

# 多次元量子検出器の開発・応用研究

## Development and Application of Multi-dimensional Quantum Detectors

代表研究者 清水 裕彦  
SHIMIZU, Hirohiko M.  
(イメージ情報研究ユニット)  
(Image Information Research Unit)

本研究の目的は、既存の方法とは質的に異なる量子検出方法の開拓を機軸として、広く先進的な量子検出器の開発研究を総合的に行い、その技術革新に基づいて新たな研究分野を開拓することにある。この目的を実現する量子検出器として、超伝導体を用いた低温検出器を採用し、検出器本体の開発、周辺技術の開発及び、これを用いた科学応用研究を開拓・実行していく。また同時に、特に中性子検出応用を目指した高性能検出器の開発も実施する。

### 1. 超伝導検出器の開発

#### (1) 超伝導トンネル接合素子の開発 (清水, 佐藤, 三島\*1)

昨年度成功した実験室レベルでの低エネルギー陽子の検出技術を基盤としこれを中性子 $\beta$ 崩壊時に発生する低エネルギー陽子の検出に応用することを目指して、大面積超伝導トンネル接合素子 (Superconducting Tunnel Junction; STJ) の開発を行った。具体的には、一辺の長さが $500\mu\text{m}$ の正方形STJを作製し、電流-電圧曲線の測定ならびにエネルギー $5.9\text{keV}$ のX線に対する応答特性 (エネルギースペクトルや波高値等) を調べ、その結果を次の作製プロセス条件に反映することで、素子作製の最適化を行った。その結果、単素子で $5.9\text{keV}$ に対して $150\text{eV}$ のエネルギー分解能を有するSTJの作製に成功した。

#### (2) 超伝導転移端温度計の開発 (清水, 大野\*1, 佐藤)

昨年度に引き続き、低エネルギー陽子検出を目指した大面積超伝導転移端温度計 (Transition Edge Sensor; TES) の開発を行った。素子構造は超伝導膜であるTiに常伝導膜であるAuを組み合わせたTi/Au構造とし、Auの膜厚を調節することで超伝導転移温度を $400\text{mK}$ 付近とするTESを作製した。実際には、前年度のTi/Auという構造をAu/Ti/Auの様にTiの下部にもAuを成膜することで熱伝導率向上をねらったところ、一辺の長さが $500\mu\text{m}$ の正方形大面積TESにおいて、 $5.9\text{keV}$ のX線に対して $190\text{eV}$ のエネルギー分解能を実現した。

#### (3) 中性子 $\beta$ 崩壊テスト実験 (清水, 佐藤, 三島\*1, 大野\*1, 広田\*2, 池田\*1, 森嶋\*2, 篠原\*2)

中性子 $\beta$ 崩壊時に発生するエネルギーが $752\text{eV}$ 以下の陽子のスペクトルを精度良く測定することで、素粒子標準模型の検証に繋がる重要な物理量を決定することができる。我々は、これまで開発してきたSTJやTESの大きな特徴である「高エネルギー分解能」「低いエネルギー閾値」を利用し、STJやTESをこの低エネルギー陽子検出器として適用することを目指している。今年度はSTJやTESを適用するための準備として、中性子 $\beta$ 崩壊テスト実験を行った。実験は日本原子力研究開発機構の研究炉JRR-3の中性子ビームラインで行った。検出器は超伝導体検出器でなく、室温動作のプラスチックシンチレータとEM管を使用し、飛行中の中性子が崩壊して発生する電子と陽子を同時に検出するシステムを構築した。この実験装置を用いて、電子と陽子の検出時間の差から、実際に飛行中性子の $\beta$ 崩壊を捕らえることに成功した。

### 2. 中性子検出器の開発

#### (1) アンガーカメラ中性子検出器の開発 (清水, 広田\*2, 池田\*1, 篠原\*2)

中性子小角散乱実験における検出器の有効領域の大面積化を実現するために、64チャンネルフラットパネル型光電子増倍管と $\text{ZnS}/^6\text{LiF}$ シンチレータから成る中性子検出器「アンガーカメラ」の開発を行った。位置計算に「重心計算方式」を採用し、検出器単体での動作実証 (正しい2次元像の取得) に成功した。この検出器を複数敷き詰めることで、大有効領域が実現可能となる。この検出器はJ-PARCの中性子実験施設のビームライン用検出器の候補となっている。

\*1 基礎科学特別研究員, \*2 協力研究員

Our objective is to develop detectors to obtain multi-dimensional information through experiments, and to widely investigate the application of our technologies to the new scientific fields. Superconductor radiation detectors have abilities to measure the energy of photons with better resolution than that of conventional semiconductor detectors. They are capable of detecting not only wide energy range of photons but also charged particles. Thus we have developing superconductor radiation detector. In addition, neutron detectors with good performance have also developed.

## 1. Development of superconductor radiation detector

### (1) Superconducting tunnel junction

Superconducting tunnel junction (STJ) was developed as low energy proton detectors. The target of this year was to realize a large area STJ with high quality. We designed and fabricated  $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$  STJs. An energy resolution of 150eV for 5.9keV X-rays was obtained by this STJ.

### (2) Transition edge sensor

Transition edge sensor (TES) was developed as low energy proton detectors. We adopted tri-layer structure of Au/Ti/Au to realize a good thermal conductivity of the TES. As a result, an energy resolution of 190eV for 5.9keV X-rays was obtained by this TES.

### (3) Test of neutron beta decay experiment

From a precise measurement of proton energy emitted by neutron beta decay, we can test the standard model which describes fundamentals of particle physics. The energy of the proton is below 752eV, thus only superconductor radiation detector can measure such a low energy proton. In this year, we started a test experiment to detect in-flight neutron beta decay events with "normal" radiation detectors (plastic scintillator and EM tube) at Japan Atomic Energy Agency. By measuring time difference between electron and proton which detected by plastic scintillator and EM tube respectively, we successfully observed neutron beta decay events.

## 2. Development of neutron detectors

### (1) Anger-camera detector

A neutron scintillating detector for neutron scattering measurement was developed. A 64-channlen flat panel photomultiplier and  $\text{ZnS}/^6\text{LiF}$  scintillator was used. By adopting center of light yield position calculation, we successfully obtained proper 2D image.