

放射光 X 線分析用超伝導トンネル接合アレイ検出器の信号処理

Low noise readout circuit for 100-pixel superconducting tunnel junction detector array

産総研¹ ○志岐 成友¹, 浮辺 雅宏¹, 藤井 剛¹, 小池 正記¹, 松林 信行¹, 大久保 雅隆¹¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Research Institute of

Instrumentation Frontier

E-mail: s-shiki@aist.go.jp

背景: 軟 X 線領域の X 線吸収分光に超伝導トンネル接合(STJ; Superconducting Tunnel Junction) アレイ検出器を用いると、高い検出感度と、高い元素選択性が得られ、半導体検出器や回折格子分光器では困難な微量軽元素などの局所構造解析が可能になる。我々は 100 素子超伝導トンネル接合アレイ検出器と放射光を組み合わせた蛍光収量 X 線吸収分光装置(SC-XAFS)を開発し、ナノテクノロジープラットフォーム微細構造解析にてユーザーに公開している。これまでに、化合物半導体 SiC 中の濃度 300 ppm の窒素ドーパントの吸収端測定に成功した。

100 素子規模で高エネルギー分解能を実現するためには、STJ 素子の構造の最適化などに加えて、多チャネルの電荷有感型プリアンプの開発が必要不可欠であった。一般的に、多くの機能材料の分析には数~数十 ppm の微量元素成分の分析が求められている。このような高感度を実現するには、多素子化によるスループットの向上と同時に、バックグラウンドイベントを低くするために、全ての素子で高いエネルギー分解能を達成することが求められる。従来、単一素子に対して高分解能が得られた例は数多く報告されているが、アレイ検出器中の全素子にわたって高分解能を実現することは困難であった。我々はプリアンプの実装方法について検討を進め、2012 年秋の応用物理学会において、32 チャネルのプリアンプを用いて 18 個の STJ を動作させ、エネルギー分解能 $10.8 \pm 0.6 \text{ eV}@277 \text{ eV}(\text{C-K}\alpha)$, 読出しノイズ $5.6 \pm 0.6 \text{ eV}$ を実現したことを報告した。本発表では、分析のハイスループット化のために、プリアンプのチャンネル数を 96 に拡張した結果について報告する。

実験: STJ 検出器は Si 基板上に Nb(50nm)-Al(70nm) / AlOx / Al(70nm) - Nb(300nm)の層構造で構成され、一素子のサイズは $100 \mu\text{m}$ 角、動作温度は 320 mK である。96 チャネルのプリアンプの各入力に 1 個の STJ 検出器が接続されている。検出器に O-K α 線 (525eV) を照射し、デジタル信号処理を用いてプリアンプ出力を台形波整形し、波高スペクトルを計測した。32 チャネルのプリアンプに比べ 96 チャネルのプリアンプでは発振が起こりやすく、安定して動作させるためにはグラウンドの取り回しに試行錯誤が必要であった。

結果と考察: プリアンプに接続した 96 素子のうち、89 素子が同時に動作した。エネルギー分解能の実測値は $12.2 \pm 1.4 \text{ eV}$ であった。32 チャネルのプリアンプを用いた場合に比べ、エネルギー分解能の平均値、分散はわずかに劣化したが、動作する割合は 9 割を超えた。スループットは 2012 年秋の報告に比べおよそ 5 倍向上し、化合物半導体 SiC に 300ppm 含まれる窒素ドーパントの吸収端スペクトルが 4 時間で計測できた。