

スパッタ装置の取り扱いに関する研修

材料・化学系（材料物性工学科） 曾根 宏靖

1. 研修日時・場所

日時 平成8年9月7日～12日

場所 東北大学金属材料研究所

2. 研修目的

最近半導体工業、機械工業などにおいて急速に一般化しつつある「スパッタ装置」について、この分野では関連設備が充実している東北大学金属材料研究所において、動作原理・その取り扱い技術を修得し、今後の材料物性工学の研究において大きく寄与することを目的とする。

3. 研修内容

本研修において、多くのスパッタ装置について学ぶ機会を得たが、今回は私の所属研究室で特に関係のある直流スパッタリング装置について述べることにする。

3. 1 基本的なスパッタリング装置（二極直流スパッタリング法）

スパッタリングを用いた薄膜作製技術の中で、最も簡単な方法は、二極直流スパッタリング法である。この方法では真空槽全体を放電管として、その中に放電用のガスを注入して二極直流のグロー放電を起こさせる。

まず装置全体の構成から述べることにする。スパッタリング装置の真空系全体の構成は、真空蒸着装置と同じであると考えてよい。真空槽には放電用のガスの導入口と微調整のリークコック、グロー放電を起こすための高圧電極、 $10^2 \sim 10^0 \text{Pa}$ の真空を測るための低真空計などが付けられる。陰極はもちろんスパッタリングをしようとする物質、陽極上にはAlまたはステンレス鏡などで作られた基板が置かれる。よく用いられるスパッタリング装置の概略を図1に示した。

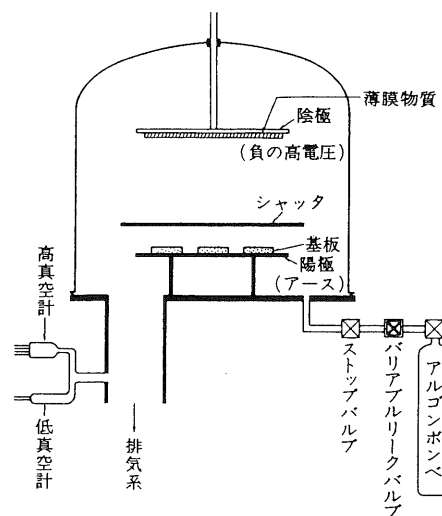


図 1 典型的な二極直流スパッタリング装置

次に内部の部品について述べる。真空槽の大きさが直径約10cmのベルジャーの場合、陰極・陽極は直径が数cmから約10cmの円板にし、両方を同じ直径にして上下に対向させて置くのが普通である。陰極は薄膜の材料であり、正イオンの標的にされるのでターゲットと呼ばれる。両者の間の距離は、グロー放電を起こすに充分離れていなくてはならないが、ターゲットから飛び出したスパッタリング原子が陽極上の基板に、放電ガスにあまり妨げられずに到達できるように、離れすぎていてもいけない。放電ガス圧にもよるが約10cm位いが適当である。また、この距離が大きいと陰極板の中心部のスパッタリングが大きく、周辺にゆくほど小さくなり、逆にその距離が小さいとターゲット板の縁の近くが多くスパッタリングされる。適切な距離を維持しないと基板の薄膜の厚さが基板内の位置によって不均一になる。これを避けるためには、装置に応じた適当な距離を選択することが重要となる。

大部分の装置では基板を載せる陽極は、真空系や真空槽とともにアースされ、ターゲットに負の高電圧がかかるようになっている。陽極は、必要に応じて加熱できるようにする。陰極には正イオンが激しく当たるため高い温度になり、ターゲットが融解することがある。そのためターゲットは水冷できるようにするのが普通である。ターゲットは作ろうとする薄膜と同じ物質でできていなくてはならないが、物質が変わるごとにターゲット全体を取り換えることは煩雑であるから、真空槽に固定された、ステンレス鋼やAl製の水冷式陰極を作っておき、その上にスパッタリングさせる物質を置くような形態にするとうい。ターゲットとその周辺の構造の一例を図2に示す。放電防止用のシールド板は、陽極に向かい合っていない部分での不必要な放電とスパッタリングを防ぐためのもので、高電圧部分から5mm程度以上離れていないようにする。そうすることにより、この間でのターゲットからの電子は、充分多くの正イオンを生成できず、グロー放電が生じない。

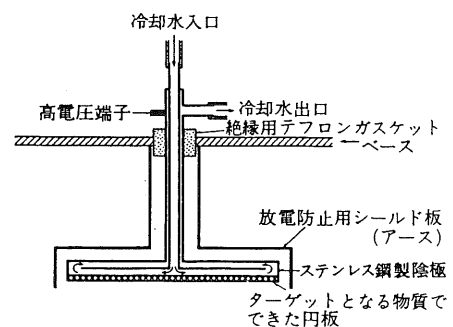


図2 スパッタリング装置での陰極(ターゲット)の構造

ここで、二極直流のスパッタリングの動作条件(スパッタリング条件)について簡単に述べる。

スパッタリング条件を決めるものは、放電ガスの圧力 P_d 、放電電圧 V_{DC} 、放電電流 I_{DC} であるが、これら三つの量の間に関係が成立するため、独立に変えられるのはこのうち二つだけである。放電を起こすガスにはArが多く用いられる。二極直流スパッタリングでは、 P_d は $10^2 \sim 10^0$ Pa、 V_{DC} は1~5kV程度である。この電圧領域では、 V_{DC} の変化に対するスパッタリング率の変化はあまり大きくはなく、薄膜の形成速度は I_{DC} とほぼ比例関係にある。

3. 2 スパッタ装置の取り扱い

最後にArを用いた二極直流スパッタリング法の実際の手順を図1に示したが装置について述べておくことにする。

まず、真空槽の真空は表1の手順に従い、およそ 10^{-4} Paまで排気できているものとする。ただし、Arガスボンベに接続されているストップバルブ、バリアブルリークバルブは、全開にして途中の配管も排気をしておく。排気が終了したらバリアブルリークバルブだけを閉じる。

初めにターゲットに冷却水を流す。普通の拡散ポンプでは排気速度が速すぎるので、真空槽と拡散ポンプの間にあるコック（メイン・コック）をやや閉じてコンダクタンスを落とし、真空槽の真空度が $10^{-2} \sim 10^{-3}$ Pa台になるまで落とす。この圧力は、スパッタリングを行うときのArガスの圧力、それを流すバリアブルリークバルブと拡散ポンプの性能によ

表 1 油拡散ポンプを用いた真空装置の操作. 丸の中の数字は、各段階における操作の順番を示す(図3参照).

段階	コック					スイッチ		水	トラップ	真空槽内圧力 (Pa)	経過時間	
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	SW1	SW2					
0	閉	閉	閉	開	開	OFF	OFF	停止	空	常圧		停止状態
1	"	"	"	①閉	②閉	③ON	"	"	"	"	~1分	作動開始
2	"	"	開	"	"	"	"	"	"	"	~数分	油拡散ポンプの油回転ポンプによる排気
3	④開	"	③閉	"	"	"	②ON	①流	⑤満	"	~数分	油回転ポンプによる真空槽排気開始, 油拡散ポンプの加熱開始 油回転ポンプによる排気
4	①閉	③開	②開	"	"	"	"	"	"	10 ⁰	数十分 数時間	油拡散ポンプによる真空槽排気開始 油拡散ポンプによる真空槽排気
5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	10 ⁻² 10 ⁻⁵		排気終了→真空槽中での実験
6	"	①閉	"	"	③開	"	②OFF	"	なるべく空に	常圧	0.5~1時間	排気停止準備 油拡散ポンプ冷却
7	"	"	①閉	③開	"	②OFF	"	①停止	"	常圧		停止状態

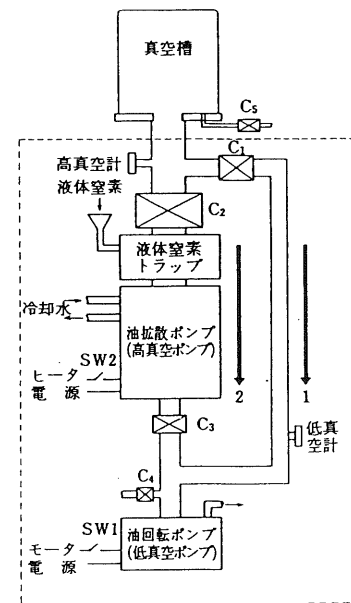


図 3 高真空装置の概念図
 ⊠ C_i: コック
 矢印の番号: 排気の順序
 SW: スイッチ

て適当に決める。その後に真空槽の真空を測定する真空計を、高真空計から低真空計に切り換える。Arガスのポンベの減圧弁はあらかじめ調節しておき、ポンベのコックを開く。次にバリアブルリークバルブを徐々に開き、低真空計の振れが所定の圧力を示すように調節する。

この操作により放電を行わせる準備が整い、あとは電圧をかければよいと言うわけであるが、しばらくはシャッタ（アース電位）を入れたままシャッタとターゲットとの間で放電を行わせると、ターゲット表面の汚れが除去される。（ターゲットに正の高電圧をかけられるようにしておく、基板表面の汚れをおとすこともできる）。それからシャッタを開くと、ターゲットでのスパッタリング原子が基板に付着する。スパッタリングを停止する時には、印加電圧を0にし、Arガスポンベのコックとストップバルブとを閉じればよい。

二極直流スパッタリング法は、簡単ではあるが放電がかなり不安定で、局所的に放電が起こったり放電電流が変動したりするので、常に監視して、Arガスの圧力や放電電流を一定に保つことが必要である。なお、両電極板に垂直に磁界をかけると、放電の安定性・均一性が増すとされており、実際に磁石の入っている装置もあるが、Arガスの圧力が $10^2 \sim 10$ Pa程度では、磁石の役割はあまり明らかではない。

スパッタリング法に共通の問題点は、陽極と基板の温度の上昇である。これは、ターゲットからの熱放射および二次電子放射が主な原因と言われる。熱放射はターゲットの冷却によってかなり防げるが、二次電子放射による温度上昇に関してはある程度避けられないようである。

4. 所 感

今回の研修において、実際のスッパタ装置について多くの知識を得ることができた。最後にこの研修の機会を与えてくれた所属研究室の諸先生方、技術部、ならびに本部の各担当の方々に厚くお礼申し上げます。また、東北大学金属材料研究所の藤森研究室の方々と、特別な御指導を頂いた小尾先生に感謝申し上げます。

本研修で修得したことを今後の材料物性工学の研究において役立て、この分野の研究に大きく寄与したいと思っている。