

新カウフマン型イオン源の応用

New Kaufman Ion Sources for Ion Beam Deposition and Ion Etching Applications

阿部章男*・増沢隆久*

Akio ABE and Takahisa MASUZAWA

最近、イオンビームデポジションという薄膜作製技術用に高イオン電流密度のイオン源が開発された。このイオン源は従来のカウフマン型イオン源のスクリーングリッドと加速グリッドの部分を設計変更して、イオンビームをフォーカスすることができるように改良したものである。この新しいイオン源をイオンエッチングという特殊加工に応用した場合の可能性について解説する。

1. はじめに

イオンエッチングは電子衝撃で生じたイオンを高電圧で加速して真空中におかれた試料をターゲットとして衝撃し、その際発生する表面原子のスパッタリング現象を加工に利用したものである。

イオンエッチングには次の二種類の加工方式がある。その一つは静電レンズ系で数十 μm 程度に収束したイオンビームを偏向し、ターゲット上を走査してパターンを形成する方式であり、特にマスクを必要としない。もう一つの方式はマスクを上に乗せた試料にイオンビームを均一に広げて照射し、マスクでおおわれていない部分を

エッチングすることで、マスクと同じパターンを試料上に作るものである。後者は加工能率と微細パターンの寸法精度の点でより優れているので、一般に電子部品の固体素子の加工などに使用されている。そしてこの方式で最も広範に使用されているイオン源としてカウフマン型イオン源がある。

2. カウフマン型イオン源

基本的なカウフマン型イオン源の概略図を図1に示す。高温加熱されたフィラメント（陰極）から出て陽極へ向かう熱電子は導入された不活性ガス（通常アルゴンガスが用いられる）を衝撃して電離し、プラズマを発生させ

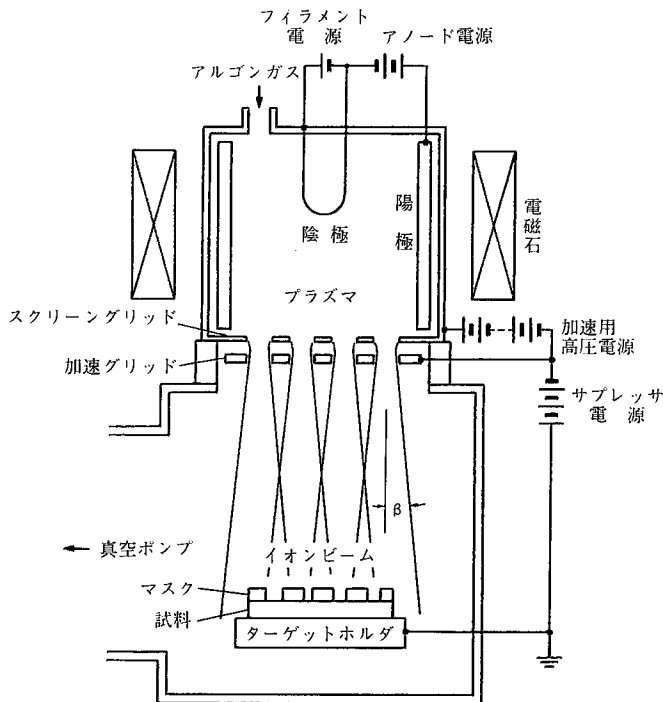


図1 カウフマン型イオン源

* 東京大学生産技術研究所 第2部

る。その際に電磁石の磁界が電離効率を高める働きをする。スクリーングリッドと加速グリッドには、それぞれ中央部の同じ位置に直径約 2 mm の穴が最密六方配列で数百個あけてある。スクリーングリッドの穴付近にきたアルゴンイオンは、このグリッドと加速グリッドとの間の高電界によって引き出され加速されるので、少し発散角 β をもつが、ほぼコリメートされたイオンビームになる。多数の穴から同時に互いに平行なイオンビームが出て来るので、全体的に見れば太い均一なイオンビームと同等になる。

このイオン源の特長を挙げると次のようになる。

(1) 広い面積の試料表面を均一にイオンエッチングすることができる。最近では多数の永久磁石の配置を工夫した口径 30 cm のイオン源も実用化されている。²⁾

(2) イオンエッチングを 10^{-2} Pa (10^{-4} Torr) という比較的高真空で行うことができるので、試料やマスクからスパッタリングで飛び出した原子が中性アルゴン原子との衝突のため後方散乱して再び試料表面に付着するという可能性がきわめて少ない。

(3) イオン電流密度を放電電圧 (アノード電圧) や加速電圧とは独立にフィラメントの熱電子放出の量 (言い換えるとフィラメント温度) で制御できる。

(4) 熱陰極 (フィラメント) を使用することによって、イオン源の放電電圧 (アノード電圧) を 50 V 程度と低くすることができるので、イオンの運動エネルギーの広がりを 10 eV 以下にまで押えることができる。

他方、カウフマン型イオン源の欠点として次のようなものが挙げられる。

- (1) イオンエッチング速度をあまり大きくできない。
- (2) 特定の材料だけを選択的にエッチングすることができない。

ところが、最近 H. R. Kaufman らはその欠点のイオンエッチング速度に対してイオン源の改良を行い、新しいイオン源の開発に成功した。³⁾ ここでは、この新しいイオン源をカウフマン型収束イオン源と呼ぶことにする。

3. カウフマン型収束イオン源

このイオン源はイオンビームデポジションという薄膜作製技術の用途に開発されたものである。イオンビームデポジションは薄膜化する物質をターゲットとしてイオンビームで衝撃し、スパッタリングで飛び出した原子を近くに設置した基板に付着させて薄膜を成長させる方法である。従来のカウフマン型イオン源を用いてイオンビームデポジションを行う場合には、イオン源の口径より大きな寸法のターゲット (薄膜化する物質) を用意しなければならないという面倒な制約があった。これはカウフマン型イオン源のイオンビームが完全にはコリメートされずに、図 1 のようにある発散角 β をもっているので、イオン源から離れるとともにイオンビームの径が広がるということが原因であった。そこで付着速度を低下させずに、ターゲット寸法を小さくできるイオン源としてカウフマン型収束イオン源が開発されたのである。

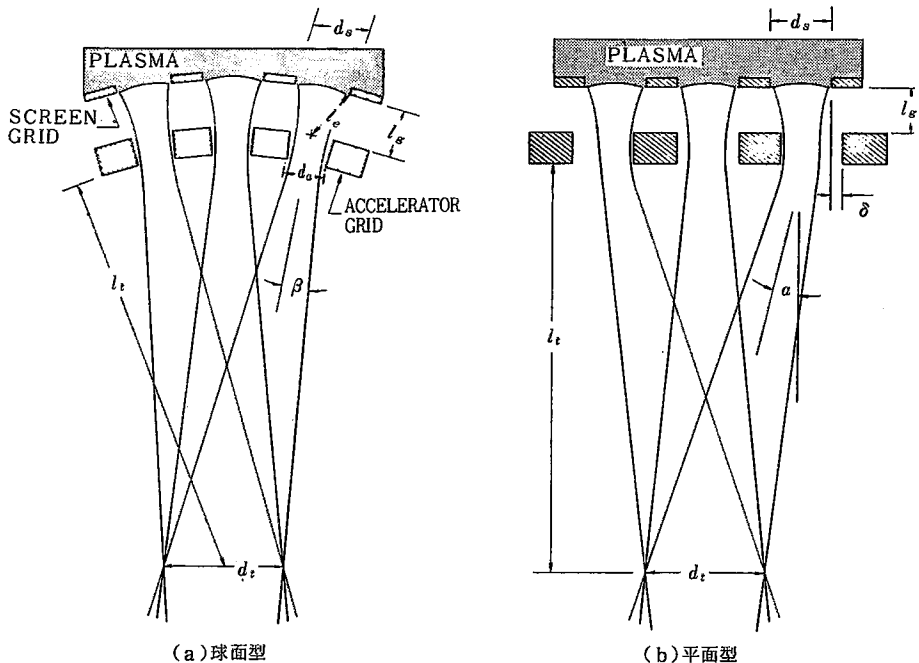


図2 カウフマン型収束イオン源のグリッド

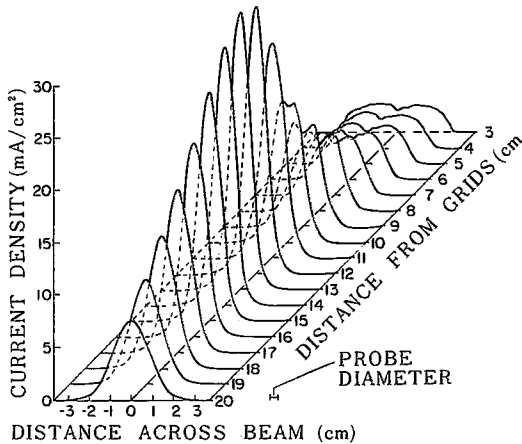


図3 球面型グリッドのイオンビームフォーカス

この新しいイオン源は、従来のカウマン型イオン源のスクリーングリッドと加速グリッドの形状を改良して、イオンビーム束を狭い領域にフォーカスすることができるようにしたものである。ただし、フォーカスといっても従来の概念と違って、個々のイオンビームはある発散角 β をもったままにして、それぞれのイオンビームの中心が焦点に集まるようになっている。もちろん、この発散角を約 $5^\circ \sim 7^\circ$ の範囲となるように、グリッドの穴径やグリッド間隔の値と放電電流（アノード電流）の条件を実験から求めて採用している。幸いなことに、その条件は個々の穴を通るイオンビームのビーム電流を最大にする条件にほぼ等しくなっている。

カウマン型収束イオン源用に考案されたグリッドの形状は図2(a)の球面型と図2(b)の平面型の二種類である。平面型ではイオンビームを偏向するためにスクリーングリッドと加速グリッドの穴の位置を故意に中央部から少しずつずらし、外周部で最大変位 δ のずれになっている。平面型の焦点距離 l_f はこの変位 δ とグリッド間隔 l_g などによって決まる。球面型の焦点距離は加速グリッド球面の曲率半径になっている。いずれの場合でも焦点距離は直接的に加速電圧によって左右されることはない。

この新しいイオン源について、Kaufmanらがイオンビームのフォーカスの様子をファラデーカップで測定したところ、球面型グリッドのイオン源は図3のようになり、平面型グリッドのイオン源は図4のようになった。³⁾ 両方とも加速電圧1100V、サブレッサ電圧100Vの条件なので、アルゴンイオンの運動エネルギーは1000eVである。図3と図4で焦点でのイオン電流密度のピーク値を比較すると、球面型グリッドのピーク値が平面型グリッドのピーク値の約2倍になっていて、球面型の方が平

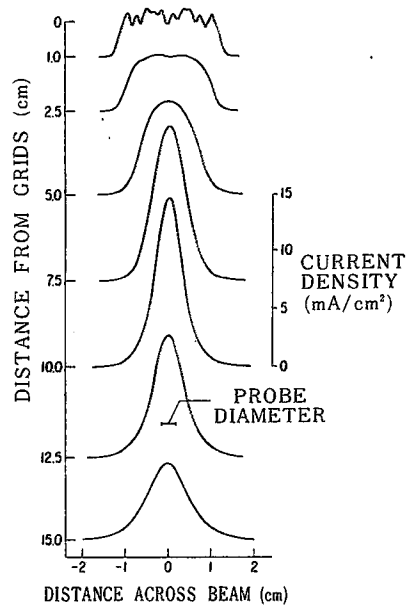


図4 平面型グリッドのイオンビームフォーカス

面型よりもフォーカスの効果が大いことがわかる。これは平面型グリッドの場合には図2(b)の偏向角 α を大きくできないので、イオン源の口径を大きくできないという事情があるからである。偏向角 α を大きくするためにグリッド穴の最大変位 δ を大きくしすぎると、イオンビームの一部が加速グリッドの穴壁に衝突してしまうのである。

球面型グリッドのイオン源を用いてシリコンウェーハを運動エネルギー1000eVのアルゴンイオンで衝撃したところ、最高300Å/secのイオンエッチング速度が得られたという。³⁾

現在考えられるカウマン型収束イオン源の問題点は次のようなものであろう。

(1) フォーカスの効果が大きい球面型グリッドはグラファイトを薄い球面板に加工しなければならないので、加工が困難である。しかし数値制御工作機械で加工可能な範囲である。

(2) 平面型でも球面型でもグリッドの軸出しと穴の位置合せの調整が面倒である。調整が不十分な場合にはイオンビームの方向がイオン源の向きと一致なくなる。

これの対策としてイオン源の向きをある角度範囲で傾けられる機構も考案されている。⁴⁾

(3) 個々のイオンビームの発散角を小さくする放電電流（アノード電流）の最適条件があるので、イオンエッチング速度を小さくするときには放電電流を一定にしたままで加速電圧を減少するしか方法がない。

5. カウフマン型収束イオン源の応用

このイオン源はイオンビームデポジションに使用され始めたという段階なので、^{5), 6)} 薄膜の分野以外の応用はまだ発表されていない。これをイオンエッチングという特殊加工に応用すると、イオンビームをフォーカスすることによって、イオンエッチング速度を同じ加速電圧でも従来のカウフマン型イオン源の数倍以上にできる。また従来のイオンエッチング速度でも十分な場合には加速電圧を下げる事ができる。加速電圧を下げることは次のような利点がある。

(1) 加速電圧を下げてイオンの運動エネルギーをスパッタリングでの効率のよい範囲(300 eV~500 eV)¹⁾に入れることができる。

(2) 加速電圧を低くすることは、非常に微量のイオン注入でも表面物性が変化してしまう半導体材料の加工に対して有望な方法である。

(3) 加速電圧をさらに低くして、スパッタリング現象が始まる最小の電圧(しきい値)まで下げられるならば、元素によるスパッタリングのしきい値の違いを利用して、しきい値の低い元素だけを選択的にエッチングするという新しい手法も可能となる。

(4) 加速電圧用の電源には、スクリーングリッドと加速グリッドとの間での短絡に対する保護回路を備えた

高電圧の定電圧電源が必要であった。加速電圧を下げることは、電源の設計と製作上で非常に好ましいことである。

従来のカウフマン型イオン源からこの新しいイオン源へ改造するには、スクリーングリッドと加速グリッドの部分を変更するだけですますこともできる。そこで近い将来に、この新しいイオン源が特殊加工の分野でかなり採用されるものと期待している。

当研究室でもカウフマン型収束イオン源の試作と性能評価を開始している。その詳しい評価結果は次の機会に発表する予定である。

(1980年9月1日受理)

参 考 文 献

- 1) H. R. Kaufman, P. D. Reader and G. C. Isaacson, AIAA J. 15, 843 (1977)
- 2) R. S. Robinson, J. Vac. Sci. Technol. 15, 277 (1978)
- 3) H. R. Kaufman, J. M. E. Harper and J. J. Cuomo, J. Vac. Sci. Technol. 16, 899 (1979)
- 4) J. E. Hoffman, C. M. McKenna, L. Michelson and E. Wakun, IBM Tech. Discl. Bull. 22, 1436 (1979)
- 5) J. J. Cuomo and J. M. E. Harper, IBM Tech. Discl. Bull. 23, 817 (1980)
- 6) J. M. E. Harper and M. Heiblum, IBM Tech. Discl. Bull. 23, 821 (1980)

