

[F18p36]

Establishment of a light source by using coherent radiation and optical absorption spectroscopy

K. Yokoyama, Y. Miyauchi, M. Nakamura, S. Okuda, R. Kato, T. Takahashi[†]

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

[†]*Research Reactor Institute, Kyoto University*

Kumatori, Osaka 590-0494, Japan

Abstract

Coherent radiation is observed in the processes such as synchrotron radiation and transition radiation at wavelengths about or longer than the bunch length. By using the coherent radiation an intense light source at wavelength in a sub-millimeter and millimeter region is expected to be realized. At the Institute of Scientific and Industrial Research in Osaka University, characteristics of the radiation have been measured and optical absorption spectra of N₂O gas have been observed.

コヒーレント放射を用いた光源の確立と吸収分光測定

1. はじめに

阪大産研 L バンドライナックは特殊なバンチャーシステムを持ち、極めて高強度の単バンチ電子ビームを発生することができる。最近、この単バンチビームを用い、赤外自由電子レーザーや、コヒーレント放射の研究が行われている。

電子ビームからのコヒーレントな放射は、電子のバンチ長と同程度かより長い波長域で観測される。産研ライナックの電子ビームから、サブミリからミリ波領域で、通常のインコヒーレントな放射よりも強度が最大10桁増大した光が観測されている¹⁾。

本研究では、光源の諸特性を測定し、利用研究を確立するためにN₂Oガスの吸収分光測定を行った。

2. コヒーレント放射の原理と特徴

1個の電子バンチからのコヒーレント放射のスペクトル強度 $P_{coh}(\lambda)$ は、

$$P_{coh}(\lambda) = p(\lambda)[N + N(N-1)f(\lambda)] \\ = P_{incoh}(\lambda)[1 + (N-1)f(\lambda)] \quad (1)$$

$P_{incoh}(\lambda)$: 電子バンチからの

インコヒーレントな放射の強度

$p(\lambda)$: 電子1個からの放射の強度

N : バンチ内の電子の個数

となる²⁾。(1)式の右辺第1項はインコヒーレントな成分の寄与を、第2項はコヒーレントな成分の寄与を表

す。ここで $f(\lambda)$ はバンチ形状因子と呼ばれ、

$$f(\lambda) = \left| \int \exp(i2\pi x / \lambda) S(x) dx \right|^2 \quad (2)$$

x : 電子ビームの軸上の座標

$S(x)$: 電子の密度分布

で表される。(1)式よりバンチ形状因子が1に近い、すなわち波長がバンチ長より大きいと、コヒーレントな成分の寄与が長くなり、また波長が比較的短く形状因子が0に近いとコヒーレントな成分の寄与が小さく、強度が弱くなる。

短い時間幅の電子バンチからのコヒーレント放射は、遠赤外の波長域で連続スペクトルを持つ、ピコ秒パルス光である。またそれぞれの放射過程特有の偏光特性を持つ

3. 実験条件

放射の特性測定配置を図1に示す。単バンチ電子ビームのエネルギーは28MeV、バンチあたりの電荷量は約30nC(最大73nC)、ビームの繰り返しは60pps(最大720pps)、バンチの時間幅は20~30ps(FWHM)である。光は金をコートした反射鏡により輸送し、凹面鏡により平行光とした上で分光器に導いた。また、加速管でのマイクロ波の位相を通常の加速条件から安定位相側に30°ずらした。放射強度が増加した時のエネルギースペクトルを図2に示す。また、図3にストリークカメラによる電子ビームの形状を示す。バンチ形状は細い構造を持って変化していることが分かる。

放射過程としてはシンクロトロン放射を用いた。シンクロトロン放射はFEL輸送系の偏向電磁石からの放射を利用し、

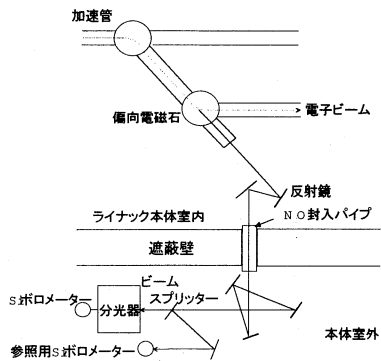


図1 放射特性及び吸収スペクトルの測定配置

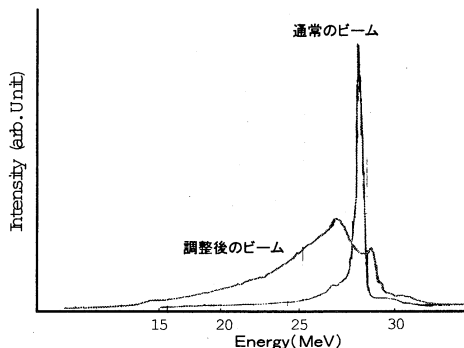


図2 電子ビームのエネルギースペクトル

光を測定しやすいように本体室外へ導いた。光路の一部の領域を除きロータリーポンプにより真空とした(約 10torr)。

分光器には回折格子を使用した。バンドパスフィルターにより高調波を除いた上で、液体ヘリウム冷却 Si ボロメータによって光を検出した。ビームの変動による光の強度変化を補正するために、入射光の一部をビームスプリッターで分け参照光とし、1~2mm の波長領域での放射強度をモニターした。

偏光特性の測定では、参照用の Si ボロメータの前に偏光子として太さ 10 μm、間隔 25 μm のワイヤーグリッドを設置し、これをワイヤーが水平の状態から 10° ずつ回転させた。

4.放射特性測定

1~2mm の領域において放射の測定を行った。そのスペクトルを図4に示す。強度は本実験の測定結果に基づき受光角を 0.1sr とした。

通常の単バンチビーム条件(エネルギースペクトルの幅が狭くなるように調整したとき)とバンチ形状を変化させたときの放射のスペクトルを示す。またそのとき、インコヒーレントな放射と比較して平均強度でおよそ 8 桁強度が強い。

図の実線はインコヒーレントな放射の理論強度を、点線はバンチの形状を電荷量 30nC の三角形状としたときのコヒーレント放射の理論値をそれぞれあらわす。ストリークカメラの結果から、条件を崩すとそれまで三角形状であったバンチのが 2 つに分かれていることがわかる。これを半値 10ps と 15ps の三角形状であると仮定すると、30psの三角形状と比較して強度がおおよそ 1000 倍となり、測定から得られた結果と同様の傾向を示す(図破線)。これ

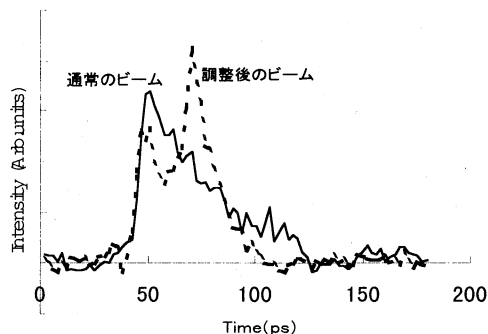


図3 ストリークカメラで測定したバンチ形状 (パルス波形の面積が等しくなるように規格化した。)

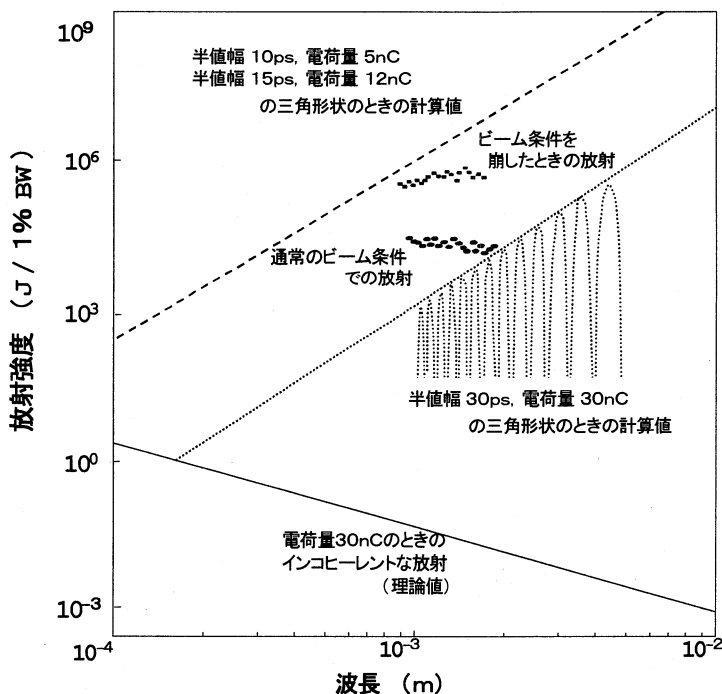


図4 コヒーレント放射のスペクトルの測定結果と理論値との比較 (●は通常のビーム条件、■は電子の加速管でのマイクロ波の位相をずらしたときのコヒーレント放射のスペクトルを、また点線は半値幅 30ps の三角形状、破線は半値幅 10ps 及び 15ps の三角形状と仮定した場合の二つのバンチからの放射の理論強度を示す。)

はバンチの形状が小さくなることによって個々のバンチの電荷量は減少するが、(2)式の $f(\lambda)$ が増大するために結果として放射強度が増加すること示している。

図5にコヒーレント放射の偏光特性を示す。偏光度は水平方向で 0.79 と、シンクロトロン放射の特徴を反映し、水平方向に偏光していることが分かる。

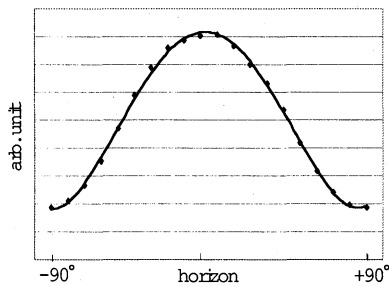


図5 偏光子の回転角と透過率の関係

放射強度の長期的な(30秒おき、5分間、平均化60回)安定性は通常のビーム条件で7%であった。バンチ形状を変化させた場合の安定性は2%以下となった。

5. 吸収分光測定

光源の基礎を確立するために N_2O の回転遷移に対応する遠赤外領域での吸収スペクトルを測定した。

N_2O ガスは図1に示した遮蔽壁に通したパイプ(3.3m)に封入した。

図6に N_2O の $770 \sim 870 \mu m$ の領域での回転量子数 J13・J14 に対応する吸収スペクトルを示す。これらの吸収を示す波長の値は計算から得られる値³⁾とよく一致しており、この結果から波長較正を行うことができる。また図7に回転遷移 J14 に対応する吸収のガス圧依存性を示す。 N_2O のガス圧が高くなるにつれ光の透過率が低くなり、スペクトル幅が広がっていることがわかる。比較的低い圧力でのスペクトル幅から得られる光学系の波長分解能は約1%で、これはスリット幅などから計算される値と一致している。

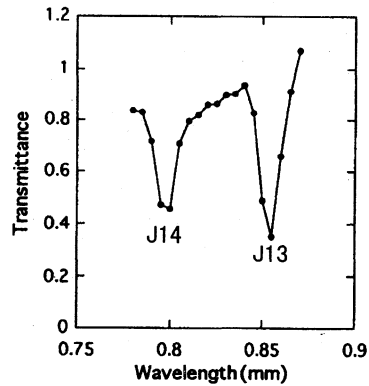


図6 N_2O ガスの吸収スペクトル

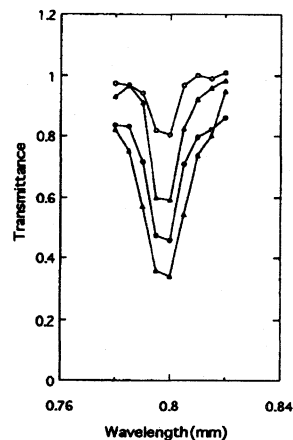


図7 N_2O ガスの J14 に対応する吸収スペクトルのガス圧依存性
(ガス圧は上から 50, 100, 250, 500 Torr)

6. まとめ

本研究により新しい遠赤外光源として利用するための、コヒーレントなシンクロトロン放射の特性を観測した。この放射は、インコヒーレントな放射と比べ平均強度で約8桁高強度である。

また、 N_2O 吸収分光測定を行い良好な結果が得られた。今後光源の整備を進め、ピコ秒単パルス・コヒーレントな特性を活かした利用研究を行う。

参考文献

- 1) J. Ohkuma, S. Okuda, and K. Tsumori, Phys. Rev. Lett. 63 (1991) 1967
- 2) 柴田 行男, 伊師 君弘, 小山田 正幸, 放射光 第5巻第1号 (1992) 13
- 3) K. Narahari, R.V. de Vore, and Earle K. Plyler, J. Research NBS 67A, No. 4 (1963) 351