

プロジェクト名：MEMS 技術を用いたフォトン検出器用オンチップコイルの開発  
 代表者：田井野 徹（理工学研究科・准教授）

## 1 背景

高感度フォトン検出器は、医療、工学、天文といった様々な分野で応用されている。検出器自身の性能が向上した場合、これまで見えなかった事象の観測が可能になるため、先端科学技術の発展には不可欠である。本研究では、検出器として超伝導トンネル接合（Superconducting Tunnel Junction、以下 STJ）素子を想定している。STJ は、高感度、高速、広帯域を特徴とする次世代のフォトン検出器である。ここで、STJ はその動作時に磁場を必要とする。これまで磁場印加には、寸法の大きな鉄心型電磁石等が用いられてきた。STJ をフォトン検出器として実用化する場合、その電磁石等を含める必要があり、検出システムを構築する上で、サイズや重量が問題になる。そこで STJ の実用化に不可欠な磁場をオンチップ上で生成可能な構造を有する検出器の開発を目的とする。

## 2 集積型コイルの構造

図 1 は、STJ に対する従来の磁場印加方法と提案する磁場印加方法を示している。STJ は、およそ 5 mm 角の基板上に集積されている。従来の磁場印加方法は、STJ の周りにヘルムホルツコイルや電磁石などを用い

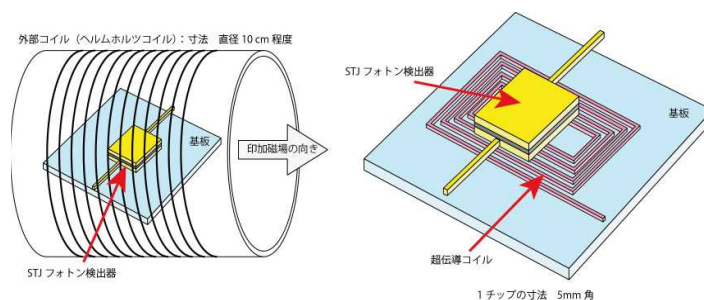


図 1 従来の磁場印加方法(左)と提案する STJ フォトン検出器の概念図(右)

ていた。それに対し提案する磁場印加方法は、検出器と磁場印加用コイルが 1 チップ上に集積されるため、実用上有利な構造であることが分かる。

## 3 集積コイルの作製

本研究では、基板上に集積コイルを形成し、その直上に STJ を積層する。STJ は、超伝導体/絶縁体/超伝導体の 3 層構造からなっている。特に絶縁体はトンネル障壁の役割を果たし、その厚さは数 nm と極薄である。従ってコイルを集積した後、平坦化を行う必要がある。またコイルと STJ の間には、電気的絶縁をとるために絶縁層を積層する必要がある。この 2 点を両立するため、ポリイミドフィルムに着目した。ポリイミドは耐熱温度、絶縁耐電圧に優れ、LSI などの絶縁膜に利用されている。さらに近年、高温プロセスを必要としない、ブロック共重合ポリイミドが開発された。このポリイミドは電気的特性に優れるとともに、ポリイミドの樹脂固形

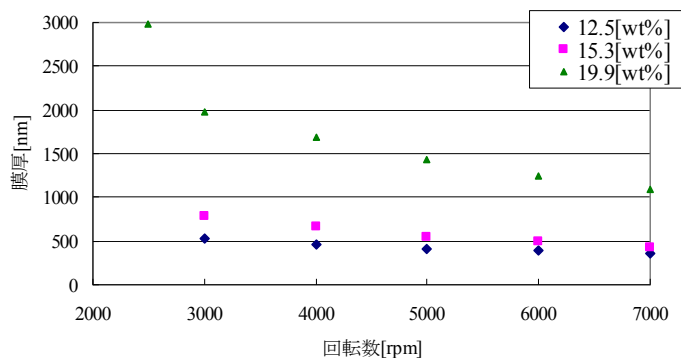


図 2 ポリイミド膜厚の回転数依存性

成分を希釈することで、スピコート法を用いた膜厚制御が容易である。図2に、ポリイミド膜厚の回転数依存性を示す。希釈したポリイミドは、12.5、15.3、19.9 wt%の3種類とした。同図よりポリイミド樹脂固形成分を希釈することで、回転数に応じて様々な膜厚の絶縁膜を形成できることが分かった。

次にこのポリイミドを用いて、磁場印加用コイル形成後の平坦化を試みた。まずシリコン基板の上に、ニオブを積層し、フォトリソグラフィ技術を用いてコイルを作製した。コイルの寸法は、膜厚270 nm、線幅2 μm と3 μm とした。その後、スピコート法によりポリイミドを堆積し、ポリイミド表面を触針式段差計で計測した。その測定したデータから、コイルの段差被膜率（段差改善率）として、下式を定義した。

$$\text{段差改善率} = \left(1 - \frac{\text{ポリイミド塗布前の段差}}{\text{ポリイミド塗布後の段差}}\right) \times 100(\%)$$

定義式に基づいた実験結果を図3に示す。コイルに対して塗布するポリイミドは、回転数は低速、濃度は濃い方が平坦化に有利であることが分かった。また図3より、ポリイミドの膜厚は、その膜厚が厚い方が平坦化に有利であることが分かる。

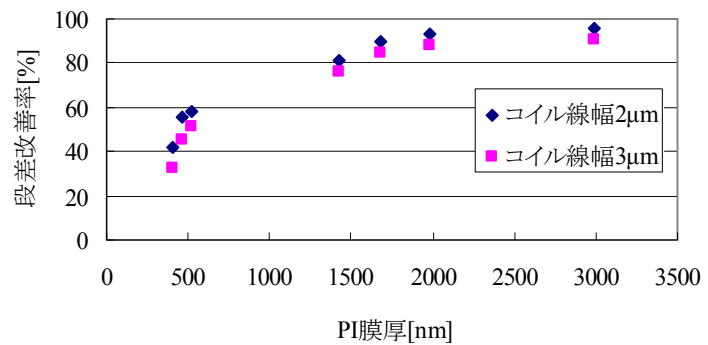


図3 ポリイミド膜厚による段差改善率依存性

#### 4 コイル集積 STJ の作製

スパッタ装置、エッチング装置、フォトリソグラフィ技術を用いて、コイル集積 STJ を作製した。作製した STJ の断面概念図と、その顕微鏡写真を図

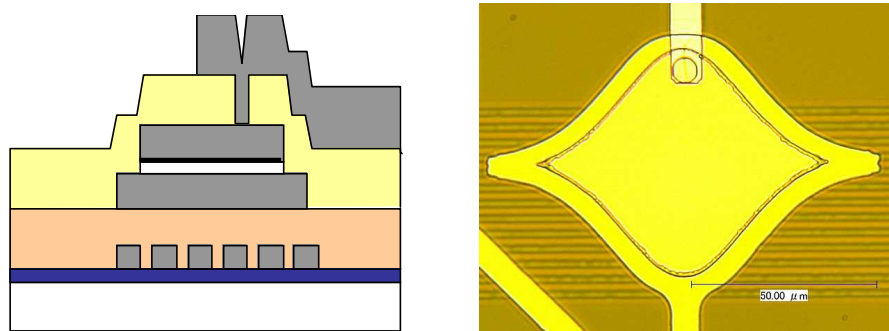


図4 作製したSTJの断面図(左)と顕微鏡写真(右)

4に示す。同図右の、正規分布関数形状がSTJを示し、その下には線幅2 μmのコイルが集積されている。作製したSTJを、液体ヘリウム温度4.2 Kにおいて電流-電圧特性を観測した。その結果、STJ特有のギャップを有する特性観測に成功した。

#### 5 まとめ

コイル集積STJに必要な絶縁性と平坦性を両立する手法として、ポリイミドフィルムに着目した。ポリイミドを希釈することで、その膜厚制御が可能であることが分かった。また、ポリイミドフィルムを用いてSTJの作製を行い、電流-電圧特性の観測に成功した。