの時には、電子銃 (YU-156、EIMAC 社製) より最大ピーク電流 20A、パルス持続時間 5 ns の電子ビームが SHB システムに入射される。ここで 500ps 程度まで圧縮された電子パルスは加速周波数 1.3 GHz のプリバンチャー、バンチャー、主加速管により、11 から 32 MeV まで加速される。この電子ビームはアクロマティック輸送路により、FEL システムに導かれる。ウィグラーは、周期長 6 cm、周期数 32 の Halbach 型ウィグラーで、K 値は磁極間隔を変えることにより 0.013 から 1.472 まで可変で

^{*)} R. Kato, 06-6879-8486, kato@sanken.osaka-u.ac.jp

表 1. 電子ビームとウィグラーの主要パラメータ

Electron beam	
Accelerating freq.	1.3GHz
Energy	11-32 MeV
Energy spread	1.1-4 % (FWHM)
Charge/bunch	> 20 nC
Bunch length	20-30 ps
Peak current	> 1 kA
Normalized emittance	150-250 π mm mrad
Repetition	60 Hz
Mode	Single bunch
Wiggler	
Total length	1.92 m
Magnetic period	60 mm
No. of periods	32
Magnet gap	120-30 mm
Peak field	0.37 T
K-value	0.013-1.472

ある。この電子ビームとウィグラーの主要なパラメータを表 1 に示す。

SASE 実験時には、光共振器の上流側ミラーを取り外し、下流側ミラーを局率半径の異なるものに交換して、ウィグラー内で電子バンチが放射する光を下流側ミラーで一度反射して上流側に戻し、発振実験で用いている既設の光輸送路により、分光器に導く。輸送路の入射側は、0.2 mm 厚のダイヤモンド窓により、ライナック側の高真空と輸送路側の低真空が隔てられている。分光器は平面回折格子を用いたクロス・ツェルニー・ターナー型で、輸送路と同じ真空系に接続されている。分光器には、格子定数 0.126 と 0.2 の 2 種類の回折格子があり、ブレイズ波長は各々 113 μm と 179 μm である。分光器内の入射スリットの幅と回折格子の刻線数により波長分解が決まる。このときの波長分解はおよそ 2 μm 程度である。分光器により単色化された光は、2 mm 厚の単結晶水晶窓を通して大気中にとりだされ、液体ヘリウム温度に冷却された Ge:Ga 検出器に入射される。Ge:Ga 検出器は 105 μm に最高感度を持つ。それよりも短波長側では比較的なだらかに感度が減少するが、入射窓の短波長カットフィルターにより、最短の波長は 50 μm に制限される。長波長側で

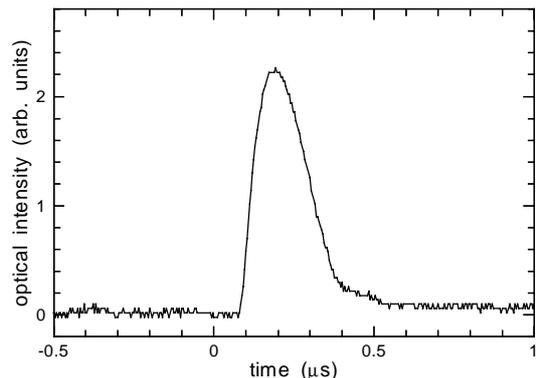


図 1. SASE 光の時間プロファイル。13 MeV の電子ビームが、 $K=1.472$ のウィグラーを通過した時の放射。実際の SASE 光の持続時間は電子ビームのバンチ長よりも短い数 ps と考えられるので、この時間プロファイルは Ge:Ga 検出器の時間応答性を示している。

は波長 110 μm から 140 μm にかけて急激に感度が減少するが、170 μm を超えるところまで僅かに感度を残している。そのため、非常に高強度の光に関しては長波長側でも検出が可能となる。

3. SASE 光の波長スペクトル

SASE 光の分光測定実験は 12-13 MeV の比較的低エネルギーの電子ビームと K 値が 1 以上となるウィグラー磁極間隔で行われた。Ge:Ga 検出器により実際に測定されるのは図 1 に示すような時間プロファイルを持つ信号である。この光信号のピーク値を波長の関数として波長スペクトルを求めた。これを図 2 に示す。このときの電子ビームのエネルギーは 12.8 MeV で、エネルギー広がりは 3.1 % (FWHM)、バンチあたりの電荷は 11.6 nC である。ウィグラー磁極間隔は 30, 32, 34 mm で各々の K 値は 1.47, 1.33, 1.19 である。この波長領域は大気中の水蒸気による光の吸収がもっとも顕著な領域であり、測定されたスペクトルの形が歪んだところには、それに対応する水蒸気の吸収が存在する。これは、単色化された光が分光器を出てから、検出器に入射されるまでに数 cm だけ大気中を通過することに起因すると考えられる。このスペースは、短波長カッ

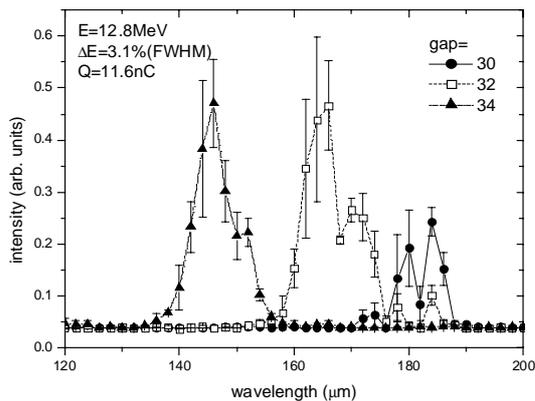


図 2. SASE 光の波長スペクトル。ブレード波長 113 μm の回折格子で分光測定した。電子ビームのエネルギーは 12.8 MeV で、エネルギー広がり は 3.1 % (FWHM)、バンチあたりの電荷は 11.6 nC である。

トフィルターの交換や、光を減衰させるためのテフロン板の挿入用に設けてあるが、予想以上に水蒸気による吸収が大きいことから、これらを真空内で行えるように準備を進めている。

図に示される波長スペクトルが水蒸気吸収により歪んでいるとして、磁極間隔が 34 mm のときの 150 μm 近傍の 3 つのデータ点をマスクして、ガウス分布をフィットさせるとその r.m.s.幅は 7.3 μm となる。この値は、1次元モデルで予測されるスペクトル幅 3.4 μm (r.m.s.) のおよそ 2 倍になっている。

また、磁極間隔 30 mm のスペクトルをより広い範囲で測定したものを図 3 に示す。この図で興味深いのは 90 μm 付近に見られる小さなピークである。これは、100 μm の短波長カットフィルターを挿入することによりこのピークだけがなくなることと、基本波のピークが 180 μm 付近に存在することから、2 次の SASE 光と推測される。通常、ウィグラー放射をビーム軸上で観測した場合、偶数次の光の位相は軸の左右で逆になるため、奇数次の光しか観測できないはずである。2 次光が観測されたということから、ビーム軸と光輸送の軸との間に僅かなずれがあるか、電子ビームの断面や磁場分布に非対称性が

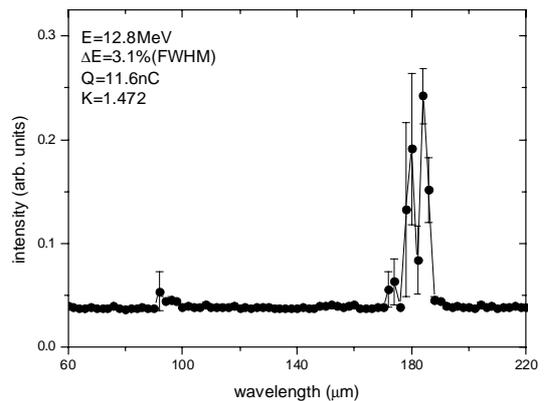


図 3. SASE 光の波長スペクトル。図 2 に示された磁極間隔 30 mm のスペクトルの表示範囲を拡大したもの。90 μm 付近に小さなピークが見られ、100 μm の短波長カットフィルターを挿入することによりこのピークだけがなくなることが確認された。

あり、完全には打ち消しあわなかった可能性がある。

4. まとめ

我々はサブミリ波領域で SASE 光を分光測定した。この領域では、SASE のスペクトル幅は 1 次元モデルで予測される幅の 2 倍程度に広がっている。また 2 次の SASE 光と推測される光を観測した。

参考文献

- [1] S. Okuda, et al., Proceedings of the 24th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sapporo, July 7-9, 1999, p.164.
- [2] R. Kato, et al., Proceedings of the 24th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sapporo, July 7-9, 1999, p.54.
- [3] T. Okita, et al., Proceedings of the 24th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sapporo, July 7-9, 1999, p.57.
- [4] S. Okuda, et al., Nucl. Instr. and Meth. A331 (1993) 76.