

ニュートリノ崩壊探索に用いる 超伝導赤外線検出器の開発

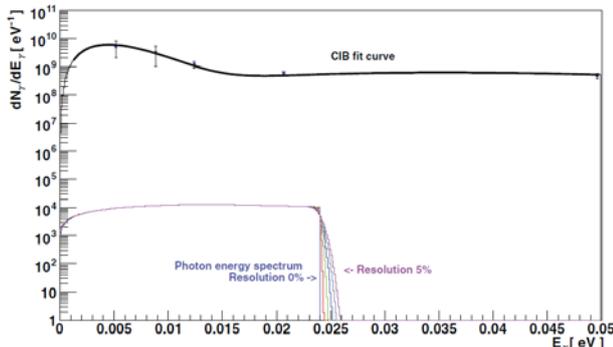
SATテクノロジー・ショーケース2013

■ はじめに

ニュートリノとは、電子などの荷電レプトンと対をなす、電荷を持たない素粒子である。ニュートリノは弱い相互作用しか働かないため、検出は非常に困難である。ニュートリノは非常に小さいが、質量を持っていることが分かっている。しかし、その絶対値は未だ測定されていない。

ニュートリノの質量状態は3種類ある。重いニュートリノは軽いニュートリノへと崩壊することができ、その際に質量に応じたエネルギーを持つ光子を放出する。このエネルギーを測定することで、ニュートリノの質量を得ることができるのである。

ニュートリノが崩壊するまでの時間の平均は、1京年以上ととても長い。そのため、宇宙初期に存在したニュートリノからの崩壊光、つまり遥か遠方からの光を観測する必要がある。ドップラー効果によって、我々が観測する崩壊光のエネルギーは実際の値にエッジをもつ分布(図の下側の分布)になる。また、崩壊によって発生した光子数は、同じエネルギー領域にある宇宙背景輻射光(図上側の分布)に対して5桁程度少ない。



この大きなバックグラウンドからエッジを精度よく測定するためのものとして、我々は高エネルギー分解能を持つSTJ(超伝導トンネル接合)検出器に目をつけた。一般的な半導体検出器と違い、超伝導体を利用することで、そのエネルギーギャップの小ささから、劇的にエネルギー分解能が向上する。

■ 活動内容

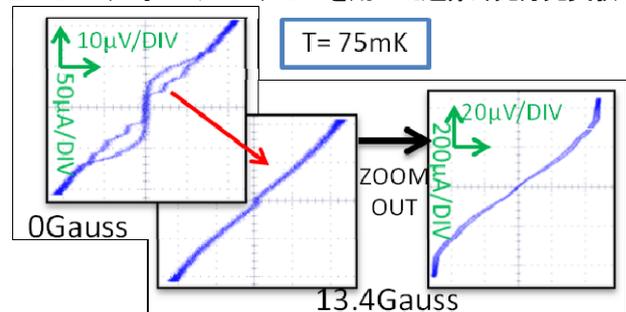
1. カロリメーターとしてのHf-STJの開発

STJのエネルギー分解能は超伝導体のエネルギーギャップによって決定される。ニュートリノ崩壊光のエッジを観測するためには、30meV程度の光子に対して3%のエネルギー分解能が必要になる。これはHf(ハフニウム)を超伝導体として用いることで達成することができる。

STJにHfを用いるということは未だ前例がない。我々はまずHfの薄膜構造を調べることから着手し、超伝導化する条件や結晶構造と表面状態の関係などを調査した。その結果、STJ特有のIV曲線を観測することに見事成功した。超伝導転移温度以下に冷却されたHf-STJが外部磁場に反応しているのが図から見て取れる。

現在は絶縁膜の形成条件や側面からのリーク電流の低減などを課題に着々と開発を続けている。

2. Nb/Al(ニオブ/アルミ)-STJを用いた遠赤外分光実験



2016年に、JAXA/ISASと協力してSTJを搭載した遠赤外光観測用ロケットを打ち上げることを計画している。これは望遠鏡焦点面にNb/Al-STJアレイを設置し、回折格子による分光を利用してエネルギースペクトルを測定する実験である。

Nb/Al-STJは、Hf-STJほどのエネルギー分解能は持たないが、30meV程度の1光子を観測する性能を有しているため、入射した光子数のカウンターとして利用する。回折格子によって空間的に分光された光子を、多数並べられたSTJでカウントすることにより、エネルギー測定が可能となる。

1光子観測のためには、前置増幅器を冷却部に設置する必要があるため、現在は検出器と極低温用増幅器の接続方法の検討、その動作確認を中心に研究をしている。増幅器はJAXA/ISASの開発したFD-SOI-CMOSやFermilabに委託している2Kアンプなどを組み合わせて使用する(FD-SOI:全空乏化SOI技術)。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

この研究は、以下の機関の協力の元行われている。高エネルギー加速器研究機構、理化学研究所、宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所、Fermi National Accelerator Laboratory

代表発表者 金井 伸也 (かない しんや)

所属 筑波大学
数理物質科学研究科

問合せ先 〒305-8571 つくば市天王台 1-1-1
TEL: 029-853-4270 FAX: 029-853-4491
kanai@hep.px.tsukuba.ac.jp

■キーワード: (1)素粒子実験
(2)ニュートリノ
(3)遠赤外線観測
(4)超伝導検出器
(5)極低温測定技術