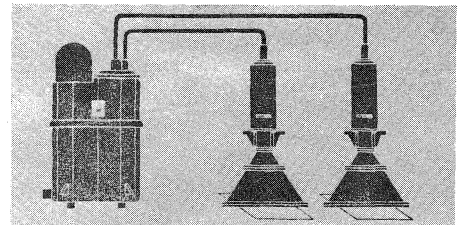


1. はしがき

工業用荷電粒子加速装置として電子線照射装置及びイオン加速装置について、その利用の現状と技術の動向について述べる。工業用電子線照射装置は主に放射線化学工業分野で使用されているが、1960年代なかばから使用開始されて以来現在までの累計設置容量（加速電圧×電子線電流）は1000kWに達しようとしている。一方、イオン加速装置が工業用に使用される最も顕著な例は半導体製造工業の分野である。高級、高集積度ICは主にイオン加速装置（イオン注入装置と呼ばれる）を用いて製造されている。現在まで輸入装置を含め設置台数は累計60台に達している。

2. 工業用電子線照射装置

2-1 装置の構成 加速電圧の相違によりケーブル接続型と一体型に区別される。電子線加速エネルギーが1000keV以下の装置は直流電源部分と電子線加速部分が第1図に示す様に別置きにして、その間を直流高電圧ケーブルで接続されているものが多い。300～800kVで最大1000mAの装置が現在30台以上稼動している。



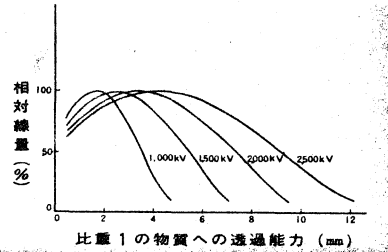
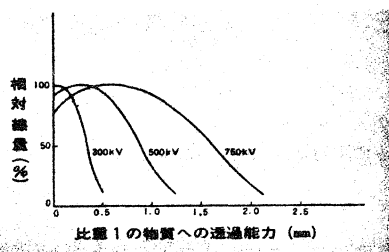
第1図

1000 keV以上の装置では、直流ケーブル、特に末端部分がコンパクトに製作出来ないので、直流電源部分と加速部分は同一容器に収納された一体型のものが使用されている。1000 keV級装置で1000 mA出力から3000 keV級装置で20 mA出力のものまで商品化され、現在、10台以上稼動している。電子線加速部はイオンポンプで 10^{-6}

$\sim 10^{-7}$ Torrの真空中に保持され、加速電子はフィラメントの発熱により発生し、加速管で加速される。加速管はガラス等の絶縁環と金属電極を交互に積み重ねた構造をしている。加速管部で加速された電子線は走査管で走査された状態で、30～50 μ mのチタン箔の照射窓を通して大気中に取り出される。電子線が窓を通過する時、電子線のエネルギーが部分的に失われ、照射窓の発熱が生ずる。この発熱はそのままでは窓材料を破損させるに十分な量であり、従って強制空冷の方法で熱を除去している。電子線走査幅は約50cmから2m近いものまで各種標準化されており、電子線の走査均一性は $\pm 5\%$ 以下には調整されている。

2-2 装置の利用 装置を使用する上で必要とされる要素は、電子線の物質中での透過能力及び線量である。電子線の物質中でのエネルギー損失を示す実験値は第2図に示す様な曲線を描く。電子線量(DMRAD)は電子線走査幅(Wcm)、照射物の移動速度(Vcm/sec)、照射物の厚み(dcm)及び比重(ρ)、電子線の加速エネルギー(EMeV)、平均電流I(mA)から次式で求められる。

$$D = \frac{\epsilon EI}{\rho V W d} \times 10^2 \quad \epsilon: \text{効率} \quad D \text{は、個々の所要化学反応により異なるが、} 1 \sim 20 \text{である。}$$



第2図

現在工業の分野で使用され製品化又は研究されているものは、(i)電線の架橋。(ii)耐熱性チューブテープの製造、(iii)熱収縮性チューブの製造。(iv)発泡ポリエチレンの製造。(v)塗装塗膜の硬化。(vi)ウッドプラスチックの製造。(vii)繊維の改質。(viii)医療品の殺菌、消毒。(ix)排煙の脱硫、脱硝。(x)汚水の浄化殺菌等がある。

3. 工業用イオン加速装置（イオン注入装置）

半導体デバイス製造に於て、半導体への不純物イオンの注入過程で、イオン量及び注入深さを正確に制御出来る点で従来の熱拡散法に一部とつてかわり、イオン注入法が装用されている。装置の定格としては、イオンエネルギー50~200keV、イオンビーム、ボロン、リン、ヒ素等で0.1~100 μ Aが多い。以下に装置の構成について述べる。

3-1 イオン源 イオン源に要求される特性は、(i)操作が簡単。(ii)特性維持、安定性が良い。(iii)保守が簡単、交換部品のコストが安い。(iv)安全 等があり、種々のタイプのイオン源が使用されているが、代表的なものはコールドカソードPIG型である。

3-2 イオン加速系 イオン源で生成されたイオンは引出し電界により引出され、集束レンズにより集束される。イオン源から出たイオンは多種類のイオンを含むため、電磁石によりイオンの選別が行われる。イオンの主加速は加速管を用いて行う。加速イオンが真空器中の残留ガス又は周囲の真空容器材料に衝突すると2次電子が生じX線を発生させる。この発生するX線を減らすための加速管末端部には2次電子の逆加速を抑制する機構が取付けられている。

3-3 イオン注入 ターゲットチェンバー（ウェハーハンドリング装置と呼ぶ）にイオンビームを50~100mm角に均一入射させる方法として、ビームを2次元的に走査させる方法と、基材を往復運動させる方法又はこの両者混合型の方法がある。真空系の真空度が悪いと、イオンビームは残留ガスと衝突し中性化され中性粒子を作る。中性粒子の存在は、イオン注入均一性を悪くし、イオン注入量の制御を不可能にするので、装置には中性粒子除去系が設けられている。除去法として静電的にイオンビームを偏向させ、中性粒子は直進させターゲットに入射させない方法が採られている。ターゲットチェンバーは、一度に20~30枚の基材が装着され、プリセットしたイオン量の注入、基材の自動交換が出来る様になっている。

4. 技術の動向

工業用電子線照射装置では、大容量化を要請される気運が強い。装置の大容量化は加速エネルギーの増大、電子線電流の増強であり、技術的には、高電圧電源の開発、大電流電子源、及び加速系の開発、大電流取出し用照射窓の開発が必要とされる。イオン注入装置では、大電流イオン源の開発及びウェハーハンドリング装置の改良が重要である。工業用装置としてこれらの技術開発は、いずれも、使用者と製作者との間の緊密な相互協力が必要と考える。