

パラメトリック X 線の観測に向けたイメージングプレートの性能評価

高林雄一

九州シンクロトロン光研究センター

相対論的な荷電粒子が結晶に入射した際、ブラッグ条件を満たす方向に X 線が生成されることが知られており、この放射現象はパラメトリック X 線 (parametric X-ray radiation: PXR) と呼ばれている。本研究では、PXR をビーム診断技術[1-4]に応用することを目的とし、FUJIFILM のイメージングプレート (BAS-SR) とイメージングプレートリーダー (BAS2500) を用いて PXR の角度分布の測定を行ってきたが、最近、そのイメージングプレートリーダーの代わりに、新しいイメージングプレートリーダー (Baker Hughes CRxVision) が導入された。そこで、本研究では、PXR の角度分布測定に向けて、新イメージングプレート (IPU, IPS, IPC2 の 3 種類) の性能評価を行うことを目的とする。

実験は、九州シンクロトロン光研究センターのリニアックからの 255 MeV 電子ビームを厚さ 20 μm の Si 結晶に入射させた際に生成される PXR を利用して行った。Si 結晶は真空チェンバー内に設置された 2 軸回転ゴニオメーターにインストールし、32.2°方向に生成される PXR を厚さ 250 μm のベリリウム窓を通して大気中へと取り出した。回折面として(220)面を用いたので、ブラッグエネルギーは 11.6 keV と計算される。結晶から 1 m 離れた位置に 3 種類のイメージングプレートを設置し、PXR の角度分布の測定を行った。実験の結果、3 種類のイメージングプレートの中で 1 番感度が高かったのは IPC2 タイプ、2 番目は IPS タイプ、3 番目は IPU タイプであった。一方、S/N 比が 1 番高かったのは IPU タイプ、2 番目は IPS タイプ、3 番目は IPC2 タイプであることがわかった。これらの結果はイメージングプレートのカタログ性能と一致していた。これらの結果を踏まえ、今後、実験条件に応じてイメージングプレートを使い分け、PXR の角度分布の測定を行っていく予定である。

参考文献

- [1] Y. Takabayashi, Phys. Lett. A **376**, 2408 (2012).
- [2] Y. Takabayashi, K. Sumitani, Phys. Lett. A **377**, 2577 (2013).
- [3] Yu. A. Goponov, S. A. Laktionova, R. A. Shatokhin, M. A. Sidnin, K. Sumitani, Y. Takabayashi, I. E. Vnukov, Phys. Rev. Accel. Beams **22**, 082803 (2019).
- [4] Yu. A. Goponov, R. A. Shatokhin, K. Sumitani, Y. Takabayashi, I. E. Vnukov, Nucl. Instrum. Methods A **996**, 165132 (2021).

パラメトリックX線の観測に向けたイメージングプレートの性能評価

高林 雄一

九州シンクロトロン光研究センター

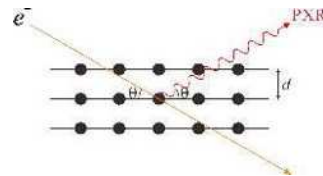
背景・目的

従来、リニアックの電子ビームの高精度プロファイルモニターとして、可視遷移放射 (optical transition radiation: OTR) が用いられてきたが、X線自由電子レーザー用リニアックのように、パンチ長が極端に短い場合、OTRがコヒーレントになり、ビームのプロファイル測定に利用できないことが判明した。コヒーレントになることを防ぐには、より波長の短い光を利用する必要がある。そこで、本研究では、パラメトリックX線 (parametric X-ray radiation: PXR) の利用を提案し、その原理の検証実験を行ってきた。

PXRとは、相対論的な荷電粒子が結晶に入射した際、ブラッグ条件を満たす方向にX線が放射される現象である。電子のまわっている疑似的光子が結晶によって回折される現象と解釈することができる。本研究では、PXRをビーム診断技術[1-4]に応用することを目的とし、FUJIFILMのイメージングプレート (BAS-SR) とイメージングプレートリーダー (BAS2500) を用いてPXRの角度分布の測定を行ってきたが、最近、そのイメージングプレートリーダーの代わりに、新しいイメージングプレートリーダー (Baker Hughes CRxVision) が導入された。そこで、本研究では、PXRの観測に向けて、新イメージングプレート (IPU, IPS, IPC2の3種類) の性能評価を行うことを目的とする。

- [1] Y. Takabayashi, Phys. Lett. A **376**, 2408 (2012).
- [2] Y. Takabayashi, K. Sumitani, Phys. Lett. A **377**, 2577 (2013).
- [3] Yu. A. Goponov, S. A. Laktionova, R. A. Shatkhin, M. A. Sidrin, K. Sumitani, Y. Takabayashi, I. E. Vnukov, Phys. Rev. Accel. Beams **22**, 082803 (2019).
- [4] Yu. A. Goponov, R. A. Shatkhin, K. Sumitani, Y. Takabayashi, I. E. Vnukov, Nucl. Instrum. Methods A **996**, 165132 (2021).

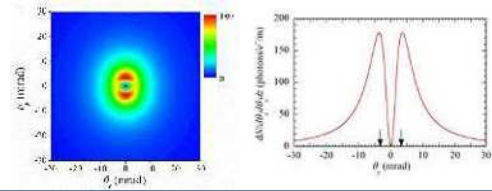
パラメトリックX線 (PXR)



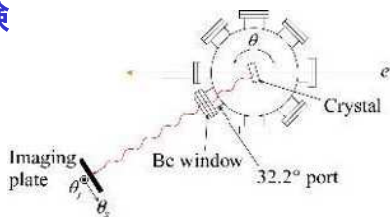
電子のまわっている疑似的光子が結晶によって回折される現象

$$\lambda = 2d \sin \theta$$

PXRの角度分布



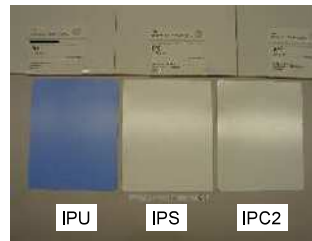
実験



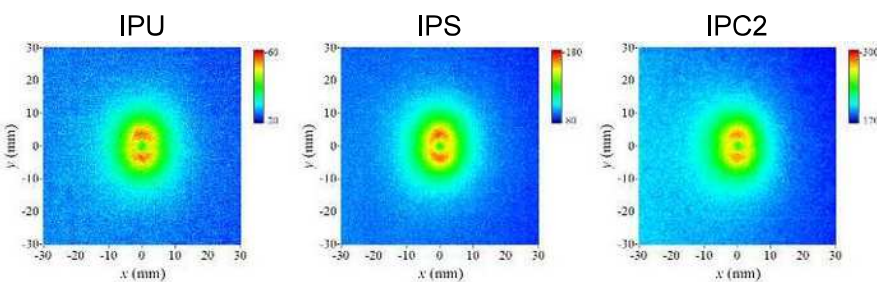
| | |
|------------|---|
| 電子ビーム | エネルギー: 255 MeV, 平均電流: 7 nA ビームの大きさ: $\sigma_x \approx 0.3$ mm, $\sigma_y \approx 1.3$ mm ビームの角度ひろがり: $\sigma_x \approx 0.1$ mrad, $\sigma_y \approx 0.1$ mrad |
| 標的 | 20 μ m厚シリコン単結晶 回折面: (220) ブラッグエネルギー: 11.6 keV |
| イメージングプレート | Baker Hughes IPU, IPS, IPC2 |

イメージングプレート
BaFBr:Eu²⁺
250 mm × 200 mm

イメージングプレートリーダー
Baker Hughes CRxVision



実験結果



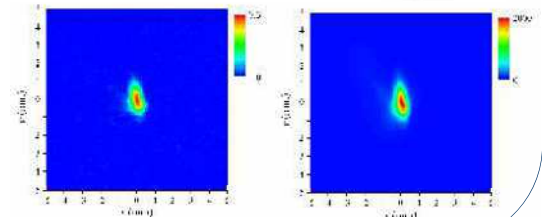
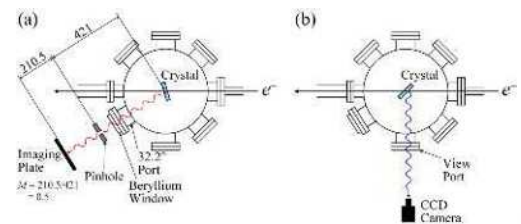
| | IPU | IPS | IPC2 |
|----------------------------------|--------------|----------------|-----------------|
| ピーク強度 | 60 | 180 | 300 |
| バックグラウンド強度 | 20 | 80 | 170 |
| PXRピーク強度 = ピーク強度 - バックグラウンド強度 | 60 - 20 = 40 | 180 - 80 = 100 | 300 - 170 = 130 |
| 規格化PXRピーク強度 | 1に規格化 | 2.5 | 3.3 |
| S/N比 | 40/20 = 2.0 | 100/80 = 1.3 | 130/170 = 0.76 |

ビーム診断技術への応用例

PXRを利用したピンホールカメラ法による電子ビームプロファイル測定

PXR (パラメトリックX線)

OTR (可視遷移放射)



まとめ

- PXRを利用したビーム診断技術の開発
- PXRの角度分布測定に使用するイメージングプレートの性能評価
イメージングプレートの感度: IPC2 > IPS > IPU
イメージングプレートのS/N比: IPU > IPS > IPC2
- この結果を踏まえ、今後、実験条件に応じてイメージングプレートを使い分け、PXRの角度分布測定を行う。

謝辞

イメージングプレートリーダーの取り扱い方法についてご教示いただいた馬込栄輔氏 (九州シンクロトロン光研究センター) に感謝いたします。

PXRを用いたビーム診断技術の応用研究は、I. E. Vnukov氏 (ロシア Belgorod National Research University) のグループとの共同研究によるものです。