

連載シリーズ

高機能化原子制御製造プロセス教育研究拠点 「自然現象の精緻さによって製造技術をかえる」

大阪大学大学院工学研究科
精密科学・応用物理学専攻教授

山 内 和 人

グローバル COE プログラム「高機能化原子制御製造プロセス教育研究拠点」は、自然現象の精緻さをその極限まで利用し、製造技術における原子レベルの制御性と環境調和性を実現する「原子制御製造プロセス」の創出を目的としています。人類の繁栄は、ものを作る技術、すなわち製造技術によって支えられているといっても過言ではありません。多くの企業は、この開発に鎬を削り、より良い製品、他社にまねできない製品を生み出しています。しかし、製造技術開発の現場では、既に使われている原理や技術をもとに、製造装置をより高精度化していく方法が採られています。すなわち、「装置精度型」の開発が続けられているのです。現在のところ、薄型テレビは限りなく大型化し、半導体デバイスは限りなく高集積化され続けていますが、到達できる精度や製造技術そのものの環境調和性の観点から、いずれ限界が訪れることは明らかです。

私たちは、工学研究科の精密科学・応用物理学専攻と生命先端工学専攻、超精密科学研究センターから研究者が集まり、表面科学や計算科学などを駆使しながら、ナノ工学を展開し、新たに製造プロセスに応用できる精緻な物理・化学現象を探索しています（図1）。



図1 自然現象の精緻さを利用する現象精度依存型技術

これによって、これまでの「装置精度型」に代わって、「現象精度型」の製造技術の創出を目指しているのです。私たちが創出する製造技術は、従来方法の改良では不可能な高い精度を実現し、また、環境との優れた調和性を実現します。これからの製造技術が備えるべき「価値」の創造に挑戦しているのです。

本拠点では、新しいプロセスの原理を提案するだけでなく、この「価値」を共有する国内外の教育研究機関との幅広い連携によって、基礎科学から応用、融合分野の創出に至る一連の階層をつなぐグローバルネットワークプラットフォームを構築しています（図2）。これによって、広範な学問基盤と国際感覚、異分野との融合能力を備えた、次世代製造技術の開発を担う若手研究者を育成し、真の社会貢献と「高機能化原子制御製造プロセス」の深化、体系化を推進します。対象となる分野は、宇宙物理や量子ビーム科学などの基礎科学が求める極限精度の光学デバイス、次世代の極端紫外線リソグラフィ用光学デバイス、次世代電子材料基板、FPD（Flat Panel Display）、太陽電池、次世代電力・電子デバイスなど、広範囲に亘っています。



図2 本拠点が構築しているグローバルネットワークプラットフォーム

では、ほんの一例ですが、研究の紹介をしたいと思っています。私たちは、新規な製造プロセスを考案し、原子スケールで構造が制御されたX線の集光鏡（X線の波長は0.1nmレベル）を実現しました。ここでは、レーザー干渉計、X線干渉計を新たに開発し、これらを用いて鏡の形を調べます。そして、独自に開発した化学エッチング法によって、必要な場所を必要な量だけ原子単位で加工します。現在、この方法で作られた鏡だけが、波面の狂いなく放射光X線を反射し、集束させることができます。すでに、最先端の放射光施設であるSPRING-8との連携によって、世界最高分解能（7nm）のX線顕微鏡システムを実現しています（図3）。

このように、原子レベルで所望の表面を作り上げる決定論的な表面創成法によって、「究極の一品料理」が可能になりつつあります。しかし、半導体デバイス基板などは、大変な時間をかけて、たった「一枚」をつくるという訳にはいきません。産業界では、「基準平面」となるポリシャの上に磨き粉（微粒子）を撒き、微量の薬液を加えながらこすり合わせるCMP（Chemical and Mechanical Polishing）と呼ばれる方法によって、これらを生産しています。しかしながら、この方法では、実現し得る表面の性能に限界があります。私たちは、「基準平面」上でのみ化学エッチングを誘起することを考えました。これができれば、幾何学的にも結晶学的にも「究極」の精度をもった表面が、

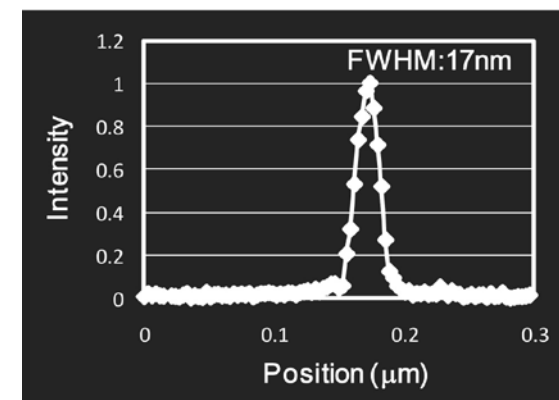


図3 X線顕微鏡で利用可能な最小の集光ビーム

短い時間でつくれる可能性があります。このためには、次の3つの条件を満たす必要があります。すなわち、①基準面上でのみ反応種がつけられ、②反応種の寿命が短く、③基準面の物性が長時間変化しない、の3つです。基準面上で反応種が作られ、その寿命が短ければ、反応種を基準面上に局在化できます。その基準面を加工物表面に近づければ、加工物表面の凸部と選択的に反応し、「基準平面」を転写する化学エッチングができます。基準面は長時間変化しないことが必要ですが、触媒作用を持つ基準面によって、これを実現できるのです。この加工法（触媒表面基準エッチング法）によって、短時間で、4H-SiC（0001）ウエハの全面を完全なステップテラス構造にすることができるように成りました（図4）。

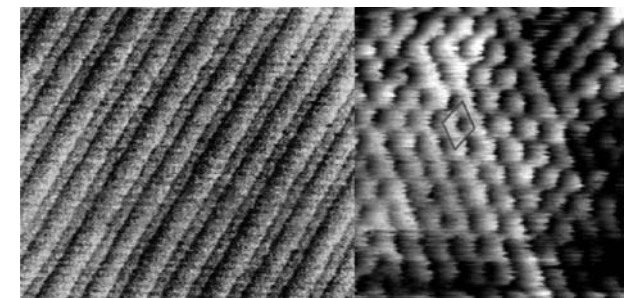


図4 (左) 触媒基準エッチングされた4H-SiC (0001) 面のAFM像（領域2 μm $\times$ 2 μm , ステップ高さ0.25 Å）(右) STMによる原子像（領域3.5nm $\times$ 3.5nm, 挿入したひし形は、1 $\times$ 1の基本ユニットを示す）

私たちの拠点の紹介に、貴重な紙面をいただき、大変感謝しております。紹介する研究例が片寄ってしまいましたが、拠点では、様々な精密加工法、計測法、物性評価法の創出、光学デバイス・機器の開発、太陽電池薄膜の形成プロセスや次世代の半導体デバイスプロセス、有機デバイスプロセスの創出に挑戦しており、その基礎を支える表面科学、計算科学のグループと強固に連携しながら、数多くの成果を発信しています。

ホームページ <http://acftgcoe-osaka-u.kir.jp/> にお立ち寄りくだされば幸いです。

（精密 昭和56年卒 58年修士）