

3 極型大電力パルススパッタを用いた スピント型エミッタ陰極の形状最適化

薄膜・表面物性研究室 成田 智基
M156111 Tomoki NARITA

背景・目的

スピント型エミッタは円錐型の形状をした微小な電子放出源であり、薄膜プロセスを用いて作製できる(図 1)。先端が尖った形状のため、低電圧でも良好な電子放出特性を持ち、超高感度撮像素子などへの応用が期待されている。これまでに真空蒸着法を用いたスピント型エミッタの作製に関しては成功例が報告されている^[1]が、強い引張り応力による膜の剥離など、エミッタ材料に適した高融点金属の利用や大面積化などに課題が残っていた。

これらの課題を克服するため、本実験では外部電源によりプラズマ電位を制御できる構成とした 3 極型大電力パルススパッタ装置^[2]を用いて成膜を行い、各成膜パラメータに対するエミッタ形状の依存性を調べた。また、同時に成膜した平坦な Si 基板上的薄膜の物性とエミッタ形状との関係を考察した。

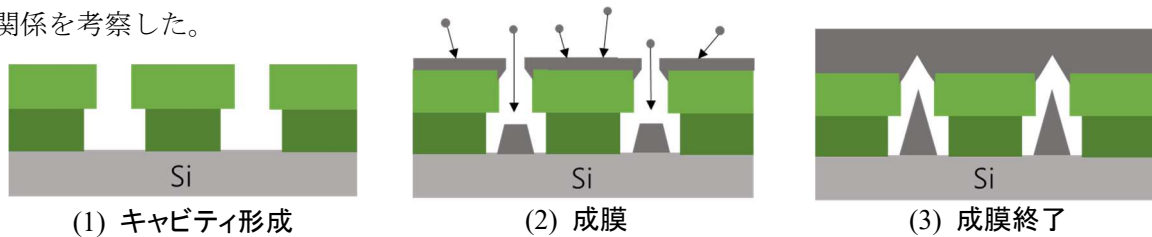


図 1. スピント型エミッタの作製プロセス

実験方法

2 層のフォトリソ、あるいは Mo と SiO₂ を用いて微小ホールを持つキャビティ構造を形成した Si 基板の上に、3 極型大電力パルススパッタ装置(図 2)を用いて Mo を成膜した。放電ガスには Ar を使い、パルス周波数 200 Hz、duty 比 5%、ターゲット-基板間距離 72.5 mm、ターゲット印加電力 100 W の条件は全ての実験で固定とし、外部電源電圧(以後キャップ電位: V_c と表記)を 0~60 V、成膜圧力を 0.16 Pa~5.0 Pa の範囲で変化させて成膜を行った。成膜時間は、レジストキャビティの場合は 90 分、Mo/SiO₂ キャビティの場合は 30 分とした。基板の水冷はレジストキャビティの場合のみ行い、成膜速度を統一するために成膜中の放電電流値が一定となるように調節した。取り出した基板を 4 分割にし、基板の中央付近、および端部付近のエミッタ形状を断面方向から走査電子顕微鏡(SEM)で観察した。

また、平坦な Si 基板の上に成膜した Mo 薄膜に関しては X 線回折(XRD)を用いて $\theta/2\theta$ 測定を行い、薄膜に生じる内部応力の評価を行った。

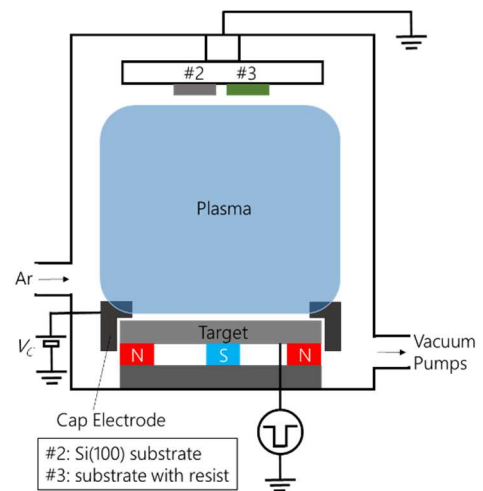


図 2. 3 極型大電力パルススパッタ装置の概略図

結果および考察

始めにレジストキャビティ基板の結果を示す。図3は各キャップ電位(V_c)・成膜圧力に対するエミッタのアスペクト比依存性である。キャップ電位 40 V、成膜圧力 1.0 Pa のときにアスペクト比が最大となった。キャップ電位が低い場合は粒子の入射方向制御が不十分でキャビティ内部に粒子が十分に堆積する前にホールが閉塞してしまうため、高すぎる場合には入射粒子のエネルギーが過大となって構造を壊してしまうためにアスペクト比が小さくなったと考えられる。成膜圧力に関しては、低圧では圧縮応力が強くなってホールの閉塞が早まるため、高圧では粒子の平均自由行程が短くなるためにアスペクト比が小さくなったと考えられる。アスペクト比が最大となったエミッタの SEM 像を図4に示したが、先端が鈍く、デバイスへの応用には不適切な形状であった。この原因は強い圧縮応力によるキャビティの変形や剥離であると考え、キャビティの材質をより強度の強い Mo/SiO₂ に変更し、変形や剥離を抑えて再度同様の実験を行った。

Mo/SiO₂ キャビティ基板を用いた成膜実験において、各キャップ電位(V_c)・成膜圧力に対するエミッタのアスペクト比依存性を図5に示した。キャップ電位 40 V、成膜圧力 0.3 Pa のときにアスペクト比が最大となった。どちらの基板を用いてもキャップ電位 40 V でアスペクト比が最大となることから、キャップ電位の最適値は 40 V 付近であると考えられる。成膜圧力に関してはレジストキャビティの場合と異なるが、キャビティの材質を変更することでより強い圧縮応力に耐えられるようになったため、平均自由行程が長くなる低圧での成膜でアスペクト比が大きくなったと考えられる。アスペクト比が最大となったエミッタの SEM 像を図6に示した。

最もアスペクト比が大きくなったキャップ電位 40 V、成膜圧力 0.3 Pa での成膜実験において、同時に成膜した平坦な Si(100)基板上に堆積した Mo 薄膜の XRD 測定の結果から、この Mo 薄膜には約 3 GPa の圧縮応力が生じていることがわかった。課題となっていた引張り応力の緩和は達成されたが、スパッタ薄膜に生じる圧縮応力の大きさとしては標準的であり、エミッタ形状との明確な相関は得られなかった。

[1] 長尾 他 ; 信学技報 **113 (257)** pp. 33-36 (2013)

[2] Nakano, Umahashi, Baba.; Jpn. J. Appl. Phys **53** 028001 (2014)

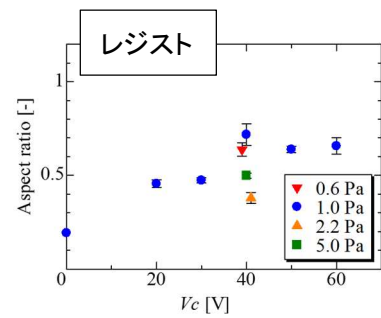


図3. 各条件でのアスペクト比

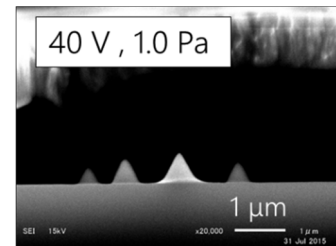


図4. アスペクト比
最大のエミッタ
(レジスト)

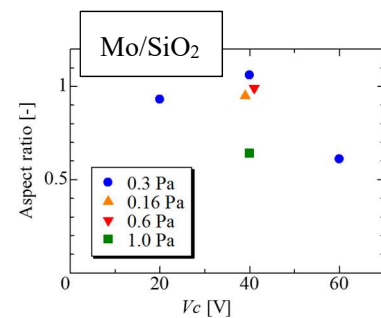


図5. 各条件でのアスペクト比

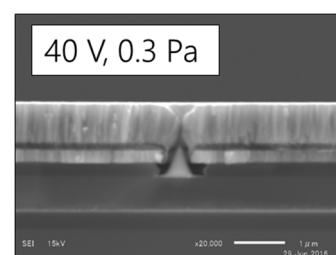


図6. アスペクト比
最大のエミッタ
(Mo/SiO₂)