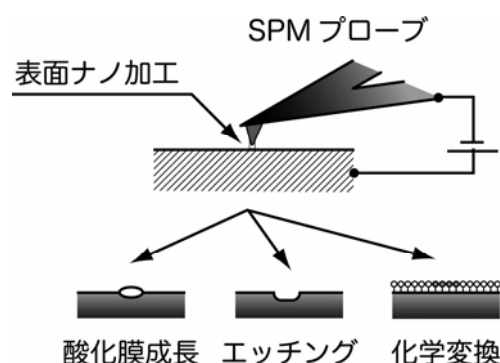


ディビジョン番号	14
ディビジョン名	ナノテク・材料化学

大項目	2. ナノ操作
中項目	2-2. 超微細加工
小項目	2-2-3. ナノプローブ・リソグラフィ

概要（200字以内）

走査型プローブ顕微鏡の探針直下で試料表面の電気化学反応を誘起し、固体基板表面に微細パターンを描画する。陽極酸化反応による金属・半導体表面への酸化膜パターン形成を中心に用いられているが、還元反応の利用・有機分子膜へのパターン描画等への展開もある。現状での描画線幅は10～20nmだが、技術的な改良が進み10nmの壁を越えつつある。将来は、シングルナノメートル領域のリソグラフィ技術として期待できる。



現状と最前線

走査型プローブ顕微鏡探針と試料表面接点に形成される微細な吸着水カラムを電気化学セルとして、酸化物被膜の成長、試料物質の分解とエッチング、表面有機官能基・吸着種の化学変換を含む、試料表面の局所的な『電気化学的酸化反応』による、SPMナノ加工・表面修飾は、

- 1) 特殊な環境を必要としない（大気中でも加工が可能）、
- 2) 半導体材料として重要なシリコン（Si）の表面ナノ加工が可能、
- 3) Si以外にもさまざまな金属・半導体・無機物・有機物と幅広く適応可能、
- 4) 多くのパターン転写プロセスが存在する

等の理由から、最も研究が進んでいるナノプローブ・リソグラフィ手法の一つである。最近では、電気化学的還元反応を用いた例も少ないながら報告されている。この手法が大きく注目された理由の一つに、局所的な陽極酸化を利用し（陽極酸化によって形成した酸化膜を電子回路の絶縁部品として使用することで）実際に動作する単一電子トランジスタの試作に成功していることがあげられる。

この分野は、走査型トンネル顕微鏡を用いたナノ加工実験により幕が開いたが、現在では、その中心は原子間力顕微鏡（AFM）の利用に移っている。現在でも、試料表面に実質的に探針先端を接触させるコンタクトモードAFMによる加工が主流ではあるが、探針先端のダメージの軽減、試料表面の機械的破壊の回避等の観点から、接触圧を極小化できるダイナミックモード

AFM (DFM) が適用されはじめています。DFM では、探針非接触動作も可能であり、より探針ダメージの少ない再現性の高いナノリソグラフィの実現が期待できます。

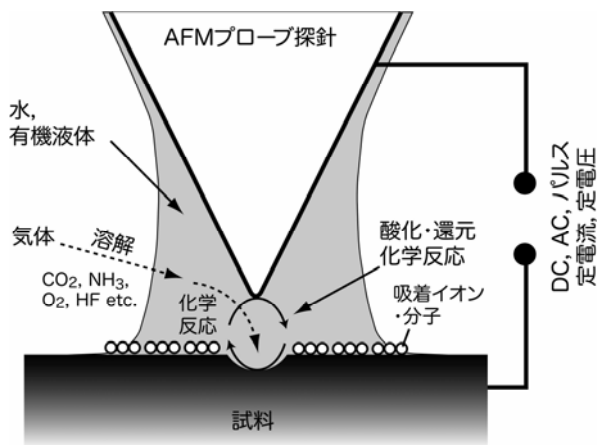
プローブ誘起反応を制御し、加工・表面修飾の自由度と多様性を得るために、さまざまな工夫がなされている（左図）。

1) 電圧印加方式の工夫：通常は単に DC 電圧を印加するだけであるが、定電流制御することで加工線幅などの安定性が向上する。

パルス電圧あるいは AC パルス電圧を印加すること、DC 電圧よりも加工線幅が小さくなることわかってきた。さらに、AC パルス周期と DFM プローブの振動周期間の位相を調整することで、加工線幅を小さくできる。

2) 反応化学種に関する展開：吸着水の関与する電気化学反応を利用することが、最も一般的であるが、吸着水に気体分子を溶解させたり、基板表面にイオンや分子を吸着させておくことで、吸着水単独とは異なる化学反応を誘起することができる。さらには、吸着水カラムを、アルコールや炭化水素等の有機液体で置き換えることも可能である。これらの工夫によって、酸化膜成長・エッチングの他に、炭化、窒化、炭素膜形成、最表面官能基だけの化学変換等、さまざまな表面修飾反応がリソグラフィのためのツールとして選択できるようになった。

現状では、線幅 10~20nm の微細加工が、再現性は十分ではないがなんとかできると考えて良い。技術的な工夫と改良が進み、10nm 以下の加工サイズの成功例も見受けられる。将来は、定常的に 10nm をきるシングルナノメートル微細加工が実現するものと期待される



将来予測と方向性

・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

シングルナノメートル加工用 AFM プローブ：耐久性が高く、常に 10nm 以下の微細加工ができる鋭い探針先端を有する AFM プローブの量産化と安定供給。

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

さまざまな環境下での完全非接触動作が保証された DFM

非接触 DFM によるプローブダメージフリーの表面ナノ化学修飾

キーワード

リソグラフィ, 電気化学, 走査型プローブ顕微鏡, 原子間力顕微鏡

(執筆者：杉村博之)