



研究室紹介

電気工学科第一講座 (固体電子工学研究室)

難 波 進*

I. 講座の概要

電気工学科は、昭和36年基礎工学部の創設と同時に発足した学科で、第1講座は山口次郎教授（現名誉教授）の兼任のもとに発足し、その後昭和42年に筆者が着任して今日に至っている。この間昭和53年には、極限微細ビーム加工実験施設を創設し、実験施設と協力して超LSIを超えた次世代の極微構造エレクトロニクスの基礎となる超微細加工技術および超微細構造素子中の種種の量子効果の探索等を進めてきた。極限微細ビーム加工実験施設は、昭和61年度に改組され、現在極限物質研究センターとして発展している。研究室の現教職員は、難波進教授、蒲生健次助教授、高井幹夫助手、弓場愛彦教務職員および河崎清技官、また極限物質研究センターでは、難波進センター長のもとで極限構造部門に有留宏明助教授および美濃邦夫技官がおり、これに大学院後期課程4名、前期課程12名および学部学生8名、民間企業からの研究生5名が所属し、活発な研究活動を行なっている。

II. 研究の方向と内容

光、電子ビームおよびイオンビームを用いるビームプロセス技術と、半導体超LSIデバイスを中心とした固体電子工学との接点の領域の研究を進めている。即ち、半導体デバイスの集積化、微細化の進展は誠に目覚ましく、すでにサブミクロンの寸法で 1 cm^2 のSiチップ上に数100万個の素子を集積している。このような高集積化、微細化は電子素子の高速化、大容量化にとって必然の要求であり今後ますます微細

化が進み、将来ナノメートル (10^{-7} cm) や原子オーダーの加工技術が必要となろう。このためには、制御性よく、必要な部分のみを望ましい方向にのみ加工する方法が必要で、このような加工技術は、光、電子ビームおよびイオンビームの特長を生かし、これらを縦横に駆使したものになろう。

そこで、当研究室では、次代のエレクトロニクスの実現に重要な役割を担う極微加工技術の開発を目指し、これらのビームと固体との相互作用、照射効果の解明、ビーム形成法の研究およびこれらの成果を展開して極限加工の追及と、製作される極微構造素子の特性評価、新しい量子現象の探索と解明等の研究を進めている。具体的な研究活動の状況は次のとおりである。

イオンビームは、イオン注入技術として、材料表面の特性制御、不純物ドーピング、ドライエッチング技術として微細デバイスパターン製作等種類の電子デバイスプロセスに使われる。しかしその実用化を図る上で、イオン照射損傷の影響とその低減、除去の方法を明らかにする必要がある。そこで、Si、GaAs、InP等の半導体材料について、加工層の電気特性、発光特性や照射欠陥のキャラクタリゼーションおよびこれらの熱処理効果等の研究を行っている。またドライエッチング技術では、エッチング機構の解明およびエッチング条件の最適化を行い、例えば、高精度の分光回折格子の製作技術を確立し工業化に貢献した。

イオンビームは、加工手段として種種の特長を持つが、高エネルギービーム ($>100\text{ eV}$) を用いるため照射損傷を生じる。これは、今後の超微細デバイスにおいて特に問題であり、照射損傷がないと期待される光を用いるプロセスの開発が望まれる。そこで、レーザーを用いた

*難波 進 (Susumu NAMBA), 大阪大学基礎工学部教授, 極限物質研究センター長, 工学博士, 理学博士

エッチングおよび薄膜形成等の加工プロセスについて、加工特性と加工損傷の評価を進めている。

さらに極微構造加工技術の開発には加工特性の評価だけでなく、新しい加工装置の開発が必要である。そこで、新しい高輝度電子銃やそれを用いたナノメートル電子ビーム露光装置を開発した。また、イオンビーム技術に関しては、高輝度液体金属イオン源および高輝度微小集束イオンビーム装置の開発を行った。

これらの新しい装置を用いて新しいプロセスの開拓を進めている。すなわち、高輝度集束イオンビームを用いることによりフォトリソグラフィ工程が不用となり、イオンビームを計算機制御して走査し直接デバイスパターンを描画できるマスクレスプロセスの研究を行っている。マスクレスプロセスの開発には種々の物理的、化学的なイオンビーム誘起効果を応用する事が不可欠であり、イオンビーム誘起効果の探索と評価を行っている。これまでに、高速度のエッチングや金属薄膜パターンをフォトリソグラフィ工程なしで直接形成できることを示している。このようなプロセスは、工程が簡略化、高信頼化されるため、今後の超微細デバイスプロセスとして大いに期待される技術である。すなわち、半導体エレクトロニクスにあっては、将来さらに現在の100倍以上の超高集積化および光集積回路、三次元集積回路等の新しい高性能集積回路の製作が必要となり、三次元加工ができ、さらに需要の多様化に伴う少量他品種生産に対応できるマスクレス加工技術が重要となる。

極限加工の追及では、開発した電子ビーム露光装置を用いて8 nmの極微パターンの形成に成功している。これはほぼ用いたレジスト分子の大きさであり、また電子ビームのレジスト中での散乱による広がりに対応しており、ほぼ加工の限界に近いと思われる。

つぎの研究として、このような極限加工技術を展開して極微構造に現れる量子効果の探索や新しいデバイス開発の研究を進めている。すなわち、半導体デバイスは、これまで素子寸法を縮小することによってデバイスの特性をいくら

でも向上できた。しかし、縮小が急速に進み、デバイス寸法がサブミクロン程度まで小さくなると、デバイス原理や材料面での制約を受け、単なる縮小化による素子特性の向上が望めなくなってきた。このため従来技術の延長ではなくまったく新しい素子の開発が必要となってきた。ところで、100 nm以下の寸法は、固体中の電子のドブロイ波長、平均自由行程、コヒーレント長等の種々の特性長と同程度またはそれ以下である。このような極微構造中では、電子現象に種々の量子効果が現れ、これを用いた新しい量子デバイスが得られる事が期待できる。すなわち極限加工技術によって、デバイス寸法の縮小により得られる高速化、高集積化等の量的な向上だけでなく、電子状態を直接制御して、自然には存在しないような質的にまったく新しい機能をもった材料やデバイスを生み出す事ができる。このようなデバイスは、電子の波動性を利用しており、固体中での電子波の干渉や伝播によって起こる現象を利用したものであり、光波デバイスに対し電子波デバイスとも呼べるものである。研究室では、すでに極微構造素子中で磁気抵抗のゆらぎ等の新しい電子波の干渉効果を観測している。

極限加工の応用として、回折格子、フレネルゾーンプレート等のX線光学素子の製作とX線顕微鏡の開発を行っている。これらは、X線分光、核融合プラズマ診断や材料のX線分析、生体観測等に重要で、極限加工技術によって10 nm程度の分解能を持つX線顕微鏡の開発を目指している。

3. おわりに

高密度集積化、縮小化の目覚ましい進展につれて素子の限界が論じられるようになり、超格子素子や分子デバイス等、新しい材料やデバイスが模索され、研究が多様化してきた。このような時点においても、極限加工技術は不可欠であり、次代の極限構造エレクトロニクス実現の鍵を握る重要な基礎技術である。さらに、加工によって電子状態を制御し、新しい、材料物性、機能を創製できるようになり、夢のある研究分野として益々発展しよう。