

イオンビームスパッタ装置 アシストビーム製膜と高真空(10^{-2} Pa)スパッタ製膜

キーワード：イオンビームスパッタ、アシストイオンビームスパッタ、反応性スパッタ

イオンビームスパッタリング製膜の概要

イオンビームスパッタリング法は、ターゲットにイオンビームを照射することで、ターゲット材料から原子や分子を叩きだし、薄膜として堆積させる方法です。イオンビームを発生させるイオン源は、プラズマ発生部とグリッド電極から構成されています。プラズマ発生部にアルゴンガスを導入し、フィラメントから放出される熱電子によってアルゴンプラズマを発生させます。グリッド電極によってアルゴンイオンを引き出し、加速させることで高エネルギーのイオンビームが放射されます。

イオンビームスパッタでは、マグネトロンスパッタのようにターゲット近傍で発生したプラズマを使う装置上の制約がなく、プラズマ発生位置と製膜領域とを分けることができます。このため、ビームのエネルギーを他の製膜パラメータと独立して制御することが可能であり、基板へのプラズマダメージを大きく軽減することができます。さらにイオンビームスパッタは低圧力雰囲気中でプラズマを維持できることから、高真空領域での製膜が可能であり、不純物や欠陥の少ない高品質な膜質を得ることが可能です。また、基板側へもイオンやラジカルのアシストビームを照射することで膜構造の制御を可能にしたアシスト型も薄膜産業で広く活用されています。

装置の特徴と装置外観

イオンビームスパッタ装置の外観を図1(左)に、

内部構造の概略図を図1(右)に示します。外観写真のように本装置は主に薄膜製膜室、電源・制御系、真空排気系から構成されています。イオンビーム源、アシストビーム源にはガス、電力及び水冷の各ラインが接続されています。

真空排気系はTMPとRPを各2台装備しており、2系統で排気します。これにより、到達真空度は 1×10^{-4} Paであり、製膜時の真空度は 10^{-2} Pa程度と高真空環境を実現しています。

イオン源にはカウフマン型を使用しています。このイオン源は、ビームの指向性の高さ、エネルギーの精密制御性など、薄膜作製に適した特徴をもち、さらにメンテナンス性にも優れています。アシストビーム源には励起粒子ビーム源を使用しています。同装置は大阪技術研で開発した技術(大阪府立産業技術総合研究所報告 No. 16, 2002)を使用しており、高周波電極をプラズマ領域と分離させることで酸素のような活性ガス雰囲気中でも長時間の安定動作が可能です。また、マルチキャピラリー方式を採用することで、ガスの流れを層流化し、プラズマ中に含まれる中性粒子や原子イオン、分子イオン、ラジカル等を効率的に基板表面へ輸送することができます。

装置仕様

表1に本装置の仕様を示します。ターゲットは最大2個まで設置可能で、4つの基板ホルダーに、そ

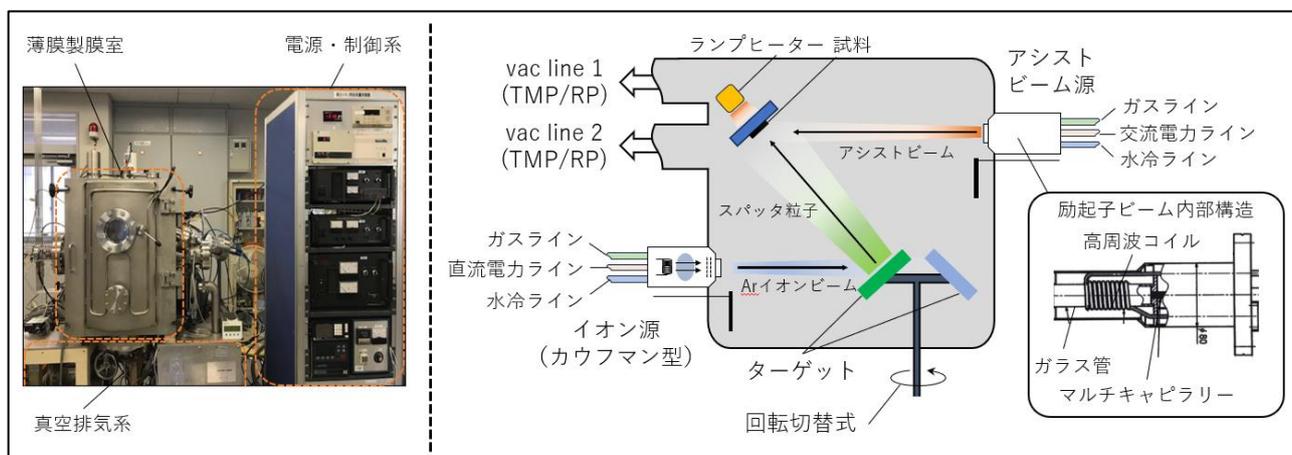


図1 左：装置外観写真 右：装置内部構造概略

表 1 装置の主な仕様

装置仕様	
取付可能ターゲット	φ100 mm × 3~10 mmt ・最大二個設置可 ・持ち込みターゲット対応可 (要事前相談)
基板サイズ	100 mm×100 mm×10 mmt 以下(形状は任意)
基板重量	1.0 kg以下
基板温度	R.T.~500 °C ・ランプヒーター加熱式
基板枚数	最大4枚 枚葉処理
到達真空度	約 1×10 ⁻⁴ Pa
排気系	TMP/RP 2系統
スパッタイオンビーム源	カウフマン型イオン源 引出電力 最大 800 V 1基
アシストイオンビーム源	周波数13.56 MHz 最大 550 W 1基
使用ガス系統	・アルゴン(0.1~200 sccm) ・酸素(0.1~50 sccm) ・窒素(0.1~50 sccm)

それぞれ 100 mm 角以内の任意形状の試料を取り付けることができます。また、基板ホルダー背面に設置したランプヒーターによって、最高 500 °C までの基板加熱が可能です。

本装置にはアルゴン、酸素及び窒素の三系統のガスを接続しており、反応性スパッタによる酸化膜、窒化膜及び酸窒化膜の作製が可能です。

製膜例1 (アシストビーム源による窒化膜作製)

アシストビーム源を利用した窒化アルミニウム薄膜の作製例を示します。スパッタターゲットには純アルミニウム(純度 4N)を設置し、100 sccm のアルゴンガスをイオン源に導入して、加速電圧 800 V のアルゴンイオンビームを照射しました。反応性ガスに

表 2 窒化アルミニウム薄膜作製時の窒素アシストビーム照射効果

窒化アルミニウム製膜	アシストビーム照射無し	アシストビーム照射有り
イオンビーム源 加速電圧	800 V	
アシストビーム源 電力		高周波 400 W
製膜時 ガス流量	アルゴン 100 sccm 窒素 15 sccm	
製膜時圧力	3.6×10 ⁻² Pa	
製膜レート	2.6 nm/min	1.6 nm/min
色調	濃銀白色	無色透明

は 15 sccm の窒素ガスを導入しました。比較のため、窒素ガスを直接導入した場合と、高周波によってプラズマ化した窒素イオンビーム状態で基板へ照射した場合とで製膜を行いました。表 2 に製膜条件と薄膜の色調を示します。アシストビーム照射の有無で、製膜レートおよび色調が著しく変化しました。窒素イオンビーム照射下では、製膜レートが大きく低下し、膜色がアルミニウムの銀白色から無色透明に変化しました。この結果から、アシストビーム中の窒素イオンが効果的に基板上へ供給されることで、窒化膜形成が促進し窒化アルミニウム膜が得られたことがわかります。

製膜例2 (高真空スパッタ銀薄膜の作製)

イオンビームスパッタ装置の特徴である、低プラズマダメージ、高真空度製膜を活かした、銀薄膜の作製例を示します。比較のため、本装置とマグネトロンスパッタ装置(テクニカルシート No. 21-04)で試料を作製し、FE-SEM による表面観察を行いました。

イオンビームスパッタ装置での製膜条件を、イオンビーム加速電圧 800 V、アルゴン流量 100 sccm、製膜時真空度 2×10⁻² Pa、アシストビーム非照射としました。マグネトロンスパッタ装置では、スパッタ電力(交流)20 W、アルゴン流量 50 sccm、製膜時真空度 5×10⁻¹ Pa としました。基板はシリコンを使用し、室温近傍で約 70 nm の膜厚となるよう製膜しました。

結果を図 2 に示します。両者ともに結晶粒界が確認できますが、その粒径はマグネトロンスパッタ法に比べイオンビームスパッタ法がより微細で平滑性が高いことがわかります。このような平滑性は表面での光学散乱を抑制し、高反射率や急峻な屈折率界面を要求される光学産業分野で大きな利点となります。また、高真空度製膜による不純物低減はデバイスの歩留まり向上にも有効です。

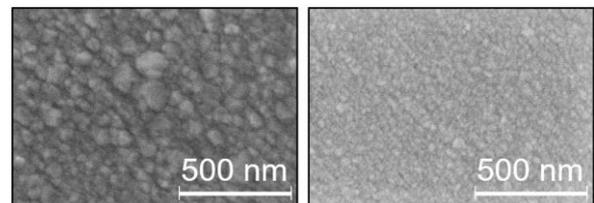


図 2 銀薄膜表面の SEM 像比較
左：マグネトロンスパッタ法 (5×10⁻¹ Pa)
右：イオンビームスパッタ法 (2×10⁻² Pa)

おわりに

本装置は依頼加工と装置使用の両方に対応しております。本稿の技術内容はもとより、真空薄膜作製技術や製膜装置に関する技術的な課題について、幅広く技術相談を承っております。お気軽にお問い合わせください。

発行日 2024年9月1日

作成者 電子・機械システム研究部 電子デバイス研究室 近藤 裕佑、松村 直巳

Phone: 0725-51-2667 E-mail: KondoY@orist.jp