

PULSE STRUCTURE OF THE PXR INTENSITY AT LEBRA, NIHON UNIVERSITY*

Kyoko Nogami^{1,A)}, Manabu Inagaki^{B)}, Yasushi Hayakawa^{A)}, Ken Hayakawa^{A)}, Toshinari Tanaka^{A)},
Takeshi Sakai^{B)}, Keisuke Nakao^{A)}, Tatsuya Takikawa^{C)}, Isamu Sato^{B)},

^{A)} Institute of Quantum Science Nihon University, 7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba, 274-8501

^{B)} Advanced Research Institute for the Science and Humanities Nihon University,
12-5 Gobancho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8251

^{C)} College of Science and Technology Nihon University, 1-8-14 Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-8308

Abstract

Since the LEBRA-PXR system is driven with the long pulse duration of 10 μ s, the transition of PXR state in the pulse is one of the most significant problems to understand its behavior. Thus, the pulse structure of the PXR intensity is measured with a scintillation detector. As the results, the correlation between the electron beam spot size on the target crystal and the pulse structure of PXR intensity is observed. Typically, the PXR intensity rapidly changes in the case of the small electron beam spot. Additionally, the pulse structure strongly depends on the angle of the second crystal. Therefore, these results suggest that the state of the target crystal such as distortion and thermal strain changes associated with the electron beam bombing.

日大LEBRA-PXR強度の時間構造

1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設(LEBRA)では、125MeV電子線加速器を基盤としたパラメトリックX線放射(PXR)によるX線源の開発を行い、2004年から利用実験を開始している。現在までに、LEBRAでは5.0-20keVまでの連続エネルギー可変単色X線の発生に成功しており、X線吸収微細構造(XAFS)やイメージング等に应用されている^[1]。

PXRの従来の研究では、光子数計測による測定が主体であったため、電子ビーム照射に伴う時間的に速い変動についての研究が不十分であった。LEBRA-PXRの場合、比較的マクロパルス幅の長いリニアックを用いているので、マクロパルス内でのPXR強度の時間変動が重要になる。そこで、シンチレーション検出器を導入しPXR強度の時間構造の基礎的な実験が行われ、実際のマクロパルス幅10 μ sでの時間構造を測定できることが確認された^[2]。さらに、PXR強度の時間構造について詳細に調べるため、シンチレーション検出器を用いて電子ビーム形状と時間構造の関係について検証を行った。

2. 電子ビーム形状とPXR強度の時間構造

電子ビームの集束条件を変え、電子ビーム形状とそのとき得られるPXR強度の時間構造の関係について調べる。図1に実験のセットアップを示した。PXR発生装置直前に設置された金属薄板、または、PXR発生装置の第1結晶(PXR発生用ターゲット結晶)

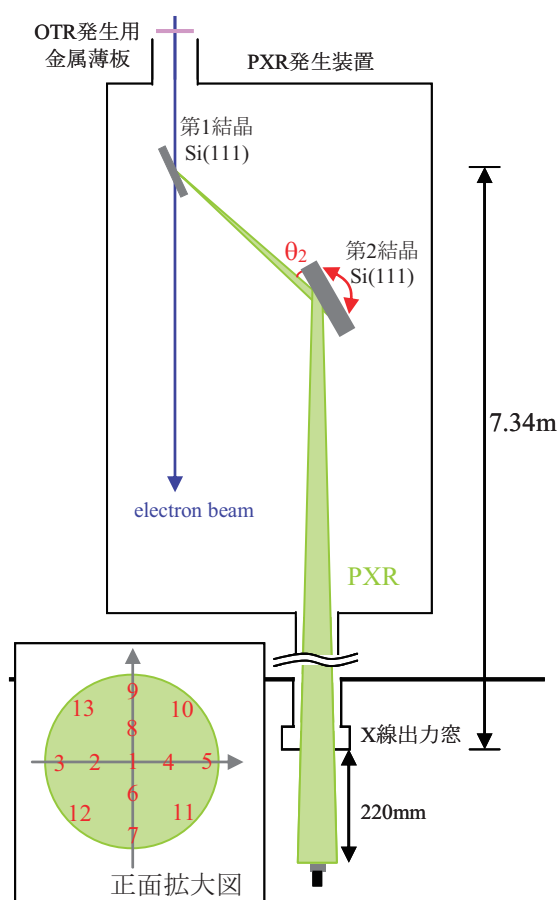


図1: 本実験セットアップ

*本研究は文部科学省学術フロンティア推進事業(継続)(平成17~19年度)

¹ E-mail: nogami@lebra.nihon-u.ac.jp

に電子ビームが照射した際に発せられる遷移放射光 (optical transition radiation: OTR)を利用して電子ビームの形状を確認した。このとき、9.661 keV、16 keV、18.98 keVのPXR強度の時間構造をシンチレーション検出器で測定した。それぞれの電子ビーム形状で得られた時間構造を16パルス分平均した結果、電子ビームサイズが数mm以上の場合には、マクロパルス内でほぼ一様なPXR強度が得られたが、電子ビームを1mm以下に集束した場合は1-2 μ s程度のパルス幅でしかPXR強度が得られなくなるという傾向が確認された(図2)。PXRエネルギーを変えても同様な結果が得られることから、電子ビーム形状と得られるPXR強度の時間構造に相関があると考えられる。これは、水平方向(PXRエネルギー分散方向)に集束した場合、特に顕著に現れた。

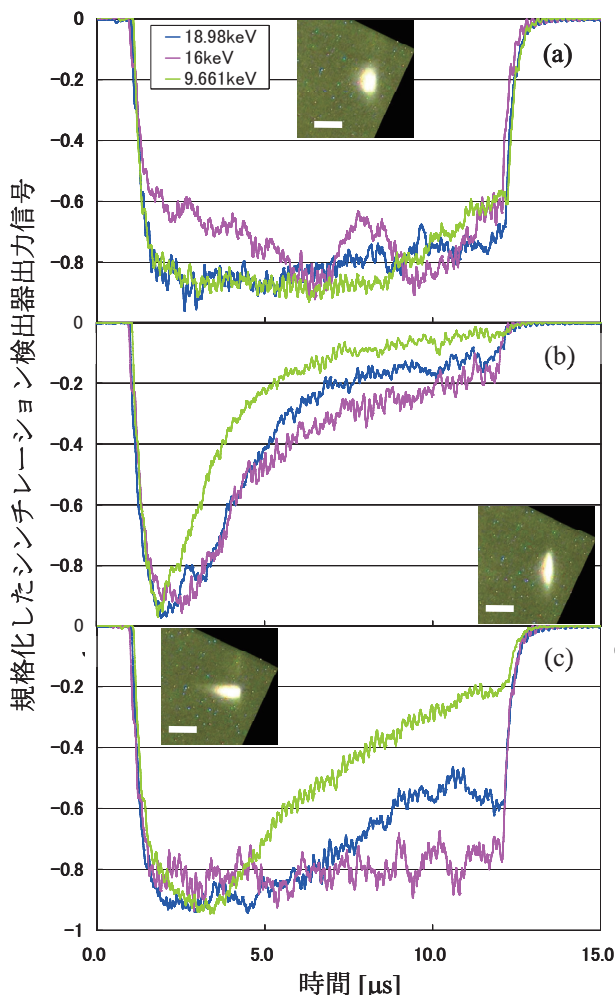


図2：電子ビーム形状とPXR強度の時間構造
電子ビーム形状(縦x横)が、約(a)3x3 mm、(b)3x1 mm、(c)1x3 mmの場合についてPXRエネルギー18 keV(青)、16 keV(ピンク)、9.661 keV(黄緑)それぞれ16パルス平均した時間構造を示す。図中のOTR画像は、PXRエネルギー16keVのとき第1結晶で発生したものであり、スケールバーは3 mmを表す。

2.1 回折曲線と時間構造

次に、第2結晶(反射板)の角度 θ_2 を変化させたときに得られるPXR強度の時間構造の変化の測定を行った。今回はPXRエネルギー9.661 keVおよび16 keVのとき、各電子ビーム形状について回折曲線を測定した。そこで得られた時間構造を16パルス分平均し、さらにそれをマクロパルス内で3分割して各時間での出力電圧の積分値(絶対値)を求め、出力窓サイズ(ϕ 100 mm)のイオンチェンバで得られたPXR強度と比較した。その結果、電子ビームサイズが数mm以上の場合、PXR強度は回転角 θ_2 に対してマクロパルス内のどの時間でもほぼ同じ回折曲線を描くことがわかった。一方、電子ビームサイズを1 mm以下に集束した場合は、マクロパルスの前半と後半では回折曲線に顕著な違いが見られ、各時間での積分強度が強くなる角度が異なり、さらにマクロパルスの後半で強度が強くなるような角度があることがわかった(図3)。

2.2 空間分布

PXRは、ホロービーム状のビームプロファイルを示すという特徴がある^[3]。そこで、PXRビームプロファイル各部でのPXR強度の時間構造の変化を調べ

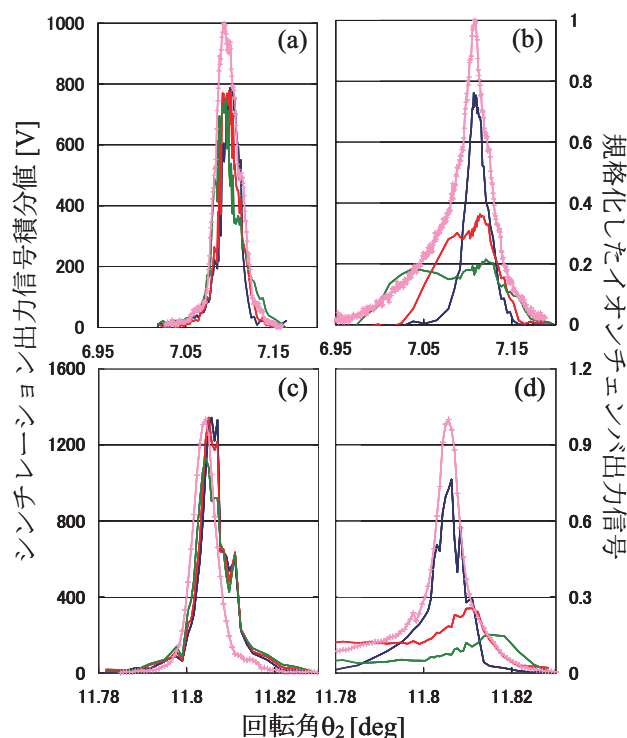


図3：マクロパルス内の各時間における回折曲線
得られたPXR強度の時間構造を16パルス分平均し、さらにマクロパルスを3分割(青、赤、緑の順)して各時間での回折曲線を示した。各図の電子ビーム形状(縦x横)とPXRエネルギーは、(a)約3x3mm/16keV、(b)約3x1mm/16keV、(c)約3x3mm/9.661keV、(d)約3x1mm/9.661 keVである。また、X線出力窓サイズのイオンチェンバの出力信号を規格化したもの(ピンク)も示した。

るために、X線出力窓に対してシンチレーション検出器の位置を移動させ計13箇所の時間構造を測定した(図1正面拡大図)。このときのPXRエネルギーは、9.661 keVで、第2結晶の角度 θ_2 はシンチレーション検出器をX線出力窓の中心(図1正面拡大図中の1)に設置したとき、PXR強度が最大となる角度に固定した。電子ビームサイズが数mm以上の場合、PXR強度の時間構造はPXRビームプロファイル各部で変化していることがわかる。これに対して、電子ビームサイズを1 mm以下に集束させた場合は、PXRビームプロファイル各部の強度分布を反映しているだけで、時間構造に変化はみられなかった(図4)。

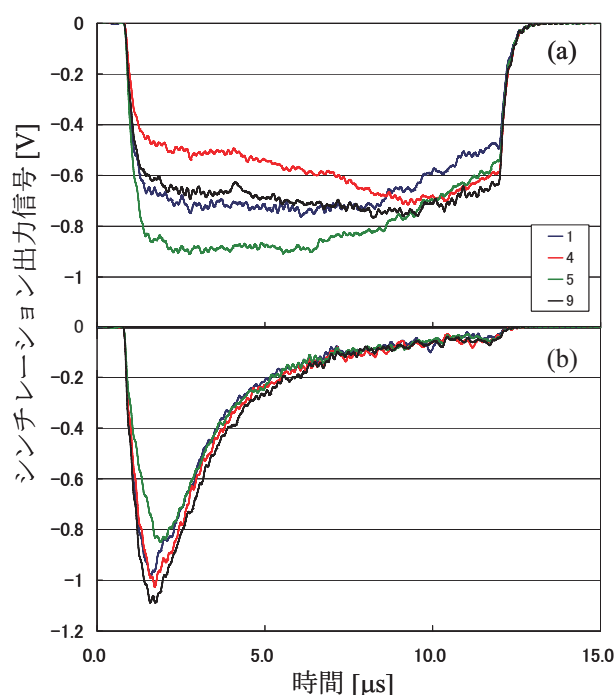


図4：PXRビームプロファイルに対する時間構造
(a)電子ビーム形状が径3mmのとき、PXRビームプロファイルの中心に対して時間構造の変化が顕著だった部分を示した(図1における1、4、5、9の位置)。(b)電子ビーム形状が3x1 mm(縦x横)のとき(a)と同じ位置での比較。得られた時間構造は、16パルス分平均したものである。

3. 考察とまとめ

今回、シンチレーション検出器を用いてPXR強度の時間構造を測定した。その結果、電子ビーム形状とPXR強度の時間構造に相関があった。電子ビームサイズが数mm以上の場合、マクロパルス内でほぼ一様なPXR強度が得られるのに対して、電子ビームサイズを1 mm以下に集束すると1-2 μ s程度のパルス幅でしかPXR強度が得られないことがわかった。また電子ビームサイズを小さくした場合において、PXR強度の前半と後半では発生装置の第2結晶の角度 θ_2 による回折曲線に顕著な違いがあり、電子ビームマクロパルスの前半より後半でPXR強度が強くなる角度があることが認められた。これは、第1結晶の

ある状態で発生したPXRを優位に反射する第2結晶の角度 θ_2 が異なることを意味していると思われる。これらのことから、電子ビーム照射自体による第1結晶の状態変化(ゆがみ、熱ひずみ)がマクロパルス内で起こっていることが示唆され、電子ビーム形状によってもその変化の仕方に違いがあると考えられる。電子ビームサイズが数mm以上と大きい場合に比べて、1 mm以下に集束した場合の回折曲線はマクロパルス内の各時間で差が大きいことから、第1結晶の状態変化がより大きいと考えられる。さらに、X線ビームに対する空間分布の測定から、電子ビームサイズを小さくし1-2 μ s程度でPXR強度を得る場合のほうが、空間的にほぼ同じ時間構造となった。したがって、電子ビームサイズを特に水平方向に小さくし、電子ビームのマクロパルス幅を短くすることによって、第1結晶のある特定の状態で発生するPXR成分だけを得ることができ、精度の高い実験を行うことができると考えられる。

本研究は、文部科学省学術フロンティア推進事業(継続)(平成17~19年度)「可変波長高輝度単色光源の高度利用に関する研究」の支援を受けて行った。

参考文献

- [1] Y.Hayakawa et al., "Advanced Applications of PXR at LEBRA, Nihon University", International Conference on Charged and Neutral Particles Channelling Phenomena, Frascati (Rome), July, 2006
- [2] 滝川達也 et al., "NaI(Tl)シンチレーション検出器によるパラメトリックX線放射の時間構造測定", 文部科学省学術フロンティア推進事業(継続)「可変波長高輝度単色光源の高度利用に関する研究」シンポジウム 赤外自由電子レーザーとパラメトリックX線 利用研究の進展, Funabashi, Feb., pp141-143, 2007
- [3] M.Inagaki et al., "Performance Evaluation of DXAFS Measurement Using Parametric X-ray Radiation", Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Aug., pp526-528, 2006.