

精密工学第五講座(特殊加工)



研究室紹介

1. はじめに

本研究室は、昭和38年に従来の精密工学科が改組拡充され、新しく精密工学科と応用物理学科が出発したのを機に特殊加工講座として発足した。現在、森勇蔵教授、遠藤勝義助手、山内和人助手という教室内でも比較的若いスタッフと、中国人留学生を含む11名の学生が、新しい加工いわゆる特殊加工の開発と加工表面の評価、言い換えれば加工と計画を二本柱として研究に取り組んでいる。

従来、加工と言えば科学技術の進歩を支える縁の下の力持ち的存在であったが、近年の急速なエレクトロニクス等の発達により、加工技術への要求はますます厳しいものとなり、それに伴い加工そのものの重要性がクローズアップされてきている。我々にとっては、大変ありがたい時代である。とはいえ、従来のように加工現象を、その複雑さのために、経験的、現象論的に理解するのは、新しい時代の要求に答えることはできない。いきおい、加工現象の取扱いも本来の意味での学問的にならざるを得ない。本研究室では、物理、化学現象を原子、電子の振舞いから基本的に理解した上で加工に応用するという姿勢で研究を行っている。また、加工表面の評価に関しても同様である。

ここでは、以下個々の研究テーマの内容を説明することで研究室の紹介としたい。

2. 研究テーマ

2.1 EEM (Elastic Emission Machining) による超精密加工に関する研究

加工とは、要求される機能を満たすような材

森 勇 蔵*

料の形状および物性を実現するプロセスである。それは、材料を除去していく加工にしる付加工していく加工にしる新しい表面を作ることによって可能になる。したがって、理想的な加工とは、材料構成の最小単位である原子オーダーで形状が制御でき、物性的にもその材料が持つ本来の性質を損なわないようなものでなければならない。このような加工法を現実のものにするためには、加工装置の高精度化だけでは不可能であり、加工を基本的な物理、化学現象から理解しなければならない。たとえば、切削、研削加工と言った機械加工では最終仕上げ面は塑性変形を利用しているため、加工によって制御できる最小単位は転位の分布間隔以下にはならない。

本研究室では、加工単位を原子単位に近づけ、しかも物性的にも優れた表面の創成を可能にするものとしてEEMを開発し、その基礎的研究と応用技術の開発を行っている。EEMとは、二種類の固体を接触させた場合、形成された界面において相互作用力(結合力)が生じ、それらを分離するとき、一方の固体表面原子がもう一方の固体表面原子を除去する場合があります。この現象を加工に応用したものを称している。具体的には、サブミクロン以下の微細粉末粒子を加工表面に無荷重状態で供給し、それを運動させることにより、上述の現象で加工表面の原子を除去して行くものである。このとき、加工領域は、粉末粒子と加工面の接触し原子間結合が生じた部分に限られ、加工深さも原子単位に近づく。

本加工法の一つの応用として、粉末供給域を位置的に制限し、しかも各点で加工量を任意に制御しながら加工対象領域を走査するいわゆる数値制御ができる図1に示すようなNCEEMを開発した。表面あらかさ5Å以下、形状精度0.01μm/100mm程度の曲面加工が可能であり、その加工表面は、MOSバラクタのC-V特性、フォ

*森 勇蔵 (Yuzo MORI), 大阪大学工学部, 精密工学科, 教授, 工学博士, 特殊加工

トルミネッセンスなどの物性的評価法においても化学研磨面と同等かそれ以上に完全であると言う結果を得ている。また、粉末の材料選択は加工特性に大きな影響を持つことから、粉末粒子にプラズマCVDで任意の材料をコーティングし粉末の表面物性を変化させることで、加工特性を制御する技術も開発している。

この研究の成果は、人工衛星のレーザジャイロ用反射ミラーやシクロトロン放射光の紫外線用ミラーの加工等において既に実用化され、科学の進歩に貢献している。

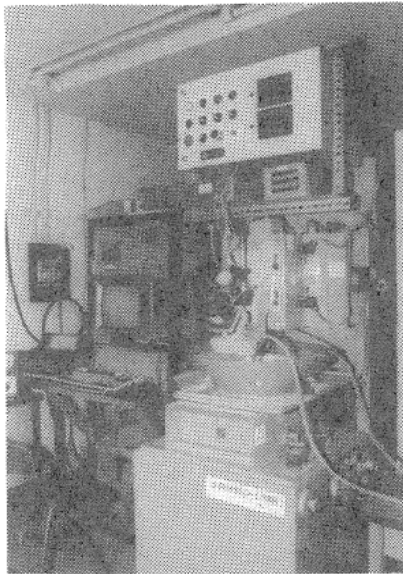


図1 NCEEM装置

2.2 超精密形状測定の研究

シクロトロン放射光の紫外線の集光用ミラーは、寸法：100mm角，曲率半径：5600mmの凹面鏡で，表面あらさ：10Å，形状精度：0.01μm/100mmが要求されている。このような部品の加工には，上述したNCEEMが有効である。このNCEEMで加工するためには，前加工面の形状を高精度で測定する必要がある。一般に，物体の形状を測定する方法に，触針式表面形状測定機，光波干渉法などがある。しかし，これらは基準面を必要とし，測定寸法，測定精度がその基準面の寸法，精度に依存し大きな寸法の物体の形状を精度よく測定することは不可能である。

そこで，光の直進性を利用し，被測定面上の各点の法線ベクトル，傾きを測定し，それを積分することにより，面の形状を求めるという測

定原理に基づく測定装置を高エネルギー物理学研究所と共同で開発した。製作した超精密形状測定機は測定面の傾きを0.2"の精度で測定でき，0.01μm/100mmの精度で三次元形状測定が可能である。現在，さらに測定精度を1桁上げ，測定の自動化をするための改良を行っている。

2.3 固体表面間の相互作用力に関する原子論的，電子論的研究

加工における工具と工作物の親和性，機械のしゅう動面における摩擦，摩耗現象，EEMにおける各種工作物に対する粉末材料の選択等において，最も基本的な物理因子は界面における原子間相互作用力である。

そこで，超高真空中での各種材料の清浄な微小表面間の相互作用力の正確な測定により原子間相互作用力を求めたところ，界面でバルク内と同程度の原子間結合が生じることが明らかになった。また，表面，界面の原子，電子状態の量子力学による解析から，各種材料間の原子間相互作用力の理論的解明を行っている。

2.4 超薄膜作製における基板制御技術に関する研究

最近，半導体，磁性材料等の薄膜化が注目され，特性の優れた薄膜の作製が望まれている。薄膜の特性は，その成長過程に大きく影響され，また成長過程は基板の表面状態に依存する。それゆえ，薄膜の使用目的に応じて，表面状態が制御された基板が必要である。

本研究室では，基板の表面制御により膜の性質をどこまで向上できるか，膜-基板間の界面現象という立場から理解しようとしている。図

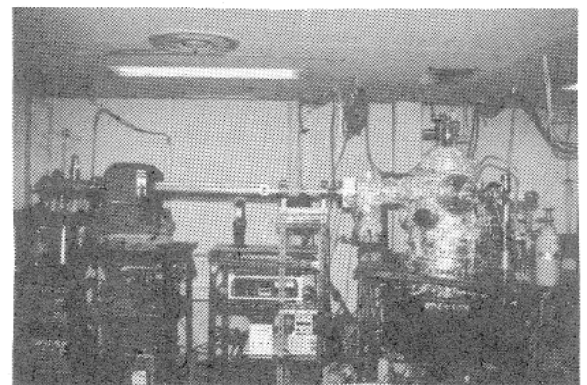


図2 薄膜作製および表面分析装置

2に本研究で用いる薄膜作製および表面分析装置を示す。現在、基板制御の手段としてイオン注入法を用い、数原子層で単結晶を保った膜の成長を可能にしようと試みている。また、作製した薄膜の透過電子顕微鏡、高速反射電子線回折、オージェ電子分光による観察も行っている。

2.5 光反射率スペクトロスコピによる極表面層の格子欠陥の測定

EEMのような超精密加工法により仕上げられた表面は、従来の観察法（表面あらさ測定、電子線回折法、X線トポグラフ法等）による結果では、それらの分解能において、幾何学的にも、結晶学的にも優れた鏡面になっている。このような完全であると思われる表面でも、極表面層の格子欠陥や不純物によって、結晶学的な乱れや、電子状態の乱れがあると考えられ、それらを測定するためには、分解能の高い測定法が必要である。しかし、既存の表面分析法では、結晶の完全性、格子欠陥の分布状態を高い精度で測定できる方法はまだ開発されていない。

そこで、光反射率が極表面層の格子欠陥の存在による電子の乱れに依存することを利用し、光反射率スペクトル測定により極表面の結晶学的評価を行っている。現在、表面に欠陥が存在することで、反射率スペクトルがどのように変化するかを、電子論的立場から理論的に解析している。また、真空中で雰囲気安定させ反射率を0.01%の精度で測定する装置を開発し、従来の評価法では検出できなかった各種超精密加工表面の違いを反射率スペクトルの差として検出できている。さらに、反射率を0.0001%の精度で測定可能な装置を開発し、表面欠陥の定量的評価をしようと試みている。

2.6 表面光起電力法（SPV）による超精密加工表面の表面物性的評価

加工表面、特に機能材料の加工表面を評価する場合、評価対象となる物理量は表面電子構造である。一般に、半導体や絶縁体の表面は、正または負の電荷を持つと、表面層にはその電荷と大きさが等しく符号が反対の空間電荷層が形成されバンドベンディングが生じる。その結果

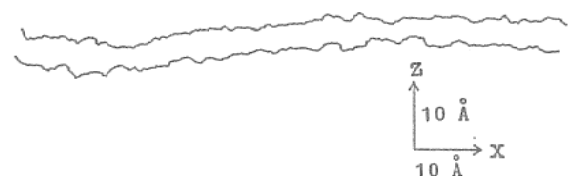
として、広い意味での表面準位を反映して表面電位が生じる。このような状態で表面に光を入射すると、表面電位を打ち消そうとするような起電力が生じ表面電位が変化する。これがSPVと呼ばれるものであり、加工などによる表面層の電子構造の乱れを反映している。

このSPVスペクトルを利用して、現在問題となっている半導体の最終仕上げ面の加工法による表面電子構造の乱れの差を明らかにしようとしている。

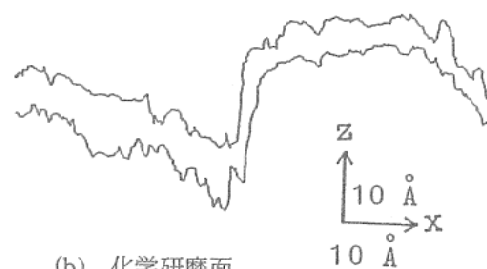
2.7 STM (Scanning Tunneling Microscopy) による超精密加工表面の原子オーダでの幾何学的形状および電子構造の評価

物質の表面に外部から高電界を与えると、表面近くに存在する電子のポテンシャルが増加し、材料内の束縛を破って電子が飛出してくる。この現象は、量子力学的トンネリング効果によって説明でき、このときの電子放出特性には、物質表面の電子構造の情報が含まれている。この現象を利用し、試料表面に電界をかけ電子放出を起こさせるための電極をチップ状にすることにより空間分解能をÅオーダにまでしたのが、最近注目されているSTMである。

本研究室では、Åオーダの空間分解能を持つ



(a) EEM 面



(b) 化学研磨面

図3 STMによるTiCのEEM面、化学研磨面の観察例

STMを製作し、超精密加工表面の原子オーダーの形状および電子構造の測定を行っている。図3が測定結果の一例である。現在触針式のあらさ計の最高峰といわれているタリスステップ（最高感度5Å）でも、その差が明らかにされなかったEEM面と化学研磨面の表面形状の違いがはっきりと分解できている。今後、超精密加工表面の電子状態の評価法として確立するべく、測定される放出電流と目的の物理量を関係づけるための理論解析も進めている。

3. おわりに

研究テーマ内容を紹介してきたが、この中から我々の研究に対するPhilosophyを理解していただければ幸いである。最後に、大学の研究室は本来若い人材を育てるための教育の場でもあることから、研究を通じて自然科学はもちろん人間としての生き方を学べる修業の場が提供できるように努めていることを申し添えておく。

