

[P8-05]

Far-Infrared Light Source Using the Coherent Radiation from the Single-Bunch Electron Beam and Its Application

M. Nakamura, K. Yokoyama[†], M. Takanaka, 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, Sennan, Osaka 590-0494, Japan

Abstract

The coherent radiation from the electron beam is expected to be used for a new far-infrared light source. The main characteristics of the light source using the coherent radiation are continuous spectrum, high intensity, pico-second short pulse and polarization. In the present work the characteristics of the coherent radiation from the single-bunch beam of the L-band linac at the Institute of Scientific and Industrial Research in Osaka University, have been measured and the absorption spectra of water for the far-infrared light have been measured. The coherent radiation is synchronized with an electron beam. Preliminary experiments of pulse radiolysis have been performed.

単バンチ電子ビームからのコヒーレント放射による遠赤外光源とその応用

1. はじめに

高エネルギー電子ビームからのコヒーレント放射は、ミリ波・サブミリ波領域において連続スペクトルを持つ高強度のパルス光源として期待され、利用研究の準備が進められている。

阪大産研 L バンド電子ライナックでは、光源としての確立を図るため、単バンチ電子ビームからのコヒーレント放射の光源としての特性測定を行い、また遠赤外分光の光源としての利用研究も進めている。

今回、コヒーレントシンクロトロン放射の光源としての特性測定および利用研究として水の吸収分光測定を行った。また、コヒーレント放射が電子ビームと同期しているという特徴を利用し、コヒーレント放射を分析光に用いたパルスラジオリシス法の予備実験についても併せて報告する。

2. コヒーレント放射の原理と特徴

コヒーレント放射は、ライナックによって加速された電子バンチの長さと同程度あるいはそれ以上の長波長領

域で観測される。コヒーレント放射の強度はバンチ内の電子数の二乗に比例し、1電子バンチからの放射強度は、次式のように与えられる。

$$P(\lambda) = p(\lambda)N[1 + (N-1)f(\lambda)] \quad (1)$$

p : 1電子からのインコヒーレントな放射強度

N : 1バンチ内の電子の個数

λ : 放射の波長

ここで、 $f(\lambda)$ はバンチ形状因子と呼ばれ、放射強度に対するコヒーレントな成分の寄与を表す因子で次に示すようにバンチ内の電子の分布関数で表される。

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

$S(x)$: 規格化された電子の分布関数

x : 電子ビームの軸上の距離

放射過程としては、シンクロトロン放射、遷移放射やチェレンコフ放射などがある。これらはそれぞれの過程に依存してインコヒーレントな放射と同じ偏光特性を持つ。今回、電子ビームが磁場によって曲げられた際に

[†] 現 住友重機械工業 (株)

軌道の接線方向に放射するシンクロtron放射を放射過程として選択し、これを光源として利用した。

阪大産研では、単バンチ電子ビームからのコヒーレント放射を測定してきた。この特徴として、バンチがマイクロ波の周期で列をなすマルチバンチ電子ビームと違い、放射強度にバンチ間干渉による微細な振動が現れない。従って分光測定的光源として利用する際に波長分解能が制限を受けない。また、産研ライナックの1電子バンチあたりの電荷量は最大 73 C と多く、得られるコヒーレント放射の強度も大きい。また、ピコ秒短パルス光という特徴がある。

3. 集光特性の測定

コヒーレント放射の集光性は、電子ビームの質や光の回折などによって決まると考えられるが、狭い部分の測定などには重要な特性である。

集光された点でのコヒーレントシンクロtron放射の分布を図1に示す。偏向磁石から立体角約 0.1 sr で放射されたシンクロtron放射を反射鏡により本体室外へ輸送し、分光器通過前の光を平行光束になおし測定した。この光を焦点距離 250 mm のミラーで集光した場合、約 10 mm に集光されるという結果が得られた。

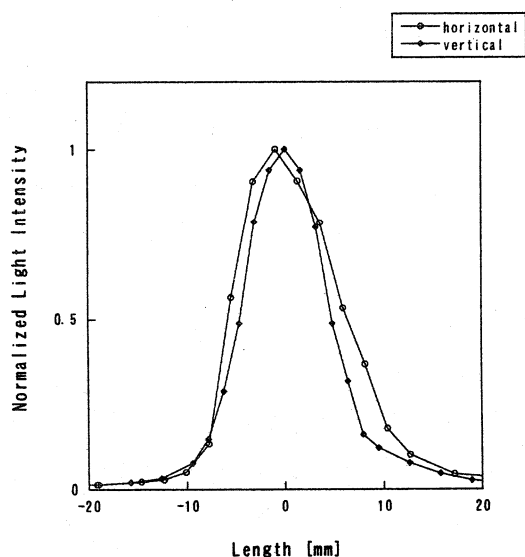


図1 集光された点でのコヒーレントシンクロtron放射の強度分布 (ピーク値で規格化)

4. 吸収分光測定

新しい遠赤外光源を確立するため、単バンチ電子ビームからのコヒーレントシンクロtron放射を光源に利用して水の吸収分光測定を行った。電子ビームの条件を表1、測定配置の模式図を図2に示す。

偏向磁石からのシンクロtron放射を加速器室外へ輸送し、回折格子による分光器で分光した。回折格子通過後の光の一部をビームスプリッター(50 μm PET フィルム)で分割し、参照光として測定した。このようにビームの変動を補償した場合の安定性は $\pm 1.6\%$ であった。検出器には液体ヘリウム冷却 Si ボロメータと InSb ボロメータを使用した。高調波を取り除くため 700 μm ロングウェーブパスフィルターを使用している。

表1 電子ビームの条件

単バンチ電子ビーム	
ビームエネルギー	:27 MeV
電荷量	:30 nC/bunch
パルス幅	:20-30 ps (FWHM)
繰り返し	:60 pps

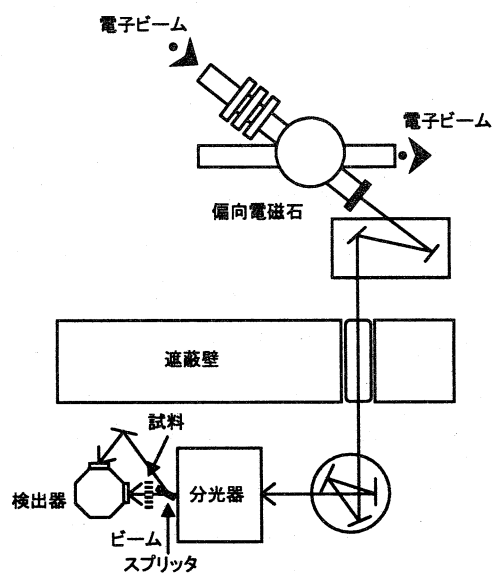


図2 コヒーレントシンクロtron放射による吸収分光測定系

図3に水の吸収スペクトルの測定結果を示す。水膜の厚さは $200 \mu\text{m}$ である。この図で波長 $900 \mu\text{m}$ 以下の広い波長域で比較的大きな吸収が観測される。また、試料を透過した光の強度は、入射光と比べかなり減衰しているが、この測定における迷光の影響は無視できる。

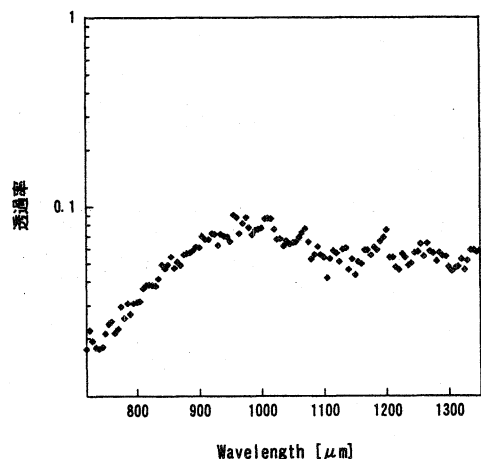


図3 厚さ $200 \mu\text{m}$ の水の吸収スペクトル

5. 遠赤外パルスラジオリシスのための予備実験

電子ビームからのコヒーレント放射には、電子ビームと完全に同期のとれた短パルス光という特徴もある。これはパルスラジオリシス(放射線活性種の時間的挙動を測定する手法)に要求される特性である。この特性を利用し、コヒーレント放射を分析光に使用した遠赤外パルスラジオリシス法の基礎を確立するために、光の遅延時間を固定して吸収分光測定を行った。その配置の様式図を図4に示す。電子ビームが Al フォイルを通過する際に発生するコヒーレント遷移放射を分析光に使用した。この場合の電子線と分析光の時間差は 3.7 ns に固定し、分光後の光時間幅は約 300 ps である。

試料にはアルカリハライド結晶の CsI 結晶を用い照射線照射効果を調べた。今回の予備実験で得られた結果には、照射/非照射で有意な差は見られなかったが、パルスラジオリシス実験システムとしての有効性が確認された。

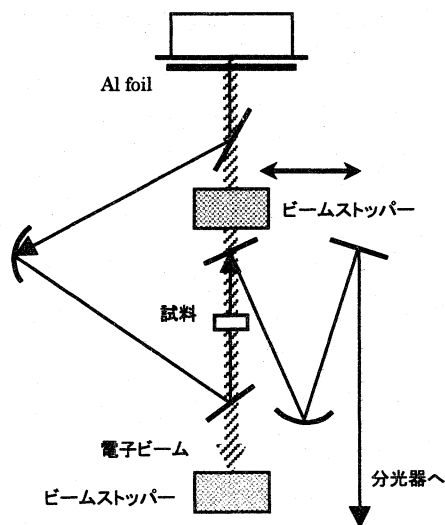


図4 パルスラジオリシスの実験配置図

6. まとめ

コヒーレント放射による遠赤外光源の確立を図るため、放射の基礎特性を測定し、コヒーレントシンクロトロン放射を光源に用いた水の吸収分光測定を行った。また、コヒーレント放射を分析光として使用した遠赤外パルスラジオリシスの予備実験も行った。

現在、放射過程を遷移放射にした場合の光源としての特性測定および測定システムの構築を行っている。遷移放射の場合、電子ビームを曲げないため電子ビームにのわずかなエネルギー変動の影響を受けにくく、光の安定性が向上するという利点がある。この利点を生かした吸収分光測定を今後行う予定である。

参考文献

- [1] K. Yokoyama et al., Proc. of the 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan (1997) 290.
- [2] K. Yokoyama et al., Proc. of the 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan (1998) 417.