

大電力パルススパッタを用いたスピント型エミッタ作製における 膜の応力抑制と形状最適化

薄膜・表面物性研究室 谷口 日向
M176113 Hyuga TANIGUCHI

背景と目的

スピント型エミッタは真空電子源のひとつである。この陰極は、上部にホールの開いた微細キャビティを基板上に形成し、ホールを通して陰極材料となる金属をキャビティ内部に堆積させて作製する。従来、作製には真空蒸着法が用いられていたが、基板の大面积化が困難、高融点金属では引っ張り応力緩和のために基板加熱が必要、などの制約があった。本研究では、粒子の入射方向やエネルギーの制御が可能な大電力パルススパッタ装置により、スピント型エミッタの作製を試みてきた。高融点金属である Mo の陰極を作製できたが、圧縮応力が強くなって膜が剥がれることが多く、エミッタの安定した作製が困難であった。本研究では、放電ガスに Kr を用いて内部応力の緩和を試み、エミッタ形状と内部応力について Ar の場合と比較した。また、基板に様々な値の負電圧を印加し、膜に生じる内部応力やエミッタ形状に与える影響を評価した。

実験方法

フォトリソグラフィとエッチングにより、Si 基板上に、SiO₂, Mo, Al からなるキャビティをアレイ状に設けたキャビティ基板（ホール径約 600 nm）に、大電力パルススパッタを用いて Mo を成膜し、エミッタを作製した。成膜は、応力測定用の Si (100) 基板と、エミッタ作製用のキャビティ基板に対し、基板電位を 0 V から -30 V の範囲で変更して行った。ターゲットに Mo、放電ガスに Ar または Kr を用い、成膜圧力が 0.3 Pa となるようガス流量を調整した。その他の条件は、ターゲットー基板間距離 72.5 mm、ターゲット印加電力 100 W、パルス周波数 200 Hz、パルスの duty 比 5%とした。基板ホルダは水冷せず、自然な温度上昇の下で成膜を行った。成膜後、Si (100) 基板に対して X 線回折 (XRD) 測定を行い、内部応力を算出した。また、成膜後のキャビティ基板を分割し、走査型電子顕微鏡 (SEM) で断面のエミッタを観察した。形状評価は、断面の SEM 画像より、エミッタの半値高さ÷半値全幅で求められる、アスペクト比 (AR) を算出し、それぞれの条件で比較を行った。

結果と考察

放電ガスに Kr を用い、基板電位を 0 V から -30 V までの範囲で変更して成膜を行った結果を図 1 に示す。エミッタの AR は 0.43~0.53 の値を示し、基板電位が -10 V の場合に AR が最大となった。基板電位を低くして、プラズマと基板間の電位差を大きくすると、イオン化したスパッタ粒子の入射方向は基板法線方向へより収束するはずである。すると、ホール側壁への堆積が少なくなり、ホールはより長い時間をかけて閉塞していくので、AR は大きくなることが期待できる。一方、電位差が大きくなると、イオン化した堆積粒子の入射エネルギーが増加し、膜に働く内部応力が増加する。このため、ホールの周囲で堆積した膜がホールの中央方向に湾曲しながら成長することとなり、結果としてホールが早く塞がりやすくなる。この効果は AR が低下する方向に作用する。以上 2 つの効果が競合したことにより、基板電位 -10 V の場合に AR が最大となったと考えられる。

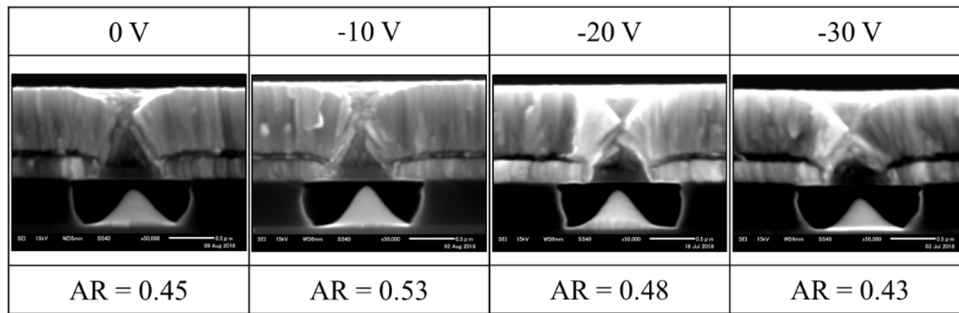


図 1. エミッタ形状の基板電位依存性 (Kr, 0.3 Pa) -

放電ガスを Ar または Kr として、基板電位を 0 V から -30 V までの範囲で変更して成膜を行った試料に対して応力測定を行った結果を図 2 に示す。全ての基板電位において、放電ガス Ar よりも、放電ガス Kr の場合に圧縮応力が緩和されていた。Kr の場合、ターゲットに衝突して後方散乱し、高エネルギーで基板へ入射する希ガス粒子が Ar と比べて減少するため、応力が緩和されたと考えられる。また、圧縮応力が最大となる基板電位は、Ar の場合は -20 V、Kr の場合は -30 V であった。Ar の場合に -20 V で最大となる理由は、基板との電位差が増加するとスパッタ粒子のエネルギーが増加し、それに伴い内部応力も増加するが、内部応力が大きすぎると薄膜が応力に耐えられなくなり、塑性流動を起こして圧縮応力が緩和されたためと考えられる。

放電ガス Kr による成膜で最も AR が大きくなった条件は、成膜圧力 0.3 Pa において基板電位 -10 V であった。この条件で、放電ガスを Ar に変更して成膜を行った結果を図 3 に示す。放電ガスを Ar の場合、Kr と比較して、AR のより大きい先鋭なエミッタが得られた。図 2 に示したように、Kr の場合に膜に働く圧縮応力が減少したにも関わらず、AR が小さくなった原因としては、基板法線に沿った Mo 粒子の直進性が低下したことが考えられる。

プラズマシース内のスパッタ粒子とガスとの衝突による散乱による効果が Ar より大きいため、あるいは、スパッタ粒子のイオン化率が Ar よりも低いため、Kr の場合に直進性が低下したと考えられる。

結論

放電ガスを Kr に変更することで、Ar と比較して膜に働く内部応力を緩和できた。しかし、エミッタ形状に関しては Ar に劣るものとなった。良好なエミッタ形状を得つつ、膜が剥離しないようにするため、放電ガスは Ar のまま、膜が剥離しないようにする方法を探索する必要があると示唆された。

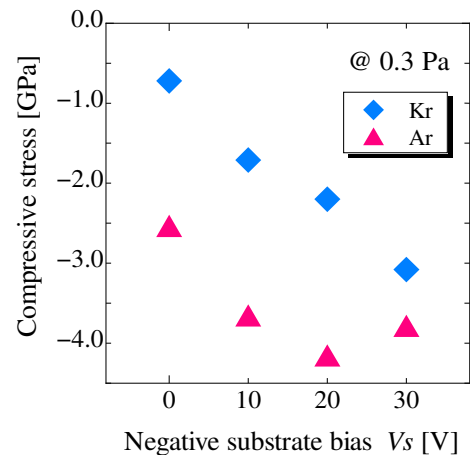


図 2. 膜の内部応力に対する基板電位と放電ガスの関係

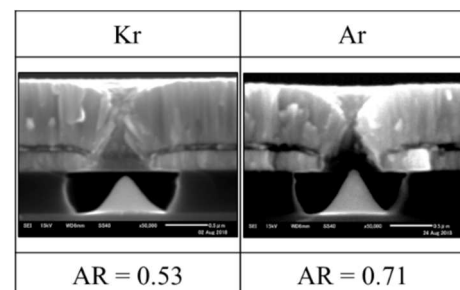


図 3. 放電ガスの違いによるエミッタ形状の違い