

利用課題番号 : F-13-NM-0070
利用形態 : 機器利用
利用課題名 (日本語) : Si 深堀エッチングを用いたスキヤニング SQUID プローブの加工
Program Title (English) : Fabrication of scanning SQUID probe using Si deep etching process
利用者名 (日本語) : 柴田 祐輔
Username (English) : Yusuke Shibata
所属名 (日本語) : 筑波大学 数理工学物質科学研究科物質創成先端科学専攻
Affiliation (English) : University of Tsukuba

1. 概要 (Summary) :

超伝導量子干渉計(SQUID)を用いた、走査型プローブの開発を行った。本プローブは Si 基板の先端に SQUID を形成することで、測定対象との直接的磁気カップリングを実現する。ここで SQUID を構成する超伝導ループと Si 基板端との距離を縮めることは、磁束検出の効率を上げるために重要な技術的課題となる。前年度の支援課題から、レーザー露光装置を用いた位置合わせと、シリコン深堀エッチング (Bosch) 加工とを組み合わせることで、基板端超伝導 4 端子プローブ試料の作成プロセスを構築した。作成した試料について抵抗-温度特性の評価を行ったところ、先端から $2\mu\text{m}$ 程度の領域にわたって超伝導転移温度 T_c が下がることが明らかとなった。これは Bosch 加工後に行う酸素プラズマによる残留レジスト除去の際に生じた超伝導膜の劣化にともなう現象であると考えられる。本年度の利用課題では、基板先端部の劣化した超伝導膜を回避すると同時に、集束イオンビーム(FIB)による SQUID 加工の負荷を軽減するために電極およびエッチングパターンの改良を進めた。

2. 実験 (Experimental) :

【利用した主な装置】

レーザー露光装置, シリコン深堀エッチング装置, 走査電子顕微鏡(SEM)

【実験方法】

レーザー露光装置を使用し、Nb/Au 膜からなる超伝導 4 端子電極を作成した。電極パターンを得た後、Bosch 加工のためのマスクとして厚さ $5\mu\text{m}$ のフォトリジスト

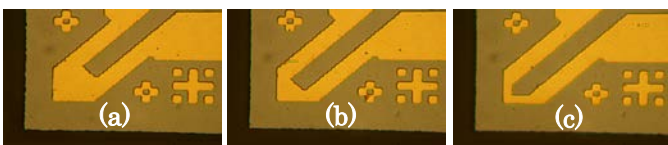


図 1 Si 深堀エッチング後のプローブ先端の光学写真。基板端と電極端の距離は $10.7\mu\text{m}$ 、電極先端部の幅は a、b、c それぞれ $12.7\mu\text{m}$ 、 $7.1\mu\text{m}$ 、 $2.8\mu\text{m}$ である。

AZ-P4620 を塗布し、位置合わせ露光により Si エッチング用のパターンを形成した。Bosch 加工では SF_6 と C_4F_6 ガス中でのエッチングと保護膜生成を交互に繰り返すことで、高アスペクト比を維持したまま、厚さ $100\mu\text{m}$ の Si 基板背面まで切り抜くことができた。

3. 結果と考察 (Results and Discussion) :

・超伝導膜劣化部の回避

作成したプローブ試料では、Bosch 加工時に相対的に薄くなっていた基板端のレジストがアッシングによって早い段階で剥離されてしまう。そのため、基板端では超伝導電極が直に酸素プラズマにさらされ、結果として超伝導性の劣化が生じていると考えられる。図 1 には、劣化のない超伝導膜を得るため、超伝導電極を基板先端から $10\mu\text{m}$ 以上後退させたプローブ試料の光学写真を示した。これらの試料に対し、先端部分の研磨を行い、電極端を基板端に近づけることに成功した。

・FIB 加工のための電極パターン細線化

プローブ先端部への FIB 加工による SQUID 作成では、先端部分を 2 端子化するために、電極に対して切り込みを作成する必要がある。レーザー露光の時点で切り込みを持たせることで、FIB 加工の負担は大きく軽減される。図 1 はそれぞれ異なる切り込み距離で設計し、同じ時に Nb/Au 膜を製膜した試料である。抵抗-温度特性を評価したところ、いずれも同様の T_c を示した。このことから、超伝導膜の劣化を回避できれば、 $2\mu\text{m}$ 程度の線幅を持った基板端超伝導 4 端子プローブ試料を作成できることがわかった。

4. その他・特記事項 (Others) :

なし

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation) :

なし

6. 関連特許 (Patent) :

なし