

# 理化学研究所 ニュース

No. 98

May 1988

## 低損傷・大口径・高速エッチング装置

最近、プラズマがますます身近に利用されるようになってきた。多くの物質は温度の低いときには固体であるが、高温になるにしたがって液体から気体へと状態が変化する。更に加熱すると一つの構成分子がイオンと電子に分かれプラズマという物質の“第四番目の状態”となる。プラズマはすでに蛍光灯のような光の源として広く利用されてきたが、最近もっと積極的にプラズマからイオンを取り出して半導体の製造等をはじめとする多方面に利用されるようになった。イオン工学という分野も発展しつつあり、中でも低いエネルギーのイオンの重要性が認識されるようになっていく。

大規模集積回路をはじめとする半導体素子の微細化にともない、プラズマのイオンを用いたドライエッチング技術に対する要求がきびしくなっている。微細加工性に加え、より低損傷、かつマスク材に対するより高い選択比や異方性を有するエッチング技術が望まれる。ウェハの径は6～8インチへと大口径化される傾向にあり、しかも高いエッチングの均一性が要求されることから、従来のような多数のウェハを一括して処理するや

り方では対応しきれなくなっている。このため、ウェハを一枚ずつ処理する枚葉式高速エッチング装置の開発が必要とされている。

従来、半導体のイオンエッチングは高エネルギー（約1 keV）で低電流（約1 mA/cm<sup>2</sup>）のイオン照射装置で行われているため、イオン衝突による結晶の損傷がしばしば問題となる。この照射損傷を避けるにはイオン・エネルギーを下げなければならないが、これは加工速度の低下につながる。イオンエッチングを半導体レーザーのような光デバイスの半導体プロセスの中に導入して行く場合、損傷の無いエッチング装置の開発が不可欠である。

低損傷のエッチング技術には、レーザーなどを使う光励起法や電子サイクロトロン共鳴（ECR）法がある。しかし、光励起法は処理能力を上げる目処が立っていない。最近になってECR法は、導波管の設計を最適化して高速にエッチングできるようになったが、まだ充分なものとなっていない。我々は低エネルギーで大電流イオンを利用できる全く新しい型の電子ビーム励起プラズマを用いたEBEP方式のイオン源を開発した。

直流放電によるプラズマでは、イオンの密度は

中性分子の密度の10万分の1程度である。これは、プラズマ電子の中で中性分子の電離に寄与するものが一部の高エネルギー電子のみであることによっている。もし電気入力中性分子を電離するのに十分なエネルギーを持つ電子ビームであれば、プラズマの生成は最も理想的に行われる。我々は高密度のプラズマを発生させるために、100eV前後のエネルギーを持つ大電流電子ビームを使った。電子によって気体を電離するときの断面積は100eV前後で最大になるため、効率よくプラズマを生成できる。

このイオン源では、イオンの密度は実に中性分子の密度の10分の1に達している。イオンの密度が高いため、加工速度を低下させることなくイオン・エネルギーを低くできるため、基板への損傷は少ない。また、反応室の圧力を $10^{-3}$ Torrと低くできるため、低エネルギーでもイオンの直進性が高く、垂直なエッチング形状が得られる。

エッチング速度は、イオン・エネルギーを5eVに保ったときでさえ、塩素ガス( $\text{Cl}_2$ )をエッチング用ガスに使うとSiが $0.5\mu\text{m}/\text{分}$ 、GaAsは $1.2\mu\text{m}/\text{分}$ と十分に大きい。この時のイオン電流密度も $6.4\text{mA}/\text{cm}^2$ と大きい(図1)。イオン・エネルギーとイオン電流密度は独立に制御できるため、低損傷の特徴を保ったまま、さらにエッチング速度を上げることが可能である。

図1のエネルギー範囲では、Siの場合10分程度エッチングを続けてもアンダーカットは生じていない。またSiエッチング時のマスク材 $\text{SiO}_2$ に対する選択比は30以上が得られている。

装置構成を図2に示す。陰極Kの先端からアルゴンガス(Ar)を導入し、陰極Kと陽極 $S_3$ の間で直流放電によりプラズマを発生させる。このアルゴンプラズマから加速電極Aの方向に電子ビームを引き出す。通常、電子のエネルギーを100eVに固定する。陰極に10Aを流すと、加速される電子ビーム電流は7~8Aに達する。大電流が得られるのは、反応室のイオンが加速電極Aの穴を通して陽極 $S_3$ 側へ逆流するように条件を設定し、加速室内の空間電荷の発生を抑えるからである。さらに、電流が径方向に発散しないように軸方向に磁界を印加して電子を閉じ込めている。

イオン・エネルギーは試料の電位 $V_t$ で制御する。

プラズマの電位は加速電極Aの電位に比べて約5V低い。加速電極Aに100Vを印加する場合には、 $V_t$ を90Vにするとイオンのエネルギーは5eVになる。

この装置は、イオン電流密度をECR法と同じに保ってもエッチング速度が高いという特徴を持っている。その理由として、プラズマ中のラジカル密度の高いことが考えられる。しかし、中性のラジカルを使ってもエッチング試料の断面形状は垂直性が保たれ、イオンの効果は重要である。

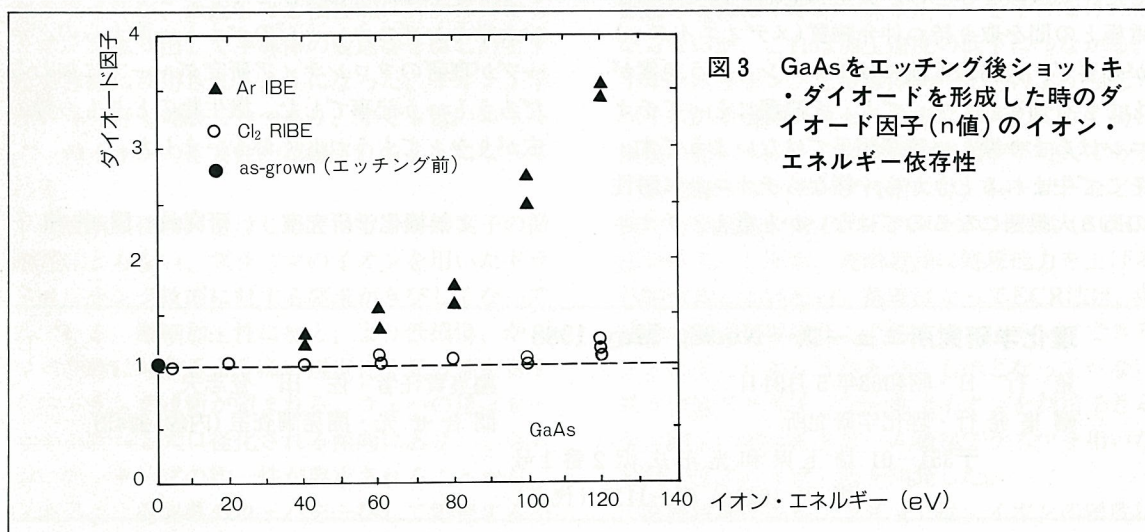
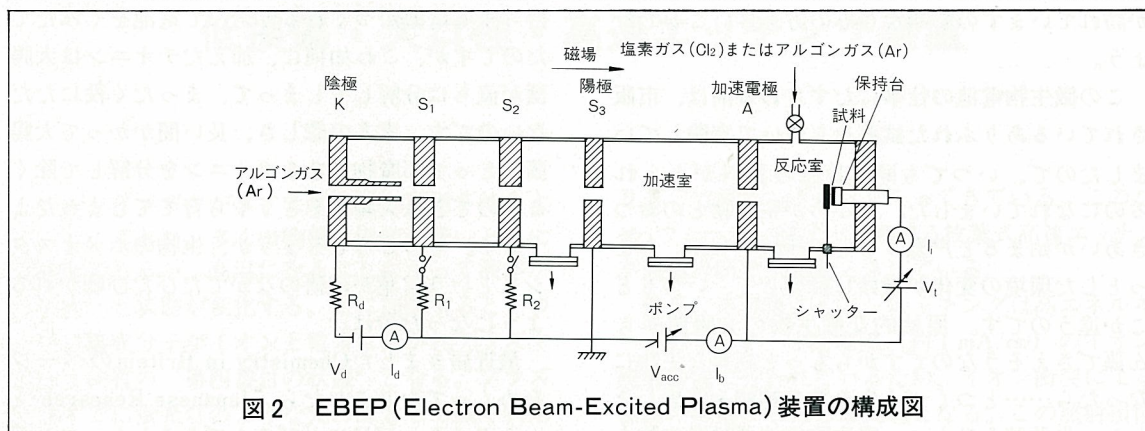
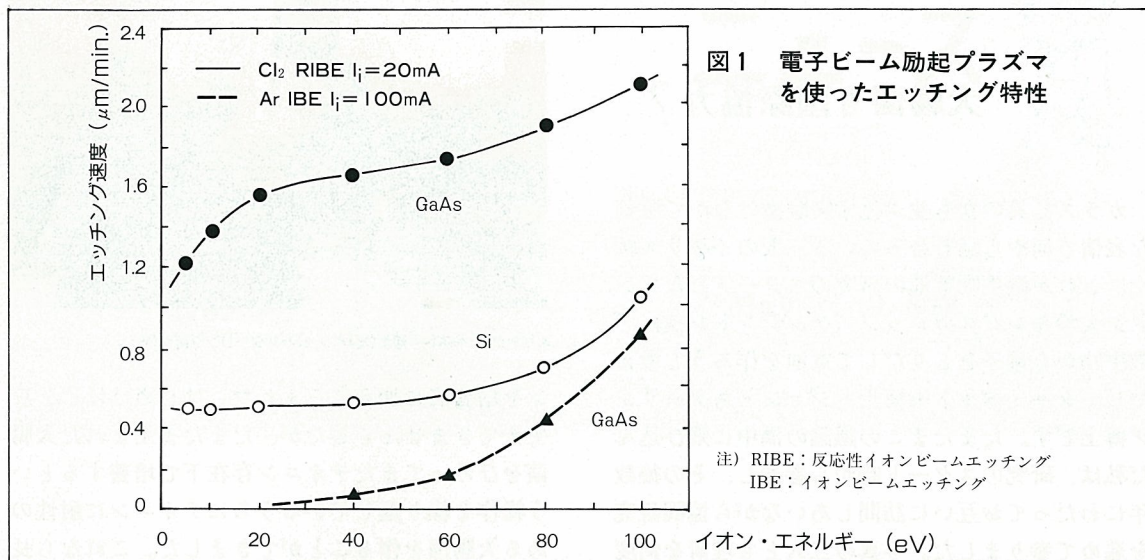
低損傷性についても次の様な方法で実験的に確認した。レーザー光をGaAs試料に照射した時の蛍光強度はエッチング後も変化が無い。また、n型GaAs試料の全面をエッチングしてからAlを蒸着してショットキ・ダイオードを作って調べた。順方向の電流-電圧特性からダイオード因子n値を求めた。ここでnは理想的には1になる。ところが、試料に損傷を与えたり汚染したりするとn値が大きくなる。新たなエネルギー準位ができ、これを經由して電流が流れるためである。塩素ガスをプロセス用ガスに使った実験からは、イオン・エネルギーを120eVまで上げてもn値はほぼ1になることが判った。これはエッチングしていない試料と同じである。しかし、ガスをアルゴンに代えてアルゴンイオンだけでエッチングすると、イオン・エネルギーの増加とともにn値は大きくなることが示された(図3)。この様に、塩素ガス等をプロセス用ガスとして用いれば、十分に低損傷の高速エッチングが可能である。

実用化に向けて、残る課題はエッチング面積の大口径化である。イオン電流密度の均一性に関しては、ターゲットの直径30cmにわたって $\pm 1.2\%$ 程度に抑えられる。実際にエッチングした時にも5インチウエハで $\pm 5\%$ 以内のエッチング速度の均一性が確認されている。

建設コストの高いクリーンルーム内の占有床面積をできるだけ小さくするように装置を小型にすることも重要である。我々は東京エレクトロン(株)と協力して今年末を目標に試作機の完成を急いでいる。

この装置は、成膜装置としても有用であるのでこの方向の応用も検討している。

レーザー科学研究グループ 研究員 原 民夫





## 大腸菌も国際協力？

ガラス器具の立ち並ぶ化学実験室のなかで深刻な表情で何やら話し合っている二人のイギリス紳士、これが微生物電池の研究のスタートしたロンドン大学キングスカレッジ（ケンジントン校）で、微生物から電子をとりだして電池を作ろうと考えたピーター・ベネトー博士とジョン・スターリング博士です。たまたまこの議論の渦中に飛び込んだ私は、研究のスタート時から参加し、その後数年にわたってお互いに訪問しあいながら協同研究を進めて参りました。写真の二人とも理研を何度か訪れていますので顔なじみの方も多いことでしょう。

この微生物電池の仕事にたずさわる前は、市販されているありふれた試薬をもちいて実験していましたので、いつでも同じ状態の試料がえられるのになれていました。ところが生き物とのおつきあいが始まると戸惑うことの連続でした。ちょっとした環境の変化が微妙に影響して、いつもどこか違うのです。原始的な微生物の大腸菌やらん藻でさえそうなのですからもっと高等な生物になったら……とつくづく生き物の神秘を実感しました。失敗談をひとつ。微生物電池では微生物と電極との間を取り持つ仲介物質（メディエーター）が必要で、大腸菌電池にはチオニンという色素がとて有効なのです。でも、大腸菌にとってチオニンはあまり楽しい遊び相手ではないようです。そこで生まれるときから一緒ならチオニンに耐性のある大腸菌になるのではないかと考え、チオニ



▲ピーター・ベネトー博士(左)とジョン・スターリング博士(右)

ンを培養液に加えてみました。はじめはほとんど生えてきませんでしたが、たまたま生まれた大腸菌をひろってまたチオニン存在下で培養するという操作を繰り返しているうちにチオニンに耐性のある大腸菌を作ることができました。これなら長持ちする電池がつけると勇んで電池をくみたてたのですが、こわ如何に、加えたチオニンは大腸菌が直ちに分解してしまっ、まったく役にたたないのです。素人の悲しさ、長い間かかって大腸菌にとって邪魔物であるチオニンを分解して除くことのできる大腸菌をどうやら育ててしまったようです。そのころでしょうか、生物のホメオスタシスという言葉が理研のなかでたびたび聴かれるようになったのは。

最近届きましたChemistry in Britainのページをめくっておりましたら“Japanese Research”というタイトルが目にとびこんできました。ロンドン大学キングスカレッジのベネトー博士らのグループが理研のフロンティア研究グループに加わるだろうという記事でした。微生物のとりもつ縁の広がりをとてもうれしくおもいました。

無機化学研究室 研究員 田中 和子

### 理化学研究所ニュース No.98, May 1988

発行日・昭和63年5月31日

編集発行・理化学研究所

〒351-01 埼玉県和光市広沢2番1号

電話 (0484) 62-1111 (代表)

編集責任者・佐田 登志夫

問合せ先・開発調査室(内線 2743)