

シリコン加工にバイオ技術を結合させ 量子効果デバイスを実現

— 現在、私の研究室で開発に取り組んでいる技術開発の第1は、このプラズマ・エッチング技術をさらに進化させた「パルス変調プラズマ」エッチング技術です。現在のプラズマエッチング技術ではプラズマを連続放電させているのですが、この方式では紫外線照射が発生したり、基板表面に電子やイオンなどの電荷が付着したりして、エッチング効率が落ちて、しばしば半導体上に欠陥部位が出来るのです。その結果、製品歩留まりが落ちるのです。

— 我々が開発したパルス変調プラズマ方式では、プラズマを連続放電するのではなく、電界を数十マイクロ秒単位でオンオフすることで断続放電するのです。そうしますと、電源オフ時は紫外線が照射されないため、蓄積電荷や欠陥の量が減ることが確認されたのです。

— この技術を採用すれば欠陥生成を抑制しながら、処理速度を上げられるので、線幅50nm~25nmまでの微細加工が可能になります。メモリでいえば16GB~64GBまでのチップが製造可能になります。本格的な情報家電システムを普及させるには、このレベルの精度の半導体回路が必要となります。既に一部の半導体デバイスでは、パルス変調プラズマ方式での製造が採用されており、IT革命が更に進展すると期待しています。

中性粒子ビームで 25nm以下の半導体加工を目指す

— パルス変調プラズマ加工を採用することで紫外線や電荷の発生が大幅に減らされ、シリコン基板のダメージが減るのですが、それでも多少は電荷や紫外線がプラズマから照射されます。蓄積した電荷でイオンの軌道が曲げられて、加工の精度が悪化します。紫外線が基板に数十nmの深さで進入して、絶縁膜を破壊することも起きます。加工幅が50nm程度であれば大きな問題にはならないのですが、線幅25nm以下の精度になると、こうした欠陥は直ちに不良品となって跳ねかえってきます。加工精度が上がれば上がるほど、欠陥フリーの加工技術が要求されるのです。この要求に応えようと我々が開発したのが、我々の第2の研究課題である中性粒子ビームによる高精度加工です。

— プラズマのような電荷や紫外線が照射されるのではなく、運動エネルギーを持った中性粒子を半導体加工に使えば、損傷は抑制できます。このことは理屈としては分かっていたのですが、難しいのは中性粒子ビームを適切に生成することでした。在来型の生成手法では、正イオンを持ったプラズマをガス分子に衝突させ、電荷交換をさせて中性粒子を生成させていたのですが、この方式では中性化率も粒子密度も低く、産業レベルでエッチングをさせることが出来なかったのです。

— 先のパルス変調プラズマ方式を使うと、電子を余計に持った負イオンが大量に発生するのです。この負イオンから電子を奪えば、大量の中性粒子を生成させられます。この手法ですと、マイナスイオンの中性化率は90%以上、粒子密度は在来型の中性粒子ビームの数十倍になりました。これだけ効率的に中性粒子ビームが生成できれば、実用技術として十分に使えます。5~7年後の実用化を期待している技術です。

— 我々が微細加工の第3の技術として開発を進めているのが、ナノテクノロジーにバイオ技術を融合させたバイオナノ加工技術です。従来の技術では実現できなかった10nm以下の超微細加工が、中性粒子ビームとバイオテクノロジーという先端分野との融合により可能になるのです。

— 生体にはフェリチンというたんぱく質があるのですが、このたんぱく質は生体内の鉄分の代謝を司っています。フェリチンは外径が約13nmなのですが、その内部にある直径7nmほどの空洞に鉄分を抱え込むことが出来るのです。フェリチンは生体たんぱく質ですから、DNAを利用すれば同じ構造、同じサイズのものが大量生産可能です。大量生産されたフェリチンをシリコン基板の上に塗布しますと、たんぱく質特有の自己組織化が働いて、規則正しい間隔を置いてたんぱく質が並びます。このたんぱく質を熱処理などで除去しますと、基板の上に7nm径鉄微粒子が格子状に残るのです。ここに中性粒子ビームを当てれば、鉄微粒子がマスクとなって7nmの超微細加工が可能になるわけです。

— 重要なことは、このレベルにまで超微細加工が進みますと、製造された半導体中の電子を一個ずつ輸送できる可能性が出てくることです。数十個、数百個の単位で動いている場合は、電子は粒子の性質しか示しません、数個単位で動く場合は波としての性質を引き出すことが出来ます。粒子でもあり波でもあるものが量子なのですが、半導体上を電子が量子的な性質を持って動くのです。そして、量子効果を利用すればほんのわずかなエネルギーで電子を制御でき、演算素子やメモリ素子を超小型化することが可能になります。現在のスーパーコンピュータの演算速度を、現在の携帯電話程度の大きさで、複雑な自律型ロボットの制御がワンチップで出来るようになるかもしれません。

— 加工精度の向上という量的変化が、量子効果素子という質的变化を呼び、半導体デバイスの世界に革命が起きる可能性があるのです。このバイオナノ加工技術は、10年後を見据えた研究開発だと思っています。

— ちなみに、この研究は私がある企業のバイオ研究者と出会ったことで始まったものです。異分野協力による技術開発ですが、こうした共同研究は、私が民間企業にとどまっていたらとうてい実現できないことでした。こういった研究開発ができることも、大学に移籍して良かったことのひとつだと実感しています。

