

超伝導、産総研、大久保雅隆

第 72 回応用物理学会講演会シンポジウム報告 「超伝導検出器により拓く次世代先端計測分析技術」

■ 開催趣旨

2010 年の IEC シアトル会合において、電磁波や磁場を検出するコヒーレントタイプと、放射線などを 1 個ずつ検出できるような高い感度を有する直接検出タイプの超伝導検出器について、標準化を議論するアドホックグループの設置を日本から提案して、各国の賛同を得ることができた。今回は、直接検出器を取り上げて現状を俯瞰することにより、日本発の標準化推進のためにシンポジウムを企画した。

■ 講演内容

・イントロ（大久保雅隆）

直接検出器の応用は、宇宙観測、X 線分析、質量分析、量子通信など多岐に渡る。応用に適した多様な超伝導検出器が開発されている。例えば、超伝導転移を温度計として用いる超電導転移端センサー(TES)、壊れやすい超電導状態を使う超伝導トンネル接合(STJ)、表面抵抗の変化を使うマイクロ波力学インダクタンス検出器(MKID)、磁気特性の変化を使う金属磁気カロリメータ(MMC)、高速緩和過程を活用したナノストリップ検出器(SSPD, SNSPD など)が挙げられる。超伝導デジタル信号処理(SFQ)や冷凍機技術が実用化を促進している。

製品化されている検出器もあるが、専門分野内においてもネーミングに混乱が見られる。まず、ネーミングと定義からはじめ、検出性能評価方法等に関する標準化を推進することが必要であり、IEC はベストなプラットフォームである。

・X 線微量元素分析（中井泉）

低加速電子を用いた高空間分解能 SEM に TES を搭載して、法科学（自動車塗膜片、射撃残さ）、大気粉塵、重金属集積植物、生体内に取り込まれたナノ粒子等の分析を行っている。例えば、半導体検出器では発見できなかった射撃残さ微粒子内の元素分布の違いを測定できるようになった。

- ・ X線宇宙観測（満田和久）

銀河団の衝突の合体、宇宙の大構造形成などの観測のために、X線で宇宙を見る必要がある。鉄の K 輝線の 100 km/s の運動は 2 eV のドップラーシフトに対応し、これに対応可能なのは TES のみである。日米欧のサテライト計画等のために、高周波駆動マルチプレクサー信号読み出し技術などを開発している。

- ・ 宇宙波背景輻射（関本裕太郎）

宇宙マイクロ波背景輻射観測のために、マイクロ波共振を使うことによって多素子化が可能な MKID 検出器を開発している。シリコンレンズと二重スロットアンテナを Al 膜の MKID に組み合わせる実験を進めている。100 素子のカメラを開発しており、2013 年 1,000 画素、2018 年 10,000 画素を開発する予定である。

- ・ 原子力計測（テュシヤラ）

TES を使った γ 線検出器を開発している。核拡散防止、核燃料計測、陽電子消滅を用いた核反応炉非破壊検査といった応用がある。Ir/Au 二重膜上に錫や鉛の γ 線吸収体を載せたカロリメータを開発している。

- ・ 中性子回折（藤巻朗）

^{10}B を含む MgB_2 超伝導ナノワイヤー検出器と SFQ 回路を組み合わせて、中性子回折用飛行時間検出システムを開発している。従来、100 m の飛行距離が必要とされたのに対して、 MgB_2 の高速応答により約 1 m 程度で実験が可能になると期待される。J-PARC において中性子照射実験を行っている。

- ・ 放射光計測（志岐成友）

KEK-PF 向けに STJ アレイ検出器を使った X 線吸収微細構造 (XAFS) 測定装置を開発し、ユーザーに公開できる段階になった。酸素の K 線に対して 11 eV の分解能であり、シリコンドリフト検出器の 48 eV を大きく上回っている。1 Mcps という高計数率に対応できる。1 keV 以下の領域において、軽元素の XAFS 測定を可能にした。

- ・ 質量分析（大久保雅隆）

質量分析は、質量/電荷数比(m/z)に応じてイオンを分離分析するため、 m を一意に決められない。例えば、 $^{14}\text{N}^+$ と $^{14}\text{N}_2^{2+}$ ($m/z=14$)といった電荷数が異なる同じ m/z のイオンを区別することができない。STJを使うと、 m/z と z 値を同時に測定することができ、 m を一意に決定できる真の質量分析が可能になる。

- ・量子情報（福田大治）

量子情報処理のために、赤外—可視域用高速 TES を開発した。反射防止多層膜と誘電多層膜ミラーによる共振キャビティを作り、99%以上の吸収効率、100 ns の応答時間、1MHz の計数率、光子数識別を実現した。

- ・量子暗号（王鎮）

NbN の SSPD を用いて、多チャンネルの量子鍵配送のデモンストレーションを成功させた。10%のシステム検出効率をもち、ダークカウントは100 Hz に抑えることができる。数週間以上安定に動作することを確認した。