

200 素子超伝導検出器を用いた X 線吸収分光装置の開発 Improvement of X-ray absorption spectroscopy apparatus utilizing 200-pixel superconducting detector

志岐 成友^{1,2}, 藤井 剛²

¹産業技術総合研究所九州センター センシングシステム研究センター
〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町 807-1

²産業技術総合研究所つくば中央第二事業所 デバイス技術研究部門
〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1

Shigetomo SHIKI^{1,2,*} and Go FUJII²

¹Sensing System Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Shukumachi 807-1 Tosu Saga, 841-0052, Japan

²Device Technology Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology, Umezono 1-1-1 Tsukuba Ibaraki, 305-8568, Japan

1 はじめに

軟 X 線領域において部分蛍光収量による X 線吸収分光法でバルク材料を分析する際には、高感度かつ高分解能の X 線検出器が求められる。その理由は、蛍光収率が低いことと、多種多様な元素の特性 X 線が混在し線間隔が狭いことである。超伝導トンネル接合 (Superconducting Tunnel Junction: STJ) 検出器は、半導体検出器に比べて高いエネルギー分解能と、波長分散型分光器より高い感度を同時に実現する、次世代の X 線検出器である。

STJ 検出器が高感度と高分解能を兼ね備えるとはいえ、より高い感度が求められる。この解決のため 100 素子 STJ 検出器アレイを用いた X 線吸収分光装置(SC-XAFS)を開発した[1]。本装置は文科省ナノプラ/ARIM 事業を通じてユーザーに公開され、挿入光源を用い SiC:N や GaN:Mg など軽元素ドーパントの分析に利用された [2-4]。

同様の分析をベンディングマグネット光源で実現することを目指し、アレイ規模やの拡大、素子や軟 X 線ウィンドウの改良など、感度向上に取り組んで

いる。特に進展があった検出器の素子数を従来の 2 倍の 200 とした結果を報告する。

2 実験

実験に使用したビームラインは BL-11A である。使用した STJ 検出器アレイは、17mm 角のシリコンチップ上に 100 ミクロン角の検出素子が 200 個配置されたもので、産総研 QuFab (以前の CRAVITY) で試作された。典型的な電流電圧特性を図 1 に示す。アレイ全体にわたり、各素子のサブギャップ電流は 10nA 以下である。

3 結果および考察

図 2 に STJ 検出器を用いて測定した h-BN の蛍光 X 線スペクトルを示す。励起光のエネルギーは 1000 eV である。B, C, N, O のピークを明瞭に分離して検出できることがわかる。同時に動作した画素数は 186 で、個々の画素の N-K 線(392eV)に対するエネルギー分解能(FWHM)の分布は 10.0 ± 1.1 eV である。エネルギー分解能はアレイ全体に渡り良い値で、かつ、揃っている。

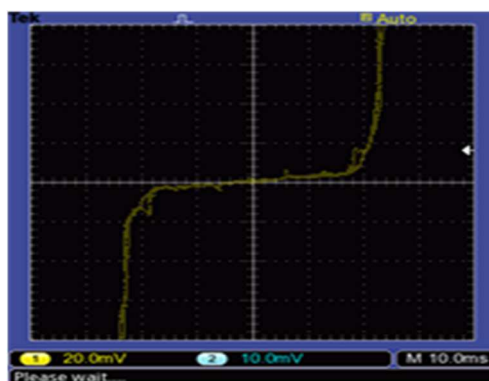


図 1. 100 ミクロン角 STJ の電流電圧特性。横軸は 0.2 mV/div, 縦軸は 10 nA /div。

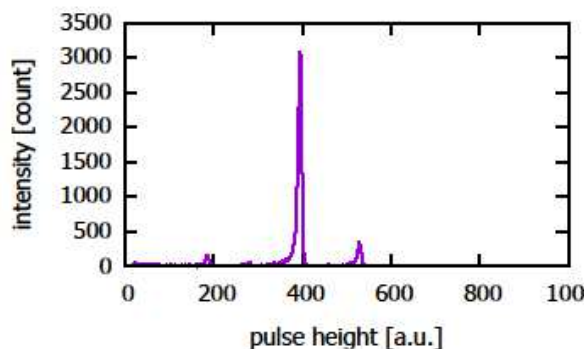


図 2. STJ 検出器を用いて測定した h-BN のスペクトル。

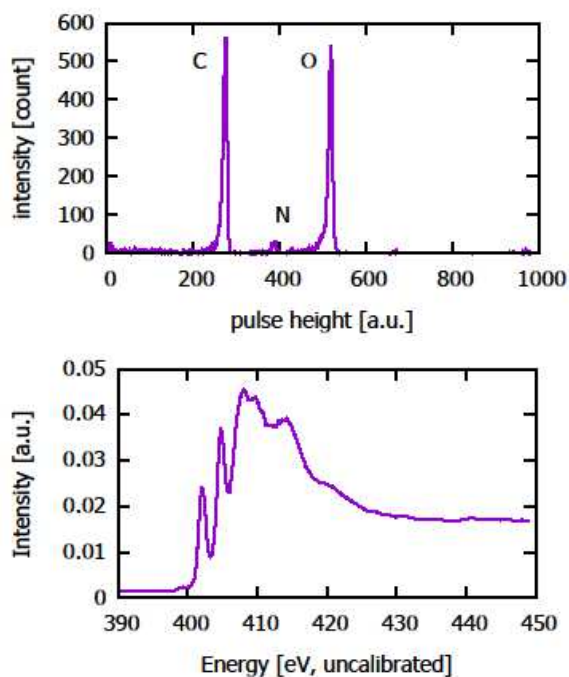


図 3. STJ 検出器を用いて測定したポリイミドの蛍光 X 線スペクトル (上) と窒素吸収端における X 線吸収スペクトル (下)。

200 素子アレイを用いてポリイミドの蛍光 X 線スペクトルと、窒素 K 線の収量を用い部分蛍光収量法による X 線吸収スペクトルを測定した (図 3)。吸収スペクトル測定時の分光器スリットの設定は S1 が 200 ミクロン、S2 が 100 ミクロンである。積算時間は一点あたり 150 秒、全体で 5 時間半、ピークでの N-K 線のカウント値は約 3 万である。今後、吸収スペクトル測定の積算時間は今後一桁程度短縮されると見込まれる。その理由は BL-11A と BL-11B が BL-12A に統合・移設されその際にはビーム強度が数倍になると試算されていること、画素サイズを 4 倍としても X 線検出器として動作し十分な分解能が得られると確認されていることの 2 点である[5]。

4 まとめ

超伝導検出器を用いた X 線吸収分光装置の感度を向上させることを目的として、従来の 2 倍の有感面積を有する 200 素子超伝導トンネル接合アレイを試作し、BL-11A で評価を行った。エネルギー分解能の分布はアレイ全体にわたり一様であり、微量軽元素の蛍光収量法による吸収スペクトル測定のスループットを 2 倍に向上させた。感度は更に一桁程度向上すると見込まれる。

謝辞

本研究 (の一部) は、文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」事業 (課題番号: 22AT5041) の支援を受けました。

参考文献

- [1] S. Shiki, M. Ukibe, Y. Kitajima, M. Ohkubo, *J. Low Temp. Phys.* **167**, 748–753 (2012)
- [2] Ohkubo et. al, *Scientific Reports* **2**, 831 (2012)
- [3] Fukami et. al, *J. Phys. Chem. C* **124-20**, 11032–11039 (2020)
- [4] Isomura and Kimoto, *J. Synchrotron Radiation* **28-4** 1114–1118 (2021)
- [5] S. Shiki et. al, *Journal of Physics: Conference Series (JPCS)*, accepted.

* s-shiki@aist.go.jp