

## エネルギー分散分光用の超伝導素子の開発

元素は電子ビーム等で励起されると元素に特有なX線(特性X線と呼ばれる)を放出する。この特性X線を測定することにより、分析対象物中の元素の種類を見分けたり、特定の元素のみを選び出した高度な分析を行うことが可能になる。このような分析では、X線の最小構成単位である光子ごとにそのエネルギーを測定する。この手法は、“エネルギー分散分光法”と呼ばれ、電子顕微鏡などに広く用いられている。仮に特性X線が可視光域の光であれば、元素毎に異なる光の色を識別することにより(入射光子のエネルギーに応じた高さの電気パルスを出力する固体分光素子を使う)、元素の種類の分析ができるということになる。元素分析で重要になるのは、どのくらい細かい色の違いを、どのくらい素早く(どのくらいの明るさまで)、どのくらいの視野で、光子を検出できるかということである。これらの性能指標は、それぞれ、エネルギー分解能、光子計数率、有感面積(検出立体角)に関係する。

通常使われる半導体の固体分光素子の性能では、理論的な限界から、元素の色を十分な精度で見分けられない状況が発生している。このため、要求される精度を理論上実現できる超伝導分光素子の開発が、多くの産業分野や科学分野で望まれてきた。しかし、これまでの超伝導分光素子では、上記3つの性能について同時に優れたものの実現は難しく、実用化の障壁となっていた。

当研究部門では、光子計数率特性に優れた超伝導トンネル接合型素子(図1)の有感面積を $\sim 100\mu\text{m}$ 角にすると、光子が検出器のどこで吸収されたかによって出力パルスの高さが変わり(空間分布)、エネルギー分解能が劣化することを放射光を使って、明らかにした。

超伝導トンネル接合型素子は、約1nmの絶縁層をNb/Alの二重層からなる超伝導電極でサンドイッチした構造である。今回、放射光の空間分布測定を活用して、超伝導電極のAl層を厚くすることにより、出力パルスの空間分布を改善でき、本来望ましいフラットな空間分布に近くなることを実証した。実際に、この手法を使って $100\sim 200\mu\text{m}$ 角の検出器を作製し、軽元素の特性X線のエネルギー領域において、半導体検出器のエネルギー分解能限界(約100 eV)を大きく凌ぐ10 eV程度の高エネルギー分解能が達成可能なることを示した(図2)。Al層が薄い場合には、高々 $10\mu\text{m}$ 程度の有感面積でしか、高いエネルギー分解能は得られない。特に、 $100\mu\text{m}$ 角の素子では、信号処理系のノイズを差し引いた検出器本来のエネルギー分解能は、200 eVの光子に対して最高で54 eVであった。高い光子計数率とエネルギー分解能を保ったまま、有感面積が拡大できることを実証したことにより、生体分析、半導体材料開発などの分野において重要になる軟X線領域において、従来不可能であった計測が可能になると期待される。

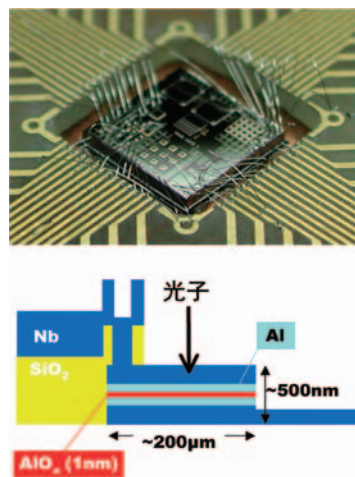


図1 超伝導分光素子を搭載したチップ(上)と、素子の断面構造(下)

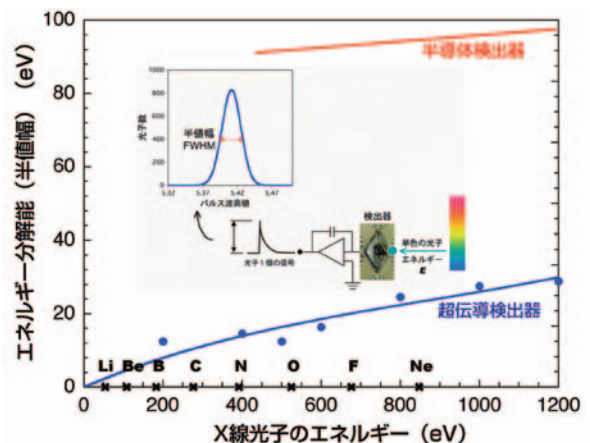


図2 エネルギー分解能の比較

エネルギー分解能が小さいほど、光子エネルギー測定精度が高い。横軸に元素の特性X線のエネルギー位置を示す。

## 関連情報

- 共同研究者: 大久保雅隆, 齋藤直昭, 久志野彰寛, 陳銀兒, 座間達也, 一村信吾 (計測フロンティア研究部門), 大柳宏之 (光技術研究部門)。
- M. Ohkubo et al: Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. A 520, 231-233 (2004).
- M. Ukibe et al: Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. A 520, 260-262 (2004).
- 大久保雅隆: 応用物理, 72, 1057-1065 (2003).
- 大久保雅隆, 浮辺雅宏: 日本原子力学会誌, 46, 121-126 (2004).



うき べまさひろ  
浮辺雅宏  
ukibe-m@aist.go.jp  
計測フロンティア研究部門