

8.3 薄膜作製における諸問題

薄膜を作製しようとする場合、要求する特性を満たすことが実験的にわかったとしても、再現性や生産性を考慮した場合には、次に示すような諸問題について検討しなければなりません。

(1) 膜厚の制御技術

) 膜厚の決定方法

作製しようとする薄膜に要求する特性は、どの膜厚をどのような方法で測定すべきかということです。一般的には、光学薄膜では、光電式膜厚計、その他の膜には水晶式膜厚計が用いられています。

) 成膜速度の制御

どのようなモニターを使用して、どのように制御するかということです。この用途には、水晶式膜厚計からフィードバックをかけて、蒸発源、スパッタ源、プラズマ源などのパワーを制御する方法が多用されています。

) 膜厚の分布

どの程度の膜厚分布（および諸特性の分布）を要求し、それを実現するためには、どのような装置構成を選択し、どのような方法で膜厚分布の補正をするかということです。蒸着系の成膜方法では、膜厚補正板によって後に修正できますが、スパッタ系やCVDにおいては、装置の構成によって決まってしまうこともありますので、大変重要な問題です。

(2) 付着力

薄膜が使用される状況で、基板と十分な付着力を持っているかは重要な問題です。必要な付着力を得るために考慮すべき事項には次のようなものがあります。

-) 膜種と基板の組み合わせ
-) 基板の洗浄（洗浄工程、洗浄剤、乾燥方法など）
-) 基板の前処理（イオン照射など）
-) 成膜条件
-) 付着力の経時変化

(3) 内部応力

薄膜に発生する内部応力には、次のようなものがあります。

) 熱応力

膜と基板の熱膨張率の差によって発生する。

(バimetタル効果)

) 真性応力

a)表面効果

- ・表面張力・・・膜形成初期に支配的。
- ・表面層・・・酸化層の生成などによる。
- ・結晶粒界・・・島状結晶の結合成長の過程で生ずる。

b)体積効果

- ・相転移・・・アモルファス結晶、液相固相などの相転移に伴う体積変化による。

薄膜に内部応力が生ずると、引張応力の場合は膜にクラックが発生し易く、圧縮応力の場合は膜にしわの発生する原因となります。また、膜が剥離する原因ともなるので、注意しなければなりません。応力を緩和するのは大変難しいのですが、基板温度、成膜時の圧力、成膜速度などの成膜条件や、イオン照射などの成膜中の補助手段の利用、薄膜へのドーピング、多層膜では組み合わせを考慮するなどで緩和できる場合もあります。

(4) 膜強度・膜密度

薄膜はバルクに比較して、密度が低く、強度も弱いものです。特殊な用途を除けば、薄膜をできるだけバルクに近づけるのが、薄膜作製技術の目標です。そのために、様々な新しい技術が開発されています。

また、それとは別に、一時的に膜強度が低下し不良品が発生することがあります。これは、ほとんどの場合、成膜装置に不具合が発生しているので、点検の必要があります。最も多い例が、成膜室の内部の汚れです。成膜室の内壁には、基板以外の部分に膜材料が付着します。回数を重ねる内

にかなり厚い膜になってきます。また極めて慎重に洗浄などの前処理を施された基板に付着する膜に比較すると、基板以外の部分に付着した膜は大変密度が低く、空隙をたくさん持ったポーラスな膜です。このポーラスな膜は表面積が大きいので、大気に開放した時に、大気中の水を大量に吸着します。この水は次の成膜中に、真空中でじわじわと放出されます。

膜密度、膜強度をバルクに近づけるための重要なファクターとして、成膜時の膜物質と不純物気体の比率があります。もちろん、膜物質の比率が高いほどバルクに近い膜が得られます。成膜室内部が汚れている状態で成膜をすると、汚れに吸着されていた水が放出され、基板近傍に大量に存在することになります。つまり、不純物気体の比率が高くなり、低密度（低屈折率）低強度な膜になるのです。これを防ぐには、定期的かつ計画的な真空室内の清掃が重要です。一般的に成膜装置には、清掃の簡便化を計るために、ステンレス製の防着シールド板が取り付けられるようになっていきます。これを予備のものに交換し、汚れたものについては、サンドブラスト装置などを利用してクリーニングし、洗浄して次の交換に備えてください。

その他に、真空のリークが発生した場合にも、一時的な膜密度、膜強度の低下が発生します。成膜装置は日常のメンテナンスを実施することになり、突発的なトラブルの大半を回避できますので心がけてくださるようお願いいたします。

（５）ピンホール、パーティクル

特に半導体業界などでは、最近のパターンの微細化によって、これまでは問題にならなかった微小なサイズのピンホールやパーティクルが問題となっています。これらを減少するには、基板を常にクリーンな状態に保つことがまず重要です。それには、クリーンルームの管理、洗浄や前処理工程の工夫とともに、成膜装置内壁の汚れにも注意をはらわなければなりません。また、パーティク

ルについては、薄膜物質を気化する時に、サイズの大きな塊が飛散するのが原因の場合が多いので次項で改めて述べます。

（６）装置の問題点

）真空排気系

薄膜に要求する特性や基板の種類によって、適した真空排気系があります。たとえば、プラスチック基板の場合は、真空中に排気すると大量に水（ H_2O ）を放出するので、水に対する排気速度の大きいクライオポンプやマイスナートラップを使用するのが効果的です。また、油回転ポンプや拡散ポンプは故障が少なく、価格も安いことなど利点も多いのですが、真空室へのわずかな油の逆流があり、精細なパターンを持った素子の場合にはピンホールなどの原因になる場合があります。このような場合には、オイルフリーの排気ポンプを使用した方が良く、あらびきポンプにはドライポンプを、高真空ポンプにはクライオポンプかターボ分子ポンプを使用します。しかし、油回転ポンプを誤使用して大きなオイルの逆流を招いているケースも多くみられます。それは、あらびき時間を必要以上に長くしすぎる例で、数 Pa 以下の圧力で長時間、油回転ポンプで排気し続けると真空室内へは、かなりの量のオイルが逆流してしまいます。対策としては、あらびき時間は必要最小限にし、早く高真空ポンプでの排気に切り換えることです。

基板に付着したダストは、それが脱離すればピンホールになり、膜中に残れば巨大粒子として微細パターンの場合の問題となります。このダストは真空室内壁や治具に付着した薄膜物質が、排気開始時や真空のブレイク時に剥離して舞い上がり、基板に付着する 경우가ほとんどです。これを防ぐには、排気開始時とリーク時に時間をかけて行うスロー排気やスローリークが効果的です。

）真空室および内部機構

薄膜作製装置において、真空室や治具、移動機構などの内部機構からの発塵やガス放出は膜の諸

特性に大きな影響を与えます。特に基板ホルダーは最も基板の近傍にあるので、ここからの発塵、ガス放出をできる限り少なくすることが、良質の膜を作製するポイントとなります。具体的には、不要な薄膜物質が付着する部分の防着シールド板をサンドブラストするなどして、付着物が剥離しにくくすると発塵は減少します。また身近な材料ではありますが、真空中に真鍮を使用すると亜鉛(Zn)が放出し、膜ばかりでなく排気系も汚染しますので絶対に避けてください。移動機構では、ベアリングなどにオイルは使用しないのが望ましいのですが、使用せざるを得ない場合には、蒸気圧の低いものを最小限に用いてください。もちろん、真空室内は定期的に清掃しベーキングをした後、成膜作業を開始してください。

) 蒸発源、スパッタ源

先にも述べたように、パターンの微細化により薄膜中のやや大きなサイズのパーティクルが問題にされることが多くなってきました。これは、ダストが原因のものもありますが、蒸発源、スパッタ源に起因するものもあります。蒸発源では蒸発材料がスブラッシュして、大きな粒子が基板に付着することがあります。

これを防ぐには、

蒸発材料の純度を上げ吸蔵ガスを減らす

蒸発材料の形状を工夫する

蒸発材料を十分に予備加熱し脱ガスする

などの方法があります。

スパッタ源においても、ターゲット材料については蒸発材料と同じ対策が必要です。その他に、スパッタリングでは、ターゲット表面での荷電粒子のチャージアップによる異常放電で発生するパーティクルも大変発生し易いものです。最近では異常放電防止回路の開発が進み、これを使用することによってかなり抑えられるようになりました。