

# 10 多重磁極マグネトロンスパッタガン構造の最適設計法と膜密着性

新田 明, 藤原義也, 宮野忠文, 梶岡 秀, 山縣 悠\*

## Magnetic simulation for magnetron sputtering with MMPC and film adhesion

NITTA Akira , FUJIWARA Yoshinari, MIYANO Tadafumi, KAJIOKA Hideshi and YAMAGATA Yu\*

In order to efficiently design an ideal magnet arrangement of the multiple magnetic pole magnetron sputtering equipment, magnetic simulation is effective to estimate magnet arrangement that make erosion region expanded. The comparison was carried out by magnetic simulation and magnetic field visualization system, and it was confirmed that by making appropriate simulation model, simulation result which is nearly equal to the actual magnetic field can be obtained.

キーワード：多重磁極マグネトロンスパッタ, 磁場シミュレーション, 磁場測定, 密着性

### 1 緒 言

薄膜形成のための基盤材料は、シリコンウェハーやガラスなどの無機材料が一般的である。しかしプラスチックは軽い、割れない、曲がるといった有機材料特有の長所を持っているため、プラスチックフィルムを基板に用いた応用部品が研究・開発されるようになった。

本開発中の多重磁極マグネトロンスパッタ装置によりポリイミド基板上への銅コーティングを実施した。その試作品の評価、および市販品との比較を行った。

また、多重磁極マグネトロンスパッタ法の特徴は、側面にも多数の永久磁石を配置し、ターゲット上の磁界分布を制御し、エロージョン領域を拡大できる点にある。しかし理想的な磁石配置を決定するために、磁石配置の異なる複数のスパッタガンを試作し、試行錯誤により理想的なスパッタガン構造を決めることはコストと開発期間の面で非効率である。そこで磁場シミュレーションによりターゲット上の磁場を解析することで、エロージョン領域が拡大される磁石配置を予測し、スパッタ速度の向上およびターゲット利用効率の改善を目指す。

さらに、ポリイミドシートに銅成膜し、密着性を検討する。

### 2 多重磁極スパッタガンの磁場シミュレーション

#### 2.1 磁場シミュレーション方法

多重磁極マグネトロンスパッタガンは多数の磁石と複数の材料を用いて構成するため、シミュレーションを行う場合メッシュの形状、間隔、材料特性の指定、シミュレーションモデルのサイズを適切に構成してシミュレーションを行う必要がある。そこで、本研究では、マグネトロンスパッタガンの磁界分布を実測し、作成したシミュレーションモデルと比較しながら多重磁極マグネトロンスパッタガンの磁界分布を解析するための基礎技術の確立を目的としている<sup>1)</sup>。

磁界解析ソフトウェアは、有限要素法を用いた電磁



図1 空間磁場自動計測可視化システム  
(制御部のコンピュータは表示していない)

\*広島工業大学

界解析ソフトウェアである  $\mu$ -MF を用いた。またマグネトロンスパッタガンの磁束密度の測定には当センターと(株)デルタツーリングで共同開発した図1に示す空間磁場自動計測可視化システム<sup>2)3)</sup>を用いた。このシステムは3つのホール素子を持つテスラメータ、アクチュエータと制御用パソコンで構成され、3つのホール素子の位置の誤差をアクチュエータで補正を行いながら自動計測が可能となっている。シミュレーションでは磁石やマグネトロンスパッタガンに使われている材料の磁気特性は磁石メーカーの公表値、あるいは実測値をもとに材料特性を指定した。

## 2.2 シミュレーション結果

図2にターゲット表面付近の磁束密度の実測値とシミュレーション結果を示す。

横軸が磁石中心からの距離、縦軸が磁束密度の水平成分合成値を正規化した値を表しており、グラフからターゲット中心からの距離が80辺りまでは実測値とシミュレーション値がほぼ一致していることがわかる。ターゲット中心からの距離が80以降では実測とシミュレーション結果でずれがあるが、計算時間短縮のためこの部分でメッシュ間隔が広くしたことが原因と考えられる。磁場解析に必要であればメッシュ間隔を狭くすれば改善可能である。

またこのグラフよりマグネトロンスパッタ装置で重要となるターゲット表面の水平成分の磁界が、ターゲット中心からの距離が40~80付近で一定になっており多重磁極構造によりエロージョン領域が拡大できていることが推測される。以上より、マグネトロンスパッタガンのシミュレーションモデルを適切に作成すれば、多重磁極マグネトロンスパッタガンの磁場解析及び、磁石配置の最適化に応用可能であることが確認できた。

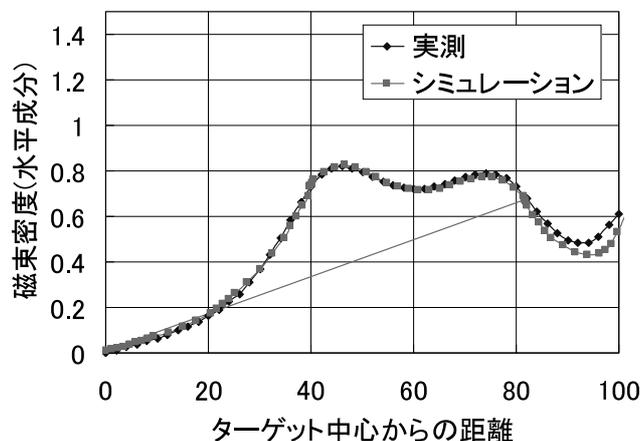


図2 ターゲット表面付近の磁束密度分布

## 3 金属薄膜の密着力

市販品5種類のフレキシブルプリント基板は厚さ30~44 $\mu$ mのポリイミドシートの両面に、2 $\mu$ m(試料番号-1)、12 $\mu$ m(試料番号-2)、6 $\mu$ m(試料番号-3)、40 $\mu$ m(試料番号-4)、41 $\mu$ m(試料番号-5)の銅箔を貼り付けたシートである。一方、厚さ55 $\mu$ mのポリイミドシートの片面に多重磁極マグネトロンスパッタ装置を用いて、銅膜厚4 $\mu$ m(試料番号-6と試料番号-7)と1 $\mu$ m(試料番号-8と試料番号-9)に制御して試作品を作成し、引っ張り試験方法とピール試験法で試作品と市販品の密着強さを測定した。

引っ張り試験に際しては、治具(直径8mm×長さ20mmの鉄丸棒)を2本用意し、その端面に接着剤(コニシ(株)製ボンド:金属・ガラス・陶磁器用2液タイプ)を塗り、Vブロックを用いて丸棒の中心軸をあわせながら、同時に試料に貼り付けた。その時の構造(市販品試料)は

治具 - 接着剤 - 銅箔 - シート - 銅箔 - 接着剤 - 治具となる。この治具を上下2個のユニバーサルジョイントに固定し、オートグラフの引っ張り速度:毎分10mmで引っ張った。

一方、ピール試験用のサンプル作成は、市販品の場合、片面の銅箔を塩化第二鉄飽和水溶液500mlと塩酸150mlとの混合液で完全に溶かし、その後、幅が10mmとなるようにハサミで切断した。銅箔あるいはスパッタ銅薄膜側と塩化ビニールテープを接着剤で接着し、1週間圧着放置後、塩化ビニールテープとポリイミドシートを掴み、オートグラフで引っ張り速度:毎分10mmで引っ張った。

図3には引っ張り試験法による密着強さを示す。市販品の試料番号-2と試作品の試料番号-9がポリイミドシートと銅箔の界面で剥離した。前者の密着強さ22MPaに対して後者は23MPaであり、スパッタ成膜試作品も市販品と同程度の密着強さが得られることが分かった。ただし、その他の試料では銅箔あるいは銅薄膜と接着剤の界面で剥離した。これらの値は10MPaから24MPaと大きくバラツキが見られた。我々が求めたい密着強さはポリイミドシートと銅箔あるいはスパッタ銅薄膜の界面密着強さであるが、数値的に求めることはできなかった。しかし、これらの数値以上の密着強さが得られていることは明らかである。これらのことを考慮すると、試料番号-8も19MPaを示していることから、試料番号-2と同等以上と推定される。

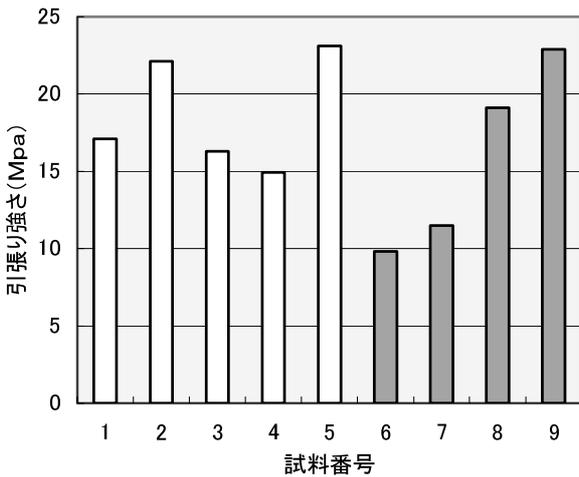


図3 市販品とスパッタ成膜試作品の引張り試験法による密着強さ（白抜き：市販品，黒抜き：試作品）

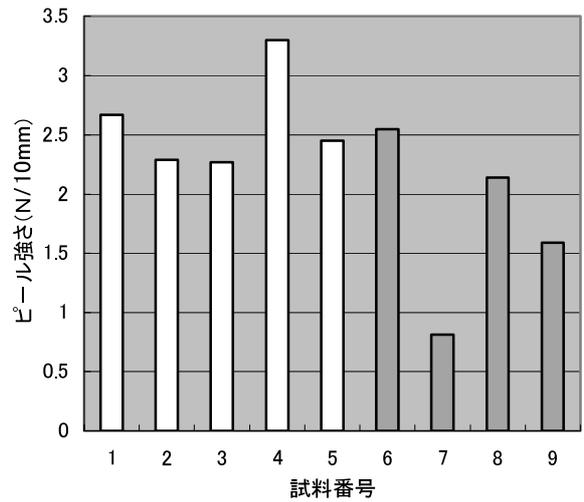


図4 市販品とスパッタ成膜試作品のピール試験法による密着強さ（白抜き：市販品，黒抜き：試作品）

ピール試験法による密着強さの結果を図4に示す。市販品では試料番号 - 2のみがポリイミドシートと銅箔との界面で剥離し、スパッタ試作品では全てこの界面で剥離した。図3で述べたのと同様に銅箔と接着剤で剥離した試料番号 - 1, 3, 4, 5のポリイミドシートと銅箔界面のピール密着強さはこれらの密着強さ以上である。試料番号 - 2の2.3Nと比較するとスパッタ試作品では試料番号 - 6は2.6N、試料番号 - 8は2.1Nであり、市販品と同程度の密着強さを持つことが分かった。

市販品の場合、ポリイミドシートと銅箔を接着剤で張り合わせる前処理として、密着強さを改善するために、化学エッチング-熱処理あるいは酸素プラズマ処理などがなされているのに対して、スパッタ法で試作品を作成する時には特に前処理を施していない。このことを勘案すると多重磁極マグネトロンスパッタ法では、通常のマグネトロンスパッタ法に比べ、プラズマ密度が高いため密着強さが向上したものと考えられる。

## 4 結 言

多重磁極スパッタガン構造でのシミュレーションモデルを作成し、適切なシミュレーションモデルを作成すれば実測値に近い結果を得ることが確認できた。また、シミュレーション結果より多重磁極構造によりエロージョン領域が拡大できていることが推測できた。今後技術移転を行い多重磁極マグネトロンスパッタガン構造の最適化を図る。

多重磁極マグネトロンスパッタ装置でポリイミドシートへ銅成膜すると、市販品のプリント基板と同程度の密着強さが得られた。

## 文 献

- 1) 梶岡他：西部工技研究報告，No46（2003），35
- 2) 田尾博幸，中平 宏：電子情報通信学会，TA - 2 - 5（2000）。
- 3) 田尾他：西部工技研究報告，No41（1998），29

図1