

新型エアロゾルセラミックス 常温成膜装置の開発

有限会社 湊田ナノ技研

取締役社長 湊田 英嗣

(有)湊田ナノ技研 取締役社長 湊田 英嗣

(有)湊田ナノ技研 技術顧問 小澤 英一

(有)湊田ナノ技研 技術部 時崎 栄治

はじめに

集積回路の集積度が高まるに従い発熱量の増大が生じ、その放熱対策がデバイス設計上重要なものとなっていた。設計者は、熱伝導の悪さを膜厚の減少で補うことを考えた。それにはバルク体よりも高い絶縁破壊強度を持つセラミックス成膜方法が必要であり切望された。高い絶縁抵抗には、微細なナノ粒子が緻密に結合した構造が必要であり、多くの結合界面が増え、バルク体よりも絶縁抵抗が高くなると理論的に言われていた。

開発のねらい

本開発は、薄くても絶縁性を担保するため、粒子のサイズを微細なナノレベルとし、粒子同士がコンタクトする「界面」を増やし、かつ微細ナノ粒子が隙間なく緻密に結合した膜構造を作り上げ、薄くても絶縁性の高い成膜技術(静電誘導プラズマセラミックス常温成膜装置 EPD)の開発に取り組んだものである。

装置の概要

(1) EPD 成膜装置の概要

図1は、ガス搬送された微粒子のノズル噴射による膜形成技術である EPD (Electrostatic induced Plasma Deposition)装置の概要である。

原料粉は、Aerosol container (密閉容器)に入れられ、導入されたガスによって巻き上げられ、エアロゾル化されて搬送管を経て、ノズルより対向する基板へ噴射される。

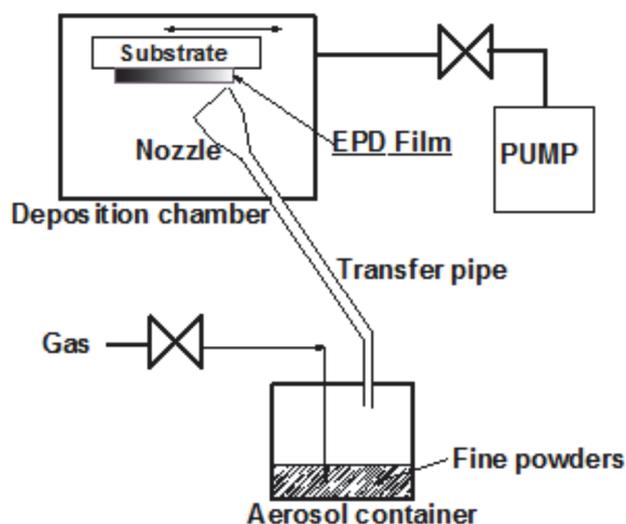


図1 EPD装置概要

(2) プラズマ生成と成膜メカニズム

EPD 装置を使用した成膜実験の際に、チャンバー内で強い放電が見られていた。

図2は、原料粉のノズルからの噴射時の堆積進行状況の写真である。下部明視野写真では、成膜室に取り付けた窓からライトを照射したときの写真であり、ノズル先端から原料粉が吹き出ている様子が白いライン状に見える。一方上部暗視野写真では、ライト照明を除去し、直接成膜基板を撮影したものである。暗視野写真では、噴射堆積される近傍では、ノズルに向けて円弧状の青白い発光が見られ、さらに噴射堆積地点から20mm以上離れた基板のエッジ部分から強い赤紫色の発光が見られる。その色からこの発光は、搬送ガスとして使用している窒素プラズマによるものと考えられた。

では、このプラズマはどのようにして発生す

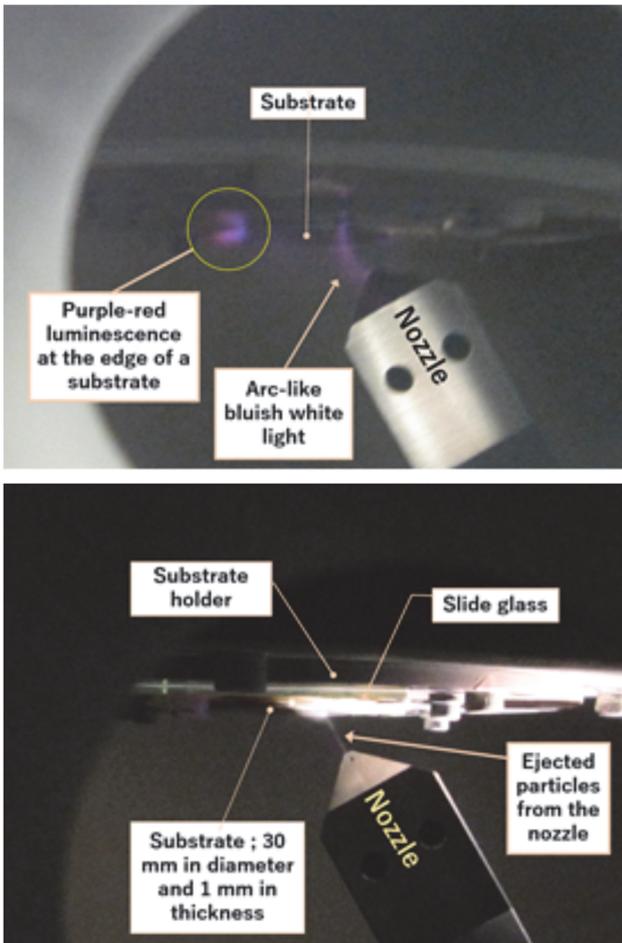


図2 EPD成膜状況

るか。パッシェンの法則によれば、放電は放電電圧と放電元と放電先との間の距離によって決まる。放電現象が見られる以上数十万ボルトはかかっていると考えられ、そうすると数 μm で十分に放電する。次に粒子の荷電が正なのか負なのか問題となる。エアロゾル化容器内では、粉同士の場合と粉と容器内壁との衝突によって静電気が発生するが、粉同士の衝突では、片方が正に荷電すると他方には電子が移る。電子をもらった粒子は、大量に衝突してくるガス分子に電子を取られ、最終的にもとの電氣的に中性に戻ると考えられる。また室内壁、搬送管およびノズル内壁と衝突した粉は電子を内壁に与えて正に荷電する。最終的に基板あるいは後述するターゲット板に吹き付けられるときには、正に荷電した粒子と中性粒子の集合体になっているものと考えられる。これら正に帯電した粒子が、基板に近づくと基板側から電子が飛び出して放電すると考えられた。すなわち放電条件を満たした途端に、基板側から電子が正に荷電した粒子に向かうが、電子は粒子に衝突するより先に搬送ガス分子と衝突し、搬送ガスを電離させ、プラズマ発生を引き起こす(図3)。生成した窒素プラズマの陽イオンは激しく原料粉表面を叩き、原料粉分子をたたき出し、そのたたき出された原料の分子、活性種が成膜を推進すると考え

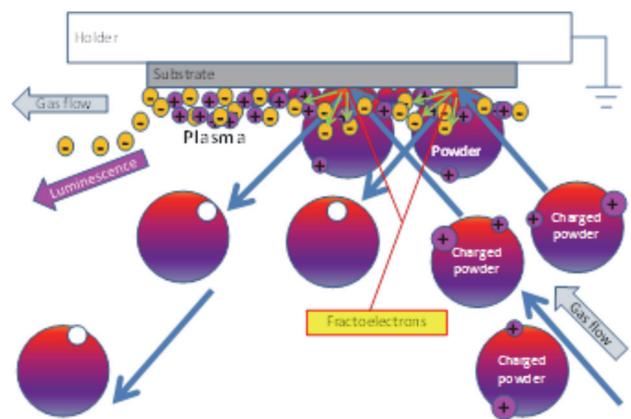


図3 プラズマ発生

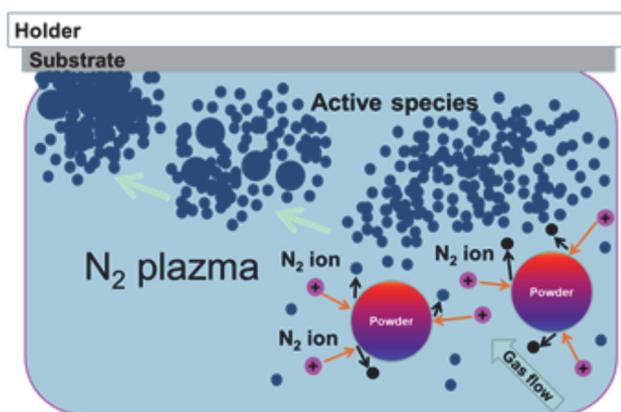


図4 活性種の生成

られる(図4)。ここで通常のスパッタ法の真空度とは異なり高いので、平均自由行程は短い。EPD法でたたき出された原料分子、活性種は窒素ガスや原料ガスに衝突を繰り返しながら基板に到達していると考えられる。つまりEPD法ではガス中を飛行中に微細なナノ粒子が形成され、それが基板に到達することで堆積速度を稼いでいるのではないかと考えている。

技術上の特徴

従来のEPD装置を改良し、新たに静電誘導プラズマ成膜装置(ターゲット方式EPD)を開発した。新規EPDはスパッタ法(10nm/minの成膜速度)に比べて、成膜速度が一桁以上速く、またプラズマを発生させる高圧電源も不要である。消費電力量も少なく、また成膜圧力が200Pa程度で、排気系に高価なターボ分子ポンプなどが不要であるなど、装置製造コストが安価である。

(1) ターゲット方式EPDの成膜方法

図5に示したターゲット式EPDに大きな100mm幅ノズルをセットし、アルミナ膜を形成した。

ノズルから噴射された微粒子を一度ターゲット板(角度調節される)に衝突させ、安定してプラズマを誘起させ、その場で形成される活性種を使用して、基板上に緻密な膜形成を行う方法であ

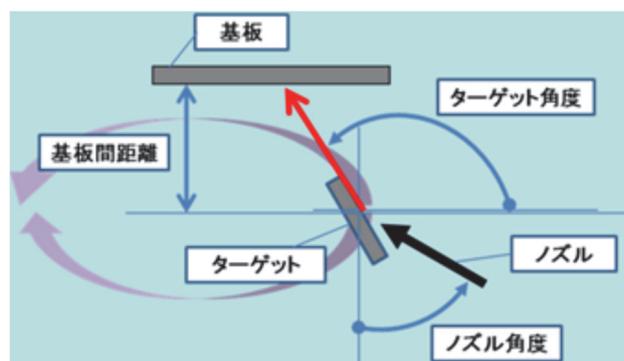


図5 ターゲット方式EPD

る。成膜は、ターゲット面に沿った矢印方向に活性種が飛来して基板上に成膜される。ノズルからの噴射粒子の正反射による成膜ではない。

(2) アルミナの成膜速度

100mm幅ノズルを使用して、基材を100mm、50回往復させると100mm角のアルミナ膜が形成できる。厚みは13μmであった。基材駆動速度が5mm/sであり、成膜時間は約17分である。成膜速度を計算すると、750nm/minとなり、スパッタ法に比べて50倍以上の速さとなる。

(3) 絶縁抵抗

ノズル60度、ターゲット135度、ギャップ50mmの成膜条件で作製した。Heガスでは、成膜速度が速く、18分間の成膜時間で30μm厚みの膜が形成できた。そのI-V特性を図6に示す。1kV印加時においても、リーク電流が 10^{-10} A程度で、良好な絶縁抵抗を示した。比抵抗値が $10^{14}\Omega\text{cm}$ となる。また、この膜は2kV印加でも絶縁破壊しないことを確認している。

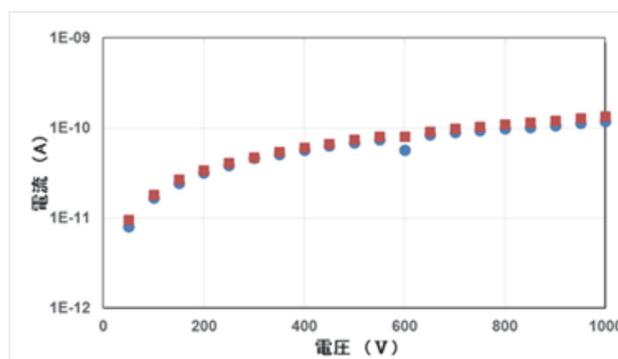


図6 アルミナ膜I-V特性

(4) TEM 観察

図7左図にターゲット EPD によるアルミナ膜断面の TEM 像を示す。5nm から 15nm のアルミナナノ粒子結晶が隙間なく緻密に結合している。比較のため、従来のノズル EPD の膜断面の TEM 像を図7右図に示す。5nm から 15nm のサイズの他に、大きな 300nm の粒子の混在およびその周りに隙間が確認できる。図8左図にターゲット方式 EPD の場合のアルミナ膜の TEM 拡大像を示す。結晶方位の異なる微細ナノ粒子の周りをアモルファス状の物質が隙間なく埋めている様子がわかる。このナノ粒子間に隙間がない構造がリーク電流値の低さを検証していると考えられる。

また、アルミナ膜を Si ウエハー基板に付けた界面では、原子状物質を含むアルミナ活性種が堆積しているものと考えられる。(図8右図)

実用上の効果

EPD は、セラミックスを成膜する他の方法であるスパッタ法に比べ電力消費において、削減される。スパッタ法は成膜時に高压電源が必要

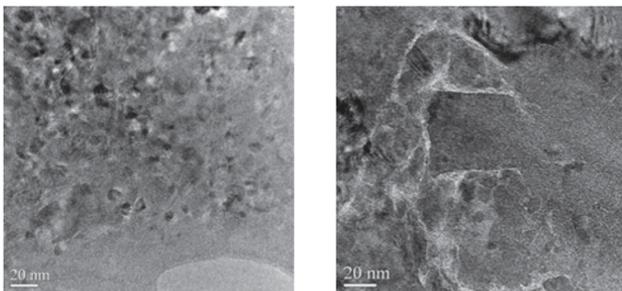


図7 アルミナ膜断面TEM像(左;ターゲット方式、右;従来法)

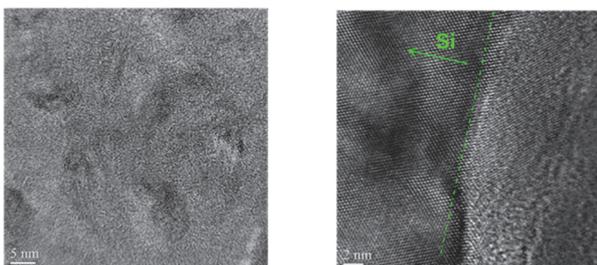


図8 TEM拡大像(左;膜中央、右;界面)

であるが、EPD は自己静電荷電で高压電源が不要となり省電力化が可能である。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

①日本国特許第 5669328 号

名称：成膜方法

概要：荷電粒子による成膜(米韓に特許有)

②日本国特許第 6002888 号

名称：成膜方法

概要：コーティング粒子成膜(米韓に特許有)

③日本国特許出願 2014-258652

名称：成膜方法、成膜装置および構造体

概要：ターゲット方式 EPD(米韓中欧に特許有)

むすび

ターゲット方式の新規エアロゾルセラミックス常温成膜装置(EDP、図9)で作製したアルミナ膜は、電気絶縁がバルク体を超える特性を持つことがわかり、電気絶縁および遮蔽バリアーが必要な部位への成膜応用を進めている。



図9 EPD装置外観(ターゲット方式)