

北大院工 ○広瀬 龍介、有田 正志、浜田 弘一、岡田 亜紀良

要旨

「ダイヤモンド粒子をマスク材としてスパッタを行う」というイオンシャドー法により、Si、Au、Fe、Ni-Fe、Fe/Si 複合材での探針作製にそれぞれ成功した。その際、スパッタ過程のモニタリング画像を実時間解析することにより、適切なスパッタ時間を数分以内の精度で設定可能となった。その結果、上記材質に対し 10~20nm 以下の曲率半径をもつ尖鋭な探針を再現性良く作製することができた。

背景・目的

SPM(走査プローブ顕微鏡)は、表面観察、又は探針による切削、電界放出によるドット形成等、多目的に使用されている。そのため、必要とされる探針は多岐にわたり、材質は半導体や金属又は強磁性体と幅広く、形状は尖鋭なものが望まれる。特に磁気測定等に使用される強磁性探針は、もれ磁場の影響を少なくするために、磁性体部分の体積を小さくする必要がある。そのため、非磁性探針の先端が磁性体である探針(複合探針)が有効と考えられる。そこで、本研究では幅広い材質に適応可能なイオンシャドー法により探針の作製を試みた。その際、針形状を左右するスパッタ時間の設定を行い、再現性よく尖鋭な探針を作製する手法の開発を目的とした。

探針作製手法

イオンシャドー法とは、探針材にダイヤモンド粒子を付着させスパッタするという非常に簡便な手法であ

る(Fig.1)。このとき、ダイヤモンドのスパッタ速度が非常に遅いためマスク材として働き、ダイヤの影になっている部分が突起状に残るといものである。作製手順としてまず、探針材($\phi 0.5\text{mm}$ 程度のロッド)を先端数十 μm になるまでエメリー紙により研磨した。洗浄後、ダイヤモンド粒子(約10 μm)を一つ付着させた。次に、このダイヤが付着した探針材に長軸方向からイオンビーム(Ar^+ , 5Kv, 0.5mA)を照射し、ダイヤが無くなるまでスパッタした。

探針形状と問題点

以上の手法により、Au、Si、Fe、Ni-Fe の探針を作製した。一例を Fig.2 に示す。探針の長さは Au、Si で 60 μm 、その他は約 20 μm であった。先端曲率半径は Au で 50nm、その他では 10nm であった。探針による測定、切削および付加工を考えると、先端は 10~20nm 程度以下である方がよいが、その形状の再現性は必ずしも良好ではなかった。Fig.3 に Au のスパッ

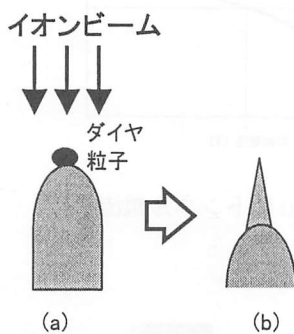


Fig.1 イオンシャドー法の概念図。
(a) ダイヤモンド粒子の付着、
(b) Ar^+ によるスパッタ

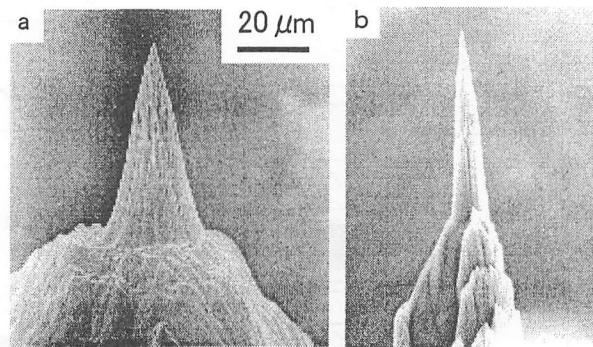


Fig.2 探針のSEM像 (a)Au、(b)Si

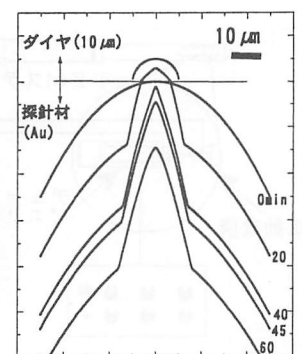


Fig.3 各スパッタ時間での計算による探針の形状

タ速度角度依存性を考慮したシミュレーション結果を示す。これを見ると、ダイヤモンドの無くなる 40min 後のスパッタにより先端が鈍化している。鋭い針形状を得るためには、数分以内の精度でスパッタ時間を設定する必要がある。Fig.2 の探針作製中には、光学顕微鏡を用いた CCD 画像によるプロセスの観察を行っていたが、先端認識は目視により行っていた。このことが、安定して鋭い形状を得られなかった原因である。

スパッタ時間の設定

以上のことをふまえ、モニタリング画像における先端位置変化を PC により解析するシステムを構築した。映像の記録には浜松ホトニクス製ビデオボード IQ-V50PCI、及びソフトウェア C7487/U7485 を用いた。また、取り込んだ画像を自作プログラム(Visual Basic で動作)により解析した。これにより 10 秒以下の時間精度での実時間解析が可能である。

Fig.4 は先端位置の時間変化の概念図を示したものである。先端位置変化はダイヤモンドが無くなるまではダイヤモンドのスパッタ速度に、それ以降は探針材のスパッタ速度に依存する。よってその変化率は、ダイヤモンドが消失した時点で急に増加する。しかしながら、実際に観察される画像は、光学系の不完全性、ノイズ低減のための画像平滑化等により、その分解能は低下している。よって、画像から認識される先端位置は本来の位置から

ずれ、またその変化は複雑となる(Fig.5-a)。簡単なモデルを用いて平滑化の方法と変化曲線との関連について調べたところ、3 パターンに分けられることがわかった。その中で、探針の軸にそって平滑化範囲を大きくすると、単純な二段階の変化が得られ、二回目の変化でダイヤモンドが消失していることがわかった(Fig.5-b)。

実際、Fig.5-b に相当する画像処理をほどこしたところ、先端位置の時間変化は、二段階の変化をした(Fig.6)。二回目の変化以前にスパッタを止めた場合にはダイヤモンドの残存がみとめられ、それ以後ではダイヤモンドが消失していた。画像の平滑化により正確な先端位置認識は困難になるが、その変化は明瞭に知ることができ非常に有効であった。この手法の採用により、過度のスパッタを回避可能になった。

結果

上述の方法によりスパッタ時間を設定し、Au 探針を作製した結果、Fig.2-a に示す探針よりも鋭い形状(曲率半径が 20nm)が再現性よく得られた。また、この方法により複合探針の作製も可能となった。非磁性材(Si)に強磁性体(Fe)を蒸着し、ダイヤモンドを付着させスパッタした結果を Fig.7 に示す。強磁性探針では困難であった高倍率の透過型電子顕微鏡(TEM)観察が可能となり、漏れ磁場の影響を小さくできたといえる。

おわりに

以上の結果から、スパッタ過程をモニタリングし、画像を平滑化することで、ダイヤモンドの無くなる瞬間の見極めが可能となった。このことにより、鋭い探針を再現性よく作製することができ、複合探針の作製も可能となった。また、磁性複合探針はもれ磁場の影響が少なく磁気測定等に有効であると考えられる。

本研究の一部は科研費特別研究員奨励費、及び基盤 C(13650708)、の援助のもと行われた。

