

PVD (Physical Vapor Deposition) による 薄膜形成

1. 分子線エピタキシー-MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法による薄膜形成

分子線エピタキシー (MBE) は、クヌーセンセル*内のるつぼに入れた原料を加熱蒸発させ、基板に膜を堆積する真空蒸着法の1つです。加熱蒸発の方法には抵抗加熱方式や電子ビーム照射などがあります。MBEは真空蒸着法の1つですが、その特徴としては、チャンバー圧力を非常に低い状態 (高真空状態=10-10torr程度) に保って蒸着を行うため、蒸発ガス分子の平均自由行程**が長く、ガス分子はビーム状の分子線となって他の分子に衝突することなく基板表面に到達します。クヌーセンセルの上蓋中央には0.5mm程度のオリフィス***を有しており、セル内とチャンバーの圧力差によって分子線量を制御できます。超高真空 (10⁻¹⁰torr程度) での成膜を行うため結晶成長速度が遅く、膜厚の精密な制御が可能です。また残留ガスの影響を極めて少なく抑えることができ、チャンバー内や基板表面を清浄に保つことができることから、高純度の膜の作製を可能にします。さらに RHEED (反射高速電子回折) により結晶成長を in-situ でモニターしながら、フィードバック機能によって分子線の量を調節することが可能であり、その精密な制御性により主に半導体デバイス用結晶成長に用いられます。

MBEに使用する原料 (金属、金属化合物) は高純度のものが求められます。弊社では様々な金属、金属化合物材料を高純度で提供しております。→ [高純度無機化合物製品リスト](#)

特注合成、カスタム容器への充填サービス等も一部承っておりますのでテクニカルサポート (TEL: 03-6756-8245 Email: jpts@merckgroup.com) までご相談ください。

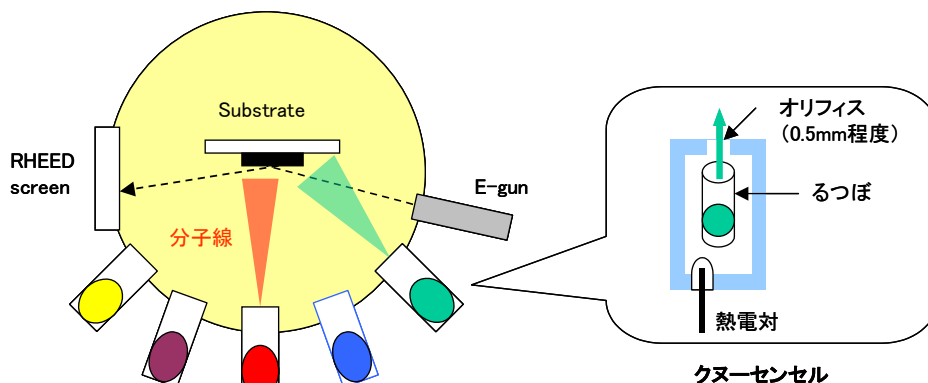


図1： 分子線エピタキシー (MBE) の概念図

語彙解説：

*クヌーセンセル： 上蓋中央に直径 0.5mm 程度の小さい穴（オリフィス**）を有するセル

**平均自由工程： 飛び回っている分子が衝突してから次の衝突までに飛ぶ距離。

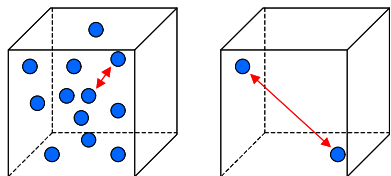


図2： 系内のガス圧が高い場合（左）とガス圧が低い場合の分子間衝突距離の模式図

平均自由工程は、 $\lambda = 3.11 \times 10^{-24} T / PD^2$ で表されます。

P：圧力 D：分子の直径 T：温度

圧力が上がるほど λ は短くなります。

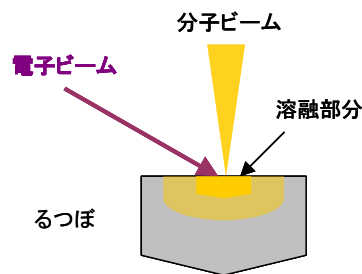
***オリフィス： オリフィス板の上流と下流との間に生ずる圧力差によって流量が決定される。

原料加熱方式

■抵抗加熱： 最も基本的なヒーター加熱方式である。（タンタルなどの高温に耐えるヒーター線によって原料を入れたるつぼを加熱・蒸発させるものである。） 分子線量の調節は、るつぼの温度を制御することで行われる。るつぼは高温に耐えて原料を汚染しにくいものが選ばれ、原料や用途によって焼結窒化硼素(PBN)やアルミナ、カーボン、石英、各種金属の単体や合金、などが用いられる。

■電子衝撃加熱（右図）

よく絞った電子ビームを原料表面に当て、金属原料に電流が流れるジュール熱によって加熱する。セルは容器外側から冷却されているので、これにより電子ビームの当たる位置だけが融解する。融解部分の外側は同一の物質（固体）であるため、不純物の混入が少ないという利点がある。



2. スパッタリング法による薄膜形成

スパッタリング法は、高エネルギーの不活性ガスイオンを金属や金属化合物材料（ターゲット材）に照射し、カスケード衝突****によって放出されたターゲット構成原子が基板上に堆積する現象を利用した物理的薄膜成長法です。ターゲット材としては成長させたい物質そのもの（金属、合金、酸化物、窒化物）を使用する場合がありますが、系内に不活性ガスと共に酸素や窒素を入れることで反応性スパッタリング（ITO, TiN）を行うこともできます。スパッタリングで放出された粒子の平均エネルギーは真空蒸着における熱蒸発原子の 100 倍以上で、一般に高い付着力の膜を形成するのが特徴です。また真空蒸着では使用不可能だった高融点物質も材料に使うことが可能なため、半導体分野で不可欠な方法となっています。

スパッタリング法はプラズマの発生方法によりいくつかに分類されます。基板－ターゲット間で高周波プラズマ（RF プラズマ）を発生させるベーシックな二極スパッタリング法に加え、ターゲット近くに磁界を作りプラズマ発生をターゲット付近に集中させるスパッタリング法（マグネトロンスパッタ法）が広く利用されています。マグネトロンスパッタ法は、アルゴンガスの導入量を少量に保ったままイオン化効率を上げることができるため、高真空で高い成膜速度を実現できます。

そのほかには、系内でプラズマを発生させる代わりに、独立したイオン源からイオンビームを発生させるイオンビームスパッタ法なども注目されています。この方法は成膜速度が低いものの、高真空下で成膜できることから不純物の少ない膜の形成を可能にします。弊社では様々なスパッタリングターゲット材料を取り扱っております。

製品リストはこちらからご覧ください。→ [スパッタリングターゲット材](#)

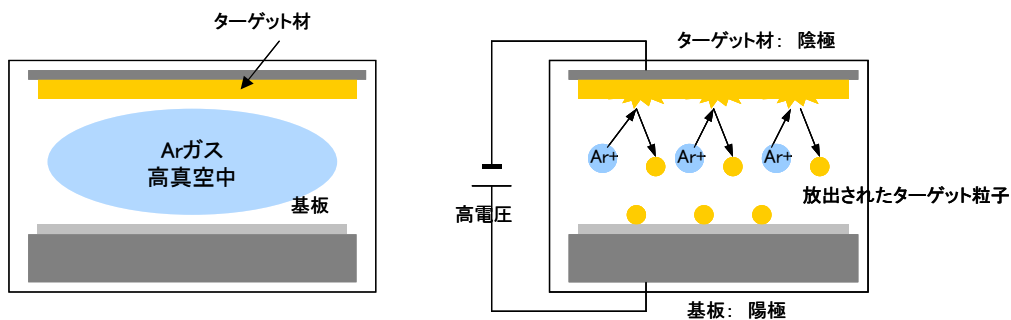


図2： 二極スパッタリング方式概念図

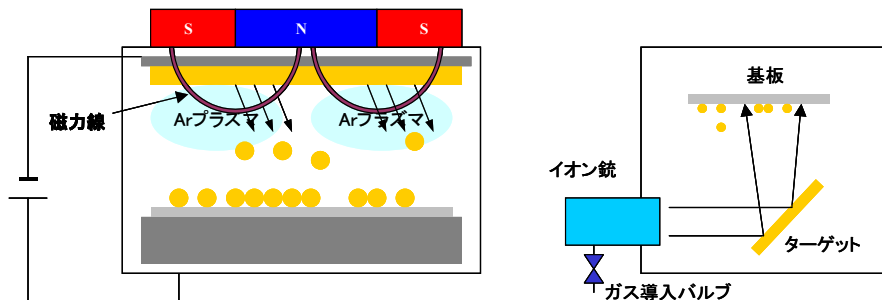
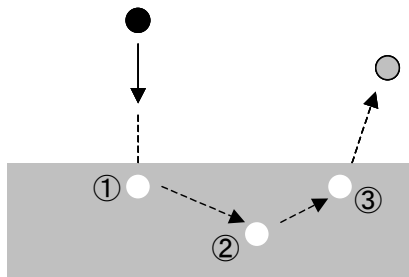


図3： マグネトロンスパッタリング（左）とイオンビームスパッタリング（右）の概念図

****カスケード衝突： 入射イオンがターゲットに衝突後、物質内部で球撞き衝突の様に原子同士の衝突が連続的に生じる現象。この衝突カスケードが最終的にターゲット表面まで発達し、表面方向にターゲットがはじき出される場合、ターゲット原子は固体表面から放出される。



シグマ アルドリッチ ジャパン リサーチ事業部 〒153-8927 東京都目黒区下目黒 1-8-1 アルコタワー 5F

シグマアルドリッチ ジャパン合同会社はメルクのグループ会社です。

E-mail: jpts@merckgroup.com Tel: 03-6756-8245

本紙記載の製品は試験・研究用です。ヒト、動物への治療、もしくは診断目的として使用しないようご注意ください。なお、品目、製品情報、価格等は予告なく変更される場合がございます。予めご了承ください。記載内容は2019年1月時点の情報です。©2020 Merck KGaA, Darmstadt, Germany. All rights reserved. Merck, the vibrant M, and Sigma-Aldrich are trademarks of Merck KGaA, Darmstadt, Germany or its affiliates. All other trademarks are the property of their respective owners. Detailed information on trademarks is available via publicly accessible resources.

Lit. No. TSM027A-2307-K