

超伝導検出器を用いた X線吸収分光ステーションの高感度化 Development of Soft X-ray Spectrometer using Superconducting Detector

志岐成友^{1*}、全伸幸¹、藤井剛¹、浮辺雅宏¹、松林信行¹、小池正記¹、
北島義典²、大久保雅隆¹

¹産業技術総合研究所, 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1

²KEK, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

Shigetomo Shiki¹, Nobuyuki Zen¹, Go Fujii¹, Masahiro Ukibe¹, Nobuyuki Matsubayashi¹,
Masaki Koike¹, Yoshinori Kitajima², Masataka Ohkubo¹

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

²KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

1 はじめに

蛍光収量法による X線吸収分光は微量元素の局所構造を探ることができる数少ない分析手法である。特に軟 X線領域は多種多様な元素の吸収端があるため重要であり、近年盛んに研究が行われている。

超伝導トンネル接合 (STJ; superconducting tunnel junction) 検出器は、10 eV 前後の優れたエネルギー分解能と高い光子計数率を有するため、半導体検出器で分離分析できない元素の組み合わせに対しても、STJ 検出器を用いると微量元素の吸収端スペクトルが測定できると期待される。我々は 100 素子 STJ アレイ検出器を用いた軟 X線領域の蛍光収量法による XAFS 測定ステーションを開発し、エネルギー分解能 10-20 eV、有感面積 1mm²、計数率 500 kcps を実現し、SiC 中の窒素ドーパント (300ppm) の分析を可能にした[1]。

本課題では、次の二点についての研究開発を行っている。一つは本装置が微量元素の分析に有効であることを示すことで、従来分析が不可能とされてきた様々な試料の計測に挑戦している。しかしながら今年度については、2013 年度末に BL-11A の改修が行われ、その後フラックス・分解能が不十分となったために、進展はない。二つ目は感度および適用可能な元素の種類を拡大することで、従来 STJ 検出器が不得意とする 1 keV 以上の X線を検出するため、シリコンピクセル吸収体を備えた STJ 検出器を開発している(図 1)。2013 年度の準備棟における予備実験および放射光施設で実施した実験により、試作した検出器のエネルギー分解能が 5.9 keV の X線に対して 150 eV FWHM であること、入射方位によりエネルギー分解能や P/B 比が変化すること、100 素子アレイを用いて軽元素 S~K の K 吸収端で吸収スペクトルが測定できることが明らかになった。

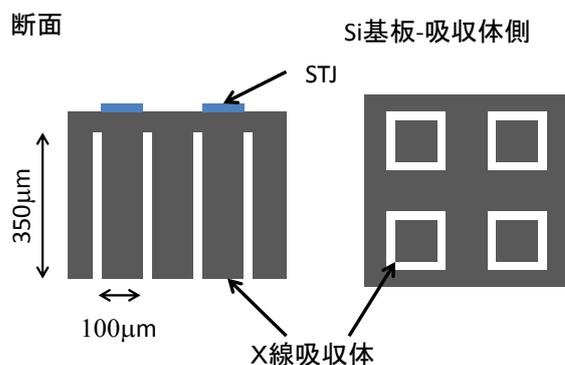


図 1. シリコンピクセル吸収体を有する STJ 検出器の模式図。

本年度はエネルギー分解能を向上させる方法を探るため、放射光を検出器に直接照射し、直線性、および、入射位置による応答の違いを測定した。

2 実験

使用した検出器は昨年度の報告と同じである。厚さ 400 μm の Si 基板上に 100 μm 角の Nb/Al-STJ を 100 素子作製し、Si 基板に深さ 350 μm の深溝を形成して STJ 直下に 100 μm 角の吸収体を作成した。この構造により、有効面積は 1 mm²、検出効率 は 8.5 keV 以下で 99% 以上である。

検出器をビームラインの焦点付近に設置し、3He クライオスタットを用いて 300mK に冷却した。I₀ モニタ直上の 4 象限スリットを用いて入射光の強度を調整した。検出器直前に XY 2 個のスリットを設置し、入射光の強度および入射位置を調整した。スリットの幅は 30-50 ミクロンで吸収体の大きさ 100 ミクロンに比べてやや小さい。

3 結果および考察

今回の実験では ^3He 冷凍機から ^3He ガスが真空槽にスローリークするというトラブルがあり、これによって検出器の特性にゆるやかな時間変化が見られた。そのため直線性については信頼できるデータが得られなかった。

図2に吸収体の対角線上をスキャンした時の、波高スペクトルを示す。吸収体の中心では、波高が高く、エネルギー分解能もよい。入射位置が中央から離れるに従い波高値が低下し、分解能も悪化した。例外として、中央から 50-75 ミクロン離れたところでは、メインピーク以外に中央より波高値が高いイベント成分が現れた。中央から 100 ミクロン離れたところではこのような信号は発生していない。波高値が高いイベント成分は、溝の底でX線が吸収された時に生じると考えられる。

吸収体の端において波高の低下が生じ、分解能が劣化すること、溝の底で吸収されたX線が波高スペクトルのバックグラウンドとなることが明らかになった。エネルギー分解能を改善するためには、吸収体のサイズを拡大し、端の寄与を少なくすることが有効である。またバックグラウンドを減らすには、溝へのX線の入射を抑制することが必要となる。その為には溝の幅を狭くすること、斜めに入射させることやコリメータを利用することが有効である。

4 まとめ

シリコンピクセル吸収体を有する STJ 検出器の特性を、放射光を直接照射して測定した。X線入射位置により波高が変化すること、溝の底で吸収されたX線がバックグラウンドとなることが明らかになった。

謝辞

本研究は所属グループ各位の協力の元で実施されました。本研究は科研費(25390142)の支援を受けました。検出器の開発・評価に際し、産総研 CRAFTY, NIMS 微細加工プラットフォーム、産総

研 NPF の支援を受けました。

参考文献

[1] S. Shiki et al., J. Low Temp. Phys. 176, 604 (2014)

* s-shiki@aist.go.jp

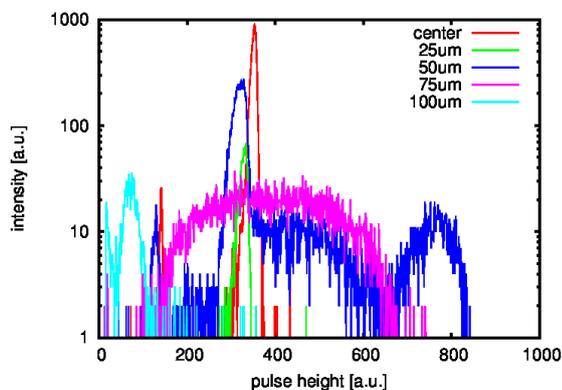


図2. 波高スペクトルの入射位置依存性。