



若 者

## 電子ビーム応用加工技術

渡 部 平 司\*

諸先生の御指導のもと私は工学部精密工学科修士課程を修了し、現在日本電気(株)基礎研究所に勤務している。本研究所は、新材料や新機能デバイスおよび次世代プロセス技術の開発を目指し、平成元年に筑波研究学園都市に新たに建設された研究グループのひとつを成す。この恵まれた環境のもと私は企業での研究活動をスタートしたわけであり、ここに現在の我々の研究テーマを御紹介したい。

私は大阪大学在学中から企業内での基礎研究に大変興味を持っていた。それは比較的短い期間での製品開発よりは、次世代の技術をその出発点から手がけてみたいと考えていたからである。そのため就職の際も基礎研究部門への配属を希望し、上記のグループに加わることとなった。現在の私の研究テーマは電子ビームを利用した新しい加工技術に関するもので、以下その詳細を述べる。

電子ビームは各種の分析・評価技術ならびにマイクロデバイスの作製に広く応用されている。分析・評価法の代表的な例としてはオージェ電子分光法や電子顕微鏡などが挙げられ、これまで数多くの研究がなされると共に分解能や感度の装置性能は着実に進歩している。また、電子ビームリソグラフィは微細デバイスやマスク作製にとって極めて重要な技術となりつつある。我々のグループは電子ビームが備えた数々の特徴に注目し、これを応用した新しい加工法として電子ビーム励起表面反応プロセス (Electron Beam Induced Selective Etching and Deposition: EBISED) 技術を提案し<sup>1)2)</sup>、その基礎研究を進めている。本技術は基板表面に形成した

ガス吸着層に電子ビームを照射することにより反応励起を行い、エッチングならびにデポジションを実現するものである。つまり、エッチングは電子ビーム照射に伴い基板材料と反応して揮発性の生成物を作るようなガス吸着層を用いることで可能である。また、デポジションはビーム照射により原料ガス吸着層を解離し、所望の材料を析出させることによる。これらのプロセスにおいて、集束したビームを用いた場合には微小領域の反応のみを励起し微細構造の直接描画が実現できる。またブロードビームを用いた場合にはマスクパターンの転写が可能となる。

電子ビーム励起表面反応プロセスの励起ビームとして透過電子顕微鏡 (TEM) の電子ビームを用いた 15nm 径タングステンロッドパターンのデポジション例を図 1 に示した<sup>2)</sup>。これは

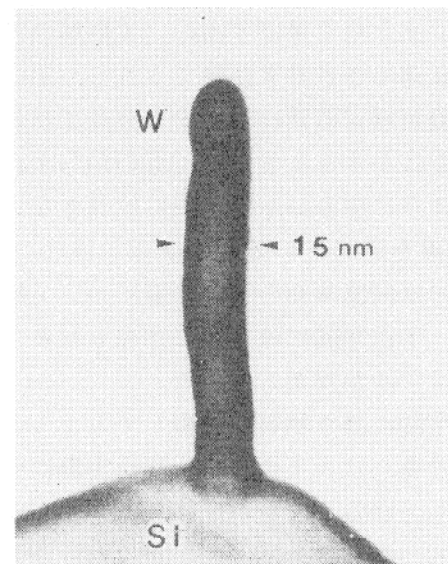


図1 TEMにより形成した15nm径タングステンロッドパターン

WF<sub>6</sub>ガスソースを用いたシリコン微粒子上へのWのデポジション結果であり、ロッドの形成はTEM試料室中の微粒子にWF<sub>6</sub>ガスを

\* 渡部 平司 (Heiji WATANABE), 日本電気株式会社基礎研究所探索研究部, 工学修士, 精密工学

$1 \times 10^{-6}$  Torr 供給しながら、ビーム径を 3 nm に絞った電子ビームをシリコン微粒子表面からゆっくりと空間へ向けて走査することにより行った。この様に電子ビーム励起表面反応プロセスを用いることでナノ構造形成が可能であることがわかる。

図2は走査電子顕微鏡の電子ビームにより反

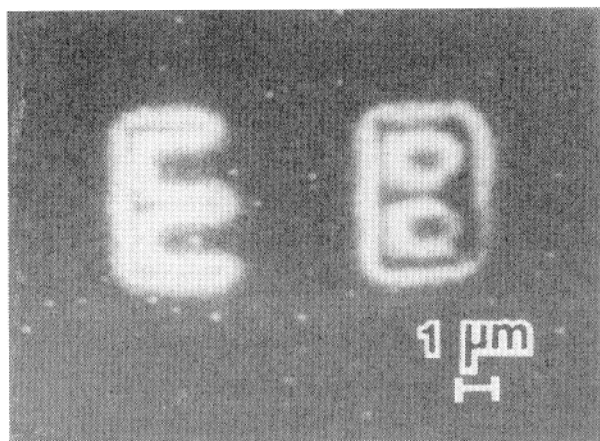


図2 SEMにより形成したSi直接描画エッチングパターン

応ガスとして  $\text{XeF}_2$  を用いて Si の直接描画エッチングを行った例である<sup>2)</sup>。  $\text{XeF}_2$  分子は室温でも Si と反応して揮発性のフッ化物を形成しガスエッチングがおきるが、電子ビームを照射することで反応をさらに促進しエッチング速度を増大させることが可能である。図は加速電圧 10kV の電子ビームを照射して形成した線幅  $0.5 \mu\text{m}$  の“EB”文字描画結果である。これより本技術によりデポジションだけでなくエッチングについても微細パターン形成が可能であることが示された。

また我々のグループでは近年注目されている走査型トンネル顕微鏡 (STM) に早くから着目し、これを用いての電子ビーム表面励起プロセスの検討を行っている。つまり STM の持つ優れた位置決め精度を利用しつつ、STM 探針と試料表面間の微小空間に流れる電子を反応励起のための電子ビームに応用するものである。図3は真空チャンパー内の残留カーボンを原料としてシリコン基板に蒸着した金薄膜上にカーボンデポジションを行った例である<sup>3)</sup>。(a)は STM 探針と試料間に 3V のパルスバイアスがかかることで形成した 10nm 径ドットパターン

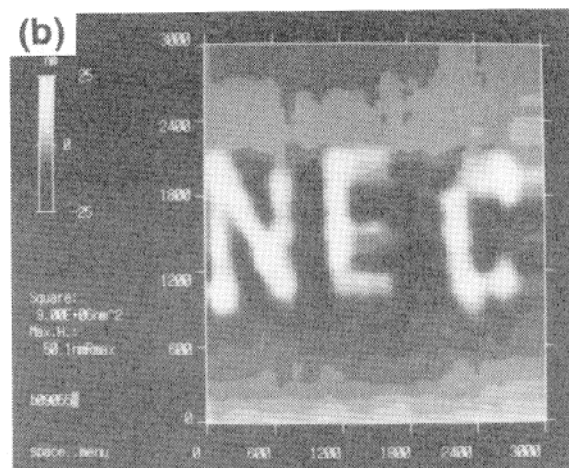
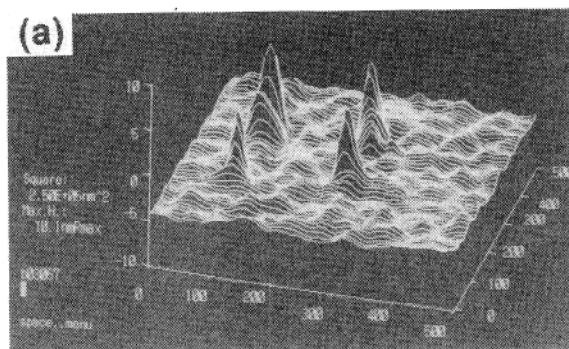


図3 STMにより形成したカーボンドットパターン(a)、および“NEC”デポジションパターン(b)

である。また、(b)は10Vのバイアスを印加しながら探針を走査して形成した線幅 200nm の“NEC”パターンである。これらの結果より TEM や SEM だけでなく STM を用いたトンネルおよびエミッション電流によっても表面励起反応プロセスが可能であることがわかる。これは電子の加速電圧が数ボルト程度の領域でも表面励起反応が促進されると言う点でたいへん興味深い。さらに Si や GaAs のエッチングについても研究を進めている。

これらの研究成果を背景として私は電子線シャワーを利用した各種半導体材料への電子ビーム表面励起反応プロセスによるパターン転写技術(電子ビーム励起ドライエッチング)に関する研究を行っている<sup>4)5)6)</sup>。この研究の目的は、デバイス製造プロセスに最も広く利用されているイオンを用いたエッチング方法(例えばイオンビームエッチング: IBE, 反応性イオンエッチング: RIE, 反応性イオンビームエッチング: RIBE)において欠点となっているイオン衝撃

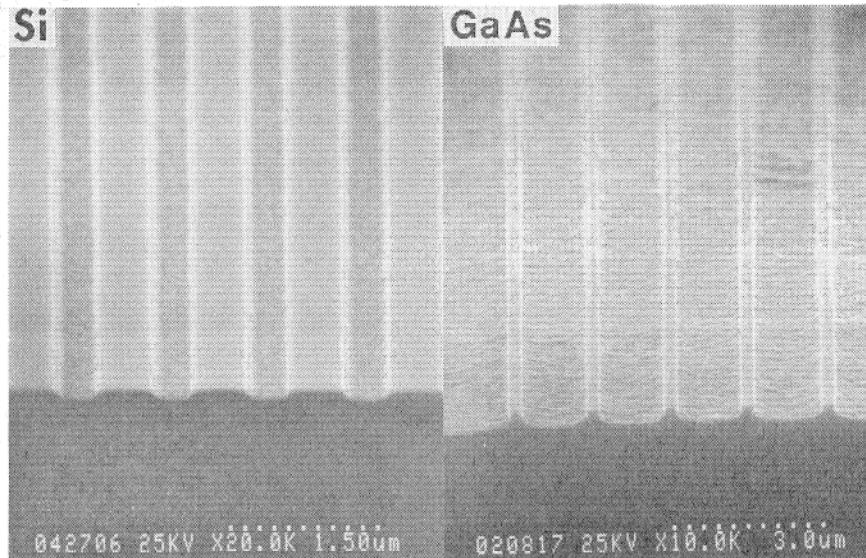


図4 電子ビーム励起ドライエッチングにより形成したSiならびにGaAsラインパターン

に伴う加工損傷の問題を解決するエッチング法の実現にある。これまでSiをはじめ化合物半導体であるGaAsやInPについて、反応ガスとして塩素を用いた系で電子ビーム照射に伴うエッチング速度の増大を確認している。図4はレジストマスクを用いてSiならびにGaAs基板上にパターン転写を試みた例であり<sup>4)5)</sup>、それぞれサブミクロンオーダーの極微細構造形成が可能であることがわかる。さらに、フォトルミネッセンス法による加工損傷評価の結果、従来のイオンアシストを用いたエッチング方法に比べて明らかに低損傷エッチングであることが確認された<sup>5)</sup>。また、電子ビーム励起ドライエッチン

グは被加工物の表面状態に敏感であるため、反応ガスに対して化学的に安定な材料を用いれば、超薄膜でさえパターン転写の際のマスクとしての効果を有する。図5はGaAs表面に厚さ数ナノメートルのカーボン層を電子ビーム励起表面反応プロセスにより堆積した後、電子ビーム励起ドライエッチングを行い形成したパターン転写結果である<sup>6)</sup>。これより中央部分がエッチングされているのに対し、カーボン層に覆われた周辺領域ではエッチングがおきておらず、マスクとしての有用性が示された。さらに、この技術によっても図4に示したような0.6 μm幅の微細構造の形成に成功している。これは本加工法が表面化学反応を利用したものであることを示し、基板構成原子と反応ガス吸着層ならびにこれらと電子ビームとの相互作用を理解することで、数々の応用が可能であることの一例である。

以上述べたように電子ビームを応用した加工技術に関する研究は表面科学からのアプローチと共に、電子ビームと材料表面との相互作用を論じる観点からも興味深い。さらにLSIの高集積化、量子効果デバイスの作製に際して低損傷加工法確立の必要性が増しており従来の技術とは視点をかえた新しいエッチング方法が望まれる。電子ビーム励起ドライエッチングは、イオンビームアシストによるエッチング方法と比較すると加工速度が遅い点で問題が残されているものの、イオンに比べてはるかに質量の小さ

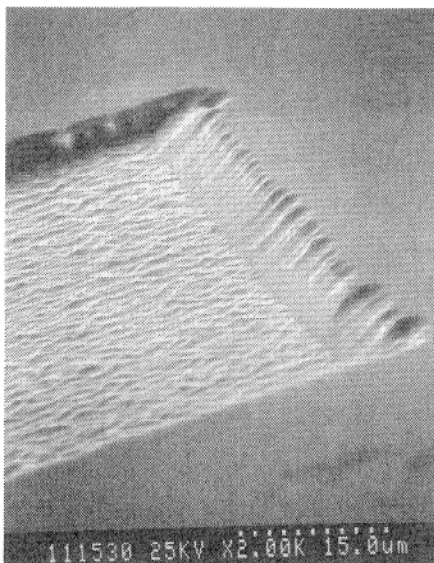


図5 カーボンマスクを用いたパターン転写

い電子ビームによるアシスト効果を利用しているため低損傷エッチングが可能である。これまで、本加工法の基礎特性評価を行ってきたが、今後さらにエッチング速度ならびに微細性を高め、実際のデバイス作製に応用する段階にさしかかっている。

参 考 文 献

- 1) S. Matsui, T. Ichihashi and M. Mito, J. Vac. Sci. Technol. B7, 1182 (1989).
- 2) S. Matsui, T. Ichihashi, M. Baba and A. Satoh, Superlattices and Microstructures, 7, 295 (1990).
- 3) M. Baba and S. Matsui, Jpn. J. Appl. Phys. 29, 2854 (1990).
- 4) H. Watanabe and S. Matsui, (submitted to Jpn. J. Appl. Phys.)
- 5) S. Matsui and H. Watanabe, (submitted to Appl. Phys. Lett.)
- 6) H. Watanabe and S. Matsui, (to be published in Jpn. J. Appl. Phys.)

