

電子ビーム蒸着装置

キーワード：真空蒸着、電子ビーム、薄膜、3元電子ビーム蒸着源、水晶振動子型膜厚モニター

はじめに

近年、地球温暖化対策として注目されている太陽電池、燃料電池、その他の省エネ技術などをはじめ、電子機器、ディスプレイ、半導体、電子部品、IoT 関係から、自動車、車載機器、鉄道、船舶、装飾品、食品、医療、ヘルスケアに至るまで、薄膜作製技術は非常に多岐にわたって利用されています。

薄膜作製技術としては、塗布やめっきなどの液相成長法と真空を利用した気相成長法に大別され、さらに気相成長法は物理的気相成長(PVD)法と化学的気相成長(CVD)法に分類されます。いずれの方法も固有の特長を有し、それに適した用途に使用されています。

ここでは、当所が保有する PVD 法の一つである電子ビーム蒸着装置について、装置仕様および本装置を利用した事例を紹介いたします。

真空蒸着法の概要

真空蒸着法は、高真空中で金属や酸化物などの蒸着材料を加熱し、蒸発あるいは昇華させることで、気体原子・分子となった蒸着材料を基板側へ輸送し、基板上での再凝縮(核形成やマイグレーションなど)により薄膜を作製する方法です。スパッタリング装置と比べて構造が簡単であり、かつ製膜時に Ar ガスなどを導入する必要がなく、高真空中で製膜を行えます。そのため、平均自由行程が大きくなり、気体原子・分子となった蒸着材料は残留ガス分子などに散乱されず基板上に到達し、不純物が極めて少ない薄膜作製が可能です。

蒸着材料の代表的な加熱方法としては、抵抗加熱、高周波誘導加熱、および電子ビーム加熱があります。抵抗加熱は、W、Mo などの抵抗体に電流を流して発熱させることで、発熱した抵抗体上に供給した蒸着材料を加熱します。高周波誘導加熱は、C などのルツボ内に蒸着材料を収納し、高周波誘導加熱により蒸着材料を加熱します。電子ビーム加熱は、Al₂O₃ や C などの高融点ルツボ内に蒸着材料を収納し、電子ビームを蒸着材料に照射することで蒸着材料を加熱します。電子ビームを用いた加熱方法は、他の 2 つの加熱方法と比べて、高融点の蒸着材料にも対応可能です。

装置仕様

本装置は、2kW E 型電子銃(キャノンアネルバ株式会社製:980-7104)を有する電子ビーム蒸着装置(誠南工業株式会社製)です。図 1 に装置の概観写真を、表 1 に本装置の主な仕様を示します。

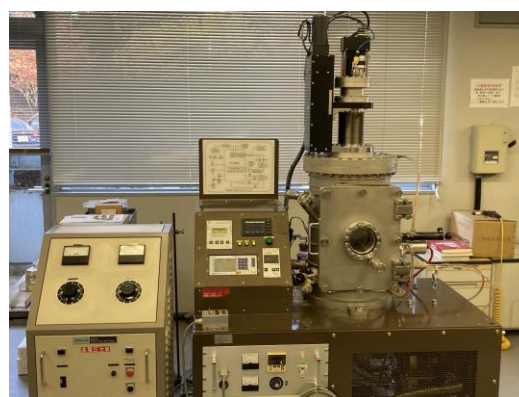


図 1 装置の概観写真

表 1 装置の主な仕様

真空ポンプ	ターボ分子ポンプおよびロータリーポンプ
到達真空度	5×10 ⁻⁴ Pa 以下
ルツボのセット数	最大 3 個
ルツボの容量	1 mL
膜厚モニター	水晶振動子型膜厚モニター
基板ホルダーのサイズ	直径 200 mm
基板ホルダーの回転	自転可能
基板加熱温度	最大 200 °C

電子ビーム蒸着装置を用いた薄膜作製の手順について説明します。最初に、蒸着材料に対応した高融点ルツボ(例:Al₂O₃、C、W など)内に蒸着材料を入れ、そのルツボを水冷可能な銅製ハースの所定位置に設置します。次に、製膜チャンバー上部に基板ホルダーを設置後、ロータリーポンプおよびターボ分子ポンプを用いて製膜チャンバーの真空排気を行います。所定の真空度に到達後、銅

製ハース用冷却水を流し、電子銃制御装置を用いて、電子ビーム源であるW製フィラメントに通電する電流および電子ビームの引き出し用電圧を制御します。ここで、蒸着材料の突沸などが起きないように、電子ビームの電流値を徐々に増加させ、蒸着材料を加熱します。十分に加熱された蒸着材料は気体原子・分子となり、蒸着材料と基板ホルダー間にあるシャッターを開けることで、基板表面に薄膜が作製されます。この時の製膜速度および積算膜厚は、付属の水晶振動子型膜厚モニターを用いて計測し、所定の膜厚に到達したところでシャッターを閉じ、薄膜作製を終了します。なお、製膜終了後、W フィラメントなどの冷却を行うために、銅製ハース用冷却水を流しながら、真空中で約30分間冷却が必要です。

本装置では、図1の左側に示す通り、電子銃制御装置は1台です。そのため、同時に複数の蒸着材料を製膜(共蒸着)することはできません。しかし、表1に示す通り、最大3個のルツボを設置できますので、真空を維持したまま最大3種類の積層膜を作製することができます。この仕様を利用した製膜事例を次に示します。

製膜事例

材料の電気特性を評価するために、AuやPtなどの電極薄膜を材料上の所定位置に製膜することが求められます。しかし、AuやPtなどの貴金属薄膜は凝集性が高く、例えば酸化物材料などの上へ直接製膜を行うと密着性が乏しく容易に剥離してしまいます。この解決策の一つとして、真空を維持したまま酸化物材料と貴金属薄膜間にCrやTiなどの薄膜を挿入し多層膜構造にすることで、酸化物材料との密着性が改善された貴金属薄膜を作製することができます。ここでは、Ti/Au積層型電極薄膜の作製について、最も簡便なメタルマスクを利用した方法を紹介いたします。

電極薄膜の作製に使用したSUS製台座(A)、SUS製スペーサー(B)、SUS製メタルマスク(C)の写真を図2に示します。最初に、SUS製台座上に、試料と同程度の厚さを有するSUS製スペーサーを置き、試料をSUS製スペーサーの所定位置に設置します。その上に、所定位置に穴の開いたSUS製メタルマスクをセットし、ネジなどを用いてSUS製台座と固定します。製膜チャンバー内をロータリーポンプおよびターボ分子ポンプを用いて真空排気後、接着層として膜厚20nmを有するTi薄膜を製膜し、真空を維持したまま、さらにその上に膜厚100nmを有するAu薄膜を製膜しました。なお、Ti蒸着材料はCルツボを、Au蒸着材料はMoルツボを使用し

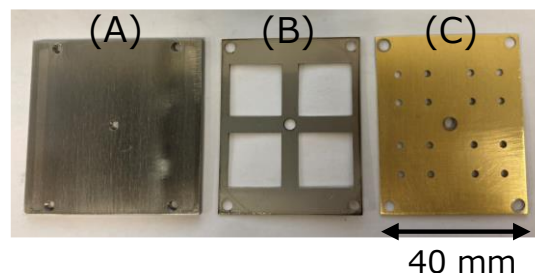


図2 電極薄膜作製時に使用した治具

- (A) SUS 製台座
- (B) SUS 製スペーサー
- (C) SUS 製メタルマスク

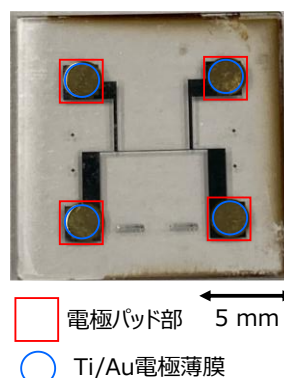


図3 Ti/Au電極薄膜作製後の試料の写真

ました。

図3に、Ti/Au電極薄膜が蒸着された試料の写真を示します。図3より、試料の4個の電極パッド部(図中の□)内に、約2mmφのTi/Au電極薄膜(図中の○)が剥離せずに作製されていることがわかります。また、本試料について、ホール効果測定装置を用いて電流-電圧(I-V)特性を測定した結果、この電極薄膜がオーミック性を示すことも確認できました。

終わりに

ここで紹介しました電子ビーム蒸着装置は、スパッタリング装置と比べて製膜時の基板温度の上昇が小さいため、耐熱性の低い高分子フィルム上への薄膜作製が可能です。この特徴を利用して、食品および包装業界などで使用する高分子フィルム上へのガスバリア膜も作製できます。また、光学用途を目的としたAlやAgなどの高反射膜などの作製も可能です。

本装置は、お客様からのご依頼による製膜およびお客様に装置を使用して頂くことも可能です。本装置にご興味がありましたら、相談だけでも結構です。お気軽にお問い合わせください。