

微粒子の壁面沈着及びその制御

工学部 吉田英人

近年クリーンルームは工学のみならず各方面で広く利用されている。たとえば高品質の集積回路を作成する場合、ウエハ上への微小粒子の沈着を防止するため、スーパークリーンルームが普及している。また病院等では、クリーンルーム中で手術を行うことにより、雑菌の混入を防止し、手術の成功率を高めるのに必要不可欠の存在となっている。筆者の研究室では、粉体やエアロゾルの挙動、壁への沈着特性、静電気特性、分級及び微粒子の作成等の研究を行っております。ここでは壁面への微粒子の沈着に関する研究の一部を簡単に紹介させていただきます。

図1は各種のクリーンルームの基準を明記したものです。以前は $0.5\mu\text{m}$ の粒子が 1ft^3 中に何個あるかでクリーンルームのクラス进行分类していましたが、近年のLSI製品の高付加価値化に供ない $0.1\mu\text{m}$ 程度の微粒子でも 1ft^3 中に10ヶ以下又は1ヶ以下にしなければならないという要求がでてきています。

クリーンルームの種類及び構造を図2に示します。室内全体の空気を循環するタイプと、装置の特定の部分のみを重点に清浄空気で置換するタイプの両者があります。しかしながら実際には運転費がかなり高くつくのが欠点であり、主として大企業や総合病院で設置されているのが現状です。

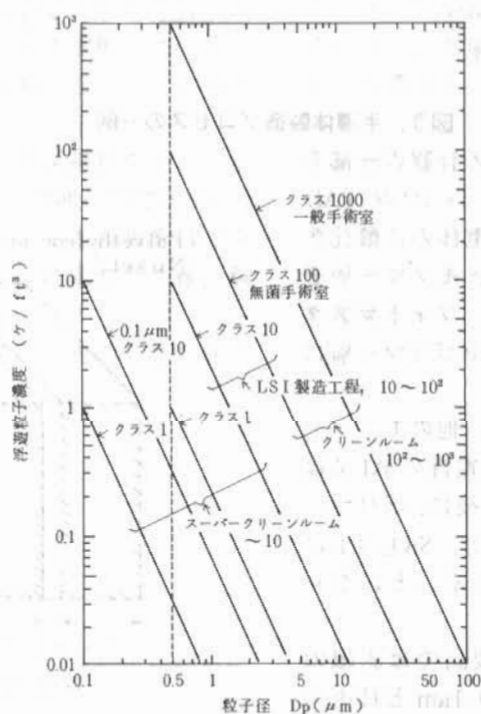


図1. 各種のクリーンルームの基準

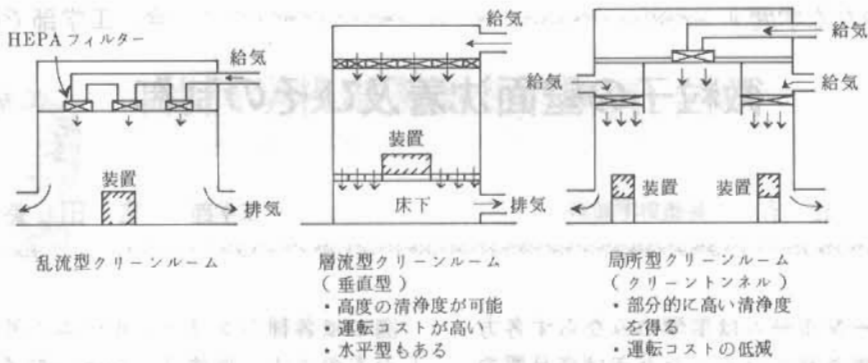


図2. クリーンルームの種類

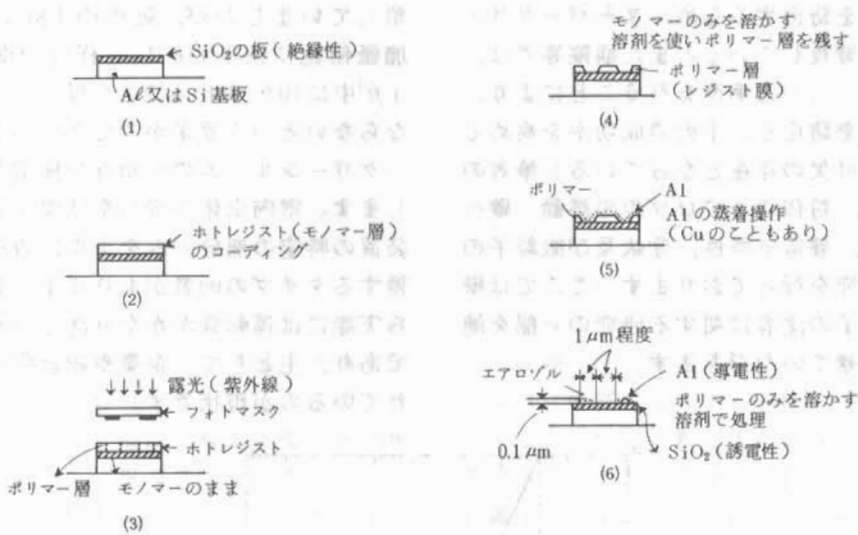


図3. 半導体製造プロセスの一例

図3は半導体製造プロセスの行程の一部を簡単に示したものです。アルミニウム (Al) 又はケイ素 (Si) 基板上に誘電体の二酸化ケイ素 (SiO_2) 膜を作成した後、モノマー層をコーティングします。その後、フォトマスクを用いて、モノマー層の一部をポリマー層に変えます。

次にポリマー層のみを残し、他のモノマーを溶剤を用いて除いた後、導電性の Al 又は銅 (Cu) を付着させます。その後、ポリマーのみを溶かす溶剤で処理すると、 SiO_2 の上に Al 又は Cu の素線が形成されることになります。

最近の LSI で、高品質の製品では素線の巾が $1\mu\text{m}$ 以下即ち $0.5\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ と技術の進歩と共に細くなっています。

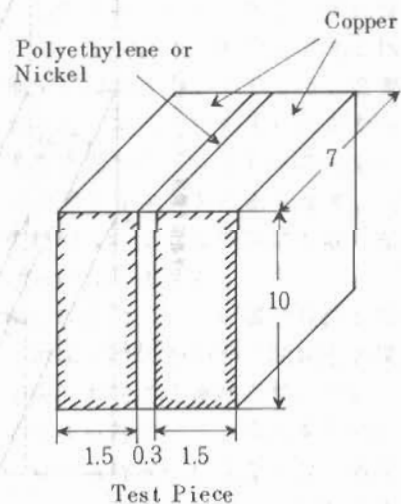


図4. 実験に使用したテストピース

もし導電性の素線の中が $1\mu\text{m}$ とすると、図中で示したエアロゾル微粒子で粒子径 $0.1\mu\text{m}$ 程度以上のものが、素線上に沈着しますと、断線の原因になり不良品ができてしまうこととなります。この点については、以前に工学部の廣瀬全孝教授が学内通信（18期3号，p. 17，1986）で御紹介されております。

筆者が研究対象として関心を持っている点は、導体と誘電体の界面近傍における微粒子の沈着量分布、推算、沈着メカニズムの解明及び沈着量の制御等に関することでもあります。

従来からの報告はいずれも粒子沈着部の面積が比較的広く、微細パターンの異種物質から構成された表面へのエアロゾル粒子沈着のように、物質差に起因する沈着については詳しくわかっていませんでした。さらに近年の急速に進歩している電算機及び数値解析手法を利用すると、どの程度物質の界面近傍の現象が説明できるかという点も筆者の興味ある部分であります。

以上の様な背景により、異種物質として金属と誘電体又は異種金属から構成された微細パターン表面上に、エアロゾル粒子がどの場所にどの程度沈着するかを実験的に調べると共に、電算機による数値解析を行っております。

異種物質から構成された試験片を図4に示します。厚さ 1.5mm の銅板の間に厚さ 0.3mm のポリエチレンシート又はニッケル板をはさみ、粒子沈着面が平滑になる様に調整した後、銅板部を接地して実験します。

試験粒子としては、粒度分布の影響を除く

ため単分散ラテックスエアロゾル ($D_p = 0.17 \sim 0.62\mu\text{m}$) を使用しています。また微粒子1個の帯電量を $q = \pm e$ (e は電気素量)としたもの、無帯電のもの及び帯電制御しないもの等と変化させ実験しています。

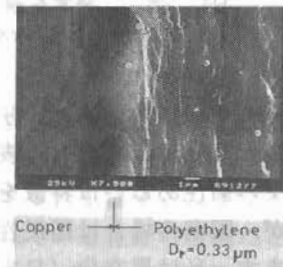


図5. 導体～誘電体界面近傍の微粒子沈着状態

異種物質界面近傍での微粒子の沈着状態の写真を図5に示します。粒径は $0.33\mu\text{m}$ で、粒子の帯電量を制御しなかった場合の壁面沈着状態を走査型電顕 (JSM-5200) で写したものです。粒子沈着量は誘電体側で比較的多く、銅板側で少なくなっています。これより粒子沈着において、壁面材質の相違が影響することがわかります。この原因として銅とポリエチレンが接触することにより、接触電位差を生じ、空間中に形成される電界が帯電粒子に影響するためであることが次第に明らかになってきました。

詳細な議論及び数値解析と実験値との比較は省略しますが、界面で生ずる接触電位差が最近注目されている微粒子の表面処理、ハンドリングにもかなり影響している様に考えられます。