

時間的空間的に制御された化学エッチング による超精密加工法の開発

物理学系専攻 精密工学コース
教授 佐野 泰久

1. はじめに

私は、2024年4月1日付で大学院工学研究科 物理学系専攻 精密工学講座の教授に昇任し、超精密加工領域を担当しております。昭和62年に大阪大学工学部精密工学科に入学して卒業研究時に森勇藏先生の研究室の扉を叩いて以来良くも悪くも一歩も外に出ておらず、博士前期課程修了直後に森研究室の助手として採用、山内和人先生が教授に昇任された2003年から助教授（2007年以降は准教授）を務めさせていただき、山内先生の停年ご退職の翌日より研究室を引き継いでおります。研究室では、プラズマ中や溶液中における化学エッチングを時間的空間的に制御することで半導体基板やX線光学素子表面を高精度に仕上げる超精密加工技術の開発とその応用に取り組んでおり、本稿ではプラズマを用いた研究を2例ほど紹介させていただきます。

2. 新しい数値制御加工法の開発

例えば半導体基板等の厚さを高精度に均一化するような場合、まずは基板の厚さ分布を高精度に測定します。そして、厚さ分布の空間波長よりも小さな直径のプラズマを生成させ、目標厚さとの差が大きい場所はプラズマ滞在時間が長く、小さい場所はプラズマ滞在時間が短くなるような送り速度制御を行いながらプラズマを基板全面に走査させます（図1(a)）。プラズマの大きさは電極の形状や投入電力、雰囲気ガス圧力、反応ガス組成等でコントロール可能です。電極と基板表面との間にはサブミリメートルから数ミリメートル程度の間隙を設けるため熱変形や振動といった外乱の影響を受けにくく、基板各場所の加工量はプラズマが基板表面に接触している時間のみで制御できるため、比較的容易にサブマイクロメートルからナノメートルオーダーの加工精度が得られます（例えば、「生産と技術」Vol.56, No.3, pp.49~51）。

しかしながら、このような技術を半導体基板の高精度化技術として実用化するには原理的な課題があります。それは、例えばシリコン基板のような量産品においては、1時間あたり十枚から百枚といったオーダーのスループットが求められることで、小径プラズマを用いて基板全面を走査する方法では時間がかかりすぎることです。そこで、小径プラズマを走査するのではなく、基板全面にプラズマを発生させ、設定した加工量に達した場所からプラズマを消滅させる、全面一括型の数値制御加工法の検討を開始しました。具体的には例えば図1(b)のように基板全面をカバーするアレイ状の電極を設け、電極毎に個別にプラズマをON/OFFできる機構を設けることにしました。この機構には、電磁石によって電極を引き上げることで電極を基板から遠ざけ電界強度を弱める方法、各電極間を絶縁して各々に設けた半導体リレーによって

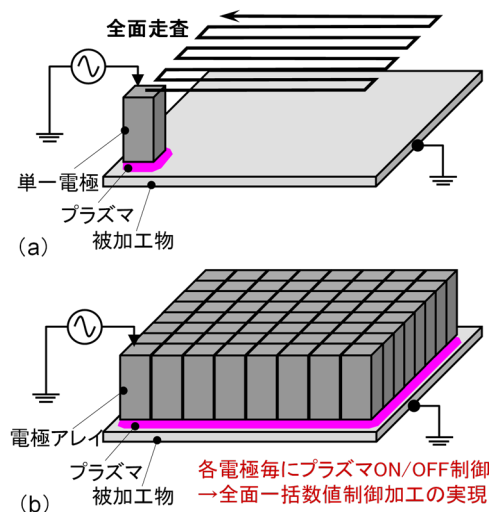


図1 送り速度制御型の数値制御加工法(a)と提案する全面一括型数値制御加工法(b)

高周波電力の供給を直接遮断する方法、を検討し、それぞれ小規模（電極数：数十個）ながら、数値制御加工が可能であることを実証しました。今後は具体的なターゲットに応じた開発を進めることができると考えており、並行して電極分割以外の時間的空間的プラズマ制御方法についても検討を進めています。

3. チャンネルカット結晶分光器表面の無歪化

チャンネルカット結晶分光器とは、図2(a)のように単一の単結晶ブロックに形成された溝の向かい合う2つの内壁面をブラッグ反射面とするX線光学素子で、入射角を選ぶことで特定波長のX線のみを切り出し、入射方向と同じ方向へと出射させることができます。2枚の単結晶を用いるよりも、シンプルかつコンパクトで、かつ安定性に優れていることから、放射光施設等において重宝されています。しかしながら、このような内壁面に対して既存の高精度仕上げ研磨を施すことは困難なため、表面には原子配列の乱れた加工変質層が残留しており、反射率の低下や反射波面の乱れを伴うことが課題となっていました。そこで、この内壁面の加工変質層をプラズマエッチングによって除去することを検討しました。図2(b)のように内壁面にワイヤー電極を対向させてプラズマを発生させ、内壁面に沿うようにスキャンして数マイクロメートルの深さだけ加工を行った結果、反射率の低下や波面の乱れを無視できる理想的なチャンネルカット結晶分光器へと仕上げることができました（例えば、「生産と技術」Vol.75, No.1, pp.13~18）。この結果は国内外の放射光施設から注目され、複数の施設からプラズマ処理の依頼を受けるようになったことから、多くの皆様のご協力のもと大阪大学発ベンチャーを2022年10月に起業し、研究成果の社会実装へと進めることができました。現在は、2つの内壁面の間隔が100マイクロメートル程度と極めて狭いマイクロチャンネルカット結晶の仕上げ加工に取り組んでいます。直径30マイクロメートルという極細の電極を用い、プラズマ発生圧力を通常（大気圧）よりも5倍から9倍程度に高めることで、このような極狭空間においても安定にプラズマを生成できることが明らかになりました。このような高圧力下でのプラズマエッチングにおける加工特性の評価を行い、マイクロチャンネルカット結晶の無歪化法として確立することを目指しております。

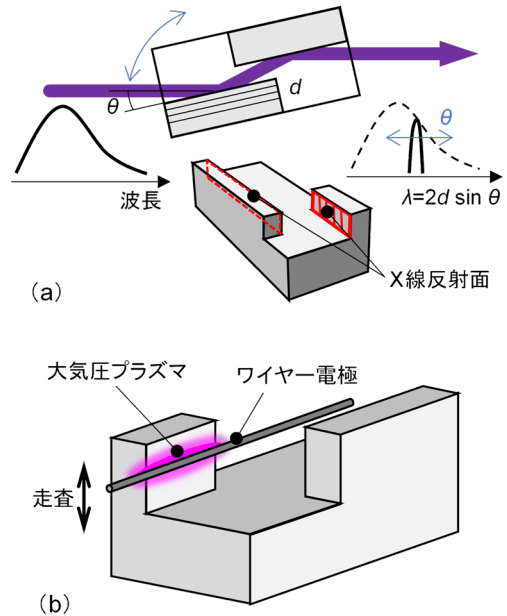


図2 チャンネルカット結晶分光器の概要(a)、および内壁面の無歪化方法(b)

4. おわりに

上記以外にも、低損失パワーデバイス用材料として注目されているワイドギャップ半導体のプラズマを用いた高能率無歪加工や、触媒表面での化学反応を利用した砥粒や薬液を用いない低環境負荷型精密研磨方法の開発等、SDGsにも合致する研究に精力的に取り組んでいます。

新しい超精密加工技術の開発は、当事者としては夢の膨らむ前途洋々としたものですが、たとえ成功してもそのことだけでは評価に結びつくことは少なく、最先端工業製品の製造技術として実用化されたり、その加工技術によって創られた唯一無二の製品が基礎科学の発展に貢献したりして初めて評価されるものかと思います。そのためには使っていただける方との共同研究が不可欠であり、人と人との出会いや繋がりは大変重要なものと考えております。多方面にてご活躍の大阪大学工業会の皆様におかれましては、もし高精度な表面創製技術や無歪加工技術等にご興味・ご関心がございましたら、是非お気軽にお声掛けをいただければ幸いです。

(工学部 精密工学科 平成3年卒、工学研究科博士前期課程 精密工学専攻 平成5年修了)