

1995~

材料界面マイクロ工学研究センター

教授 工藤 徹一 (1995~)
 教授 増沢 隆久 (1995~)
 助教授 香川 豊 (1995~1998.6)
 (現教授)

助教授 酒井 啓司 (1995~)
 助教授 光田 好孝 (1998.7~)

1. 材料界面マイクロ工学研究センターの設立と概要

平成7年4月、東京大学生産技術研究所に材料界面マイクロ工学研究センターが開設された。複合材料技術センター(昭和50-59年)、先端素材開発研究センター(昭和60-平成6年)に続く、本所における3代目の材料関連研究センターであり、物質の界面等を利用する”ソフトな”材料創成プロセスおよびこれに関連するミクロな加工・計測技術について研究するものである。

先史時代から一貫する材料開発の潮流は、プロセスの高温化、高压化、高エネルギー化の歴史と見ることができ、現在ではプラズマやビーム等の技術を用いる「極限プロセス」が追求されている。われわれが手にしている材料、素材の多くはその中から生み出されてきた。しかし、地球環境問題や資源問題という生産活動に対する制約条件を考慮すると、そのような強引ともいえるエネルギー多消費型のプロセス(=ハードプロセス)にのみ今後の材料の進歩を頼むのは到底不可能と言わざるを得ない状況にある。

本センターは、ハードプロセスとは機軸を異にする新たな材料創成プロセスの確立を目指している。それは、物質の表面や界面に作用する「自然力」を巧みに制御・活用して、レゴ細工でもするように、比較的穏和な条件下で原子や分子の秩序、組織を構築するというソフトなプロセスである。このソフトプロセスを工学として体系化し、21世紀の材料の進歩に寄与することがこのセンターの目的である。そのため、材料工学、界面物性工学および微細精密加工工学の分野が、連携・共同して以下のような研究を行っている。

2 センターの研究

2.1 高次マイクロ機能材料分野

工藤研究室

工藤研究室では、新しい金属酸化物クラスターを用いる独自のソフト化学により、薄膜も含めた新規材料の創成を行い、それらの機能、特に、光関連機能と高性能電池を念頭において電気化学的機能について評価している。

(1) スマートウィンドウ(調光窓)材料

酸化タングステンの薄膜を電気化学的に還元酸化すると可逆的に着消色する(エレクトロクロミズム)。これを建物や自動車の窓に用いると明るさの制御が可能ばかりではなく省エネルギー効果が期待される。従来は電子線蒸着などで形成されてきたが、当研究室では、酸化タングステン

クラスター溶液を用いることにより、大面積膜に適する湿式形成技術を開発した。一方、酸化バナジウムは転移温度を境に近赤外線(熱線)の透過率が変わる(サーモクロミズム)。これについても薄膜の湿式形成法を研究しており、既に、室温転移の膜の開発に成功している。

(2) イオン伝導材料

リチウムイオンやプロトン伝導性固体電解質材料をソフト化学的手法で合成している。とくに、金属酸化物クラスターの重合体をベースとする非晶質プロトン伝導体については、中温型電気自動車用燃料電池の開発を目指し、NEDO 提案公募研究として推進している。

(3) リチウム電池正極材料

リチウムイオン電池の普及はめざましいが、これの更なる高性能化、あるいは、高容量大型化、あるいは、マイクロ化を目的として、新しい正極材料(つまり、リチウムのホスト材料)の合成・評価を行っている。とくに、バナジン・モリブデン系混合酸化物クラスターは薄膜あるいはマイクロリチウム二次電池を可能にするものと期待される。

香川研究室(平成7-10年6月)

香川研究室では纖維強化型複合材料の界面と界面の関与する特性についての研究を行っている。また、界面力学特性の定量評価・解析と複合材料破壊過程と界面力学特性の相関性についてモデル材料系を用いて最適な界面力学特性を調べている。最近では、この基礎研究の結果を工業材料系へ応用することも試みている。

(1) 複合材料の界面力学特性

纖維強化セラミックス及び金属基複合材料の界面特性を測定する手法の開発と測定される結果を用いた界面力学特性設計を行った。具体的な測定手法としてはプッシュアウト、プッシュイン、プルトルージョン法などを開発し、SiC 繊維強化ガラス、SiC 繊維強化 SiC および SiC 繊維強化 Ti 系複合材料の評価を行った。実験的に室温~1000 K の温度範囲で界面剥離エネルギー開放率や界面せん断滑り応力を分離して求めることが可能になった。これらの結果は複合材料の研究・開発時に従来の定性的な解釈ではなく定量的な複合材料界面力学特性の評価を可能にした。

(2) クラック、界面、纖維間の相互作用

クラックが纖維に近づくときに生じる現象をガラス纖維強化プラスチックス、SiC 繊維強化ガラスなどのモデル材料系を用いて三次元的に調べた。クラック先端での界面剥

離挙動、剥離現象とクラック進展挙動の安定性などについてその場観察を行う手法を開発し、界面の部分剥離など従来のモデルでは考慮されていなかった現象を始めて明らかにすることことができた。同時に、その場観察の結果をもとに境界要素法や有限要素法を用いて相互作用が生じている場合の複合材料中の応力ひずみの状態を解析した。これらの結果から、三次元的な相互作用を明らかにすることに成功し、従来の二次元モデルの問題点を指摘することができた。これらの結果により、界面力学特性と相互作用を関連させて定量的な評価解析を行うことを可能にし、SiC織維強化SiCなどの工業材料系の破壊現象解明に役立っている。

光田研究室(平成10年7月~)

光田研究室においては、薄膜形成プロセスの最適化と薄膜堆積過程の解明を目指した研究を行っている。特に、熱力学的には高温高圧環境下でのみ安定なダイヤモンドの低圧気相合成と、本質的には高温結晶化プロセスを必要とする強誘電体複合酸化物結晶の低温形成を中心に進めている。

(1) ダイヤモンド膜の低圧気相合成

マイクロ波プラズマCVD法を用いて、炭化水素を原料気体としてダイヤモンド膜を堆積している。現在、同軸円筒型共振器を利用したマイクロ波プラズマの発生法の開発に取り組んでおり、直径100mm程度の基板上に堆積を試みている。また、低圧環境下におけるダイヤモンド成長の反応機構の解明のために、紫外可視発光分光分析や紫外吸光分析を用いたプラズマ診断ならびに熱力学的平衡計算等を行い、成長機構のモデル化にも取り組んでいる。

(2) チタン酸バリウム薄膜の低温結晶化

焼結体ターゲットを原料として外磁場型高周波スパッタリング法によりチタン酸バリウム膜をシリコン基板上に堆積している。堆積中に基板にも高周波を印加することにより基板に自己負バイアスを印加して、堆積表面にもイオン衝撃を加えると、衝突するイオンの運動エネルギーにより逆スパッタリングや表面拡散が促進され、低基板温度でも結晶膜が得られる可能性がある。現在、基板温度300℃において、比誘電率100程度の結晶膜が得られている。

(3) ニオブ酸リチウム結晶膜の高速合成

二酸化ニオブと酸化リチウムを独立に電子ビームにより溶解蒸発させると同時に、基板に印加された高周波によりプラズマを発生する多元イオンプレーティング法によりニオブ酸リチウム膜を堆積している。原料の蒸発速度と基板に衝突するイオンのエネルギーを制御することにより、結晶性の薄膜がおよそ20nm/sという高速で得られている。

2.2 マイクロ加工・計測分野

増沢研究室

増沢研究室では材料の表面に特定の機能を持たせるためのマイクロ加工技術、およびマイクロ加工により得られる微細な形状の精度評価を行うための測定技術に関して、開発的研究を行っている。マイクロ加工の手法には大きく分けて工具を用いる加工法群と、マスクを用いる加工法群とがあるが、当研究室では特に微細3次元形状の生成に有利と考えられる、工具を用いる種々の加工法について、微細限界の拡張、加工精度、加工能率の向上等の基礎技術の革新を目指している。また測定技術に関しては、STM、AFM等のナノ測定技術と、従来型の触針式または工学的形状測定法の対象外として取り残されている高アスペクト比凹形状(実際にはこのような形状は非常に多い)の測定に対応できる新手法の開発に力を入れている。主なテーマと成果を以下に例示する。

(1) マイクロ放電加工による微細金型加工

表面加工であっても、型を用いる転写加工は生産性の点で最も効果的な方法の一つである。しかし、強靭な金型材料に対し微細な形状、パターンを3次元的に彫り込むのは従来の切削等では困難である。そこで、EDMを適用し、かつその場合の問題点である電極消耗による形状崩れを解決する均一電極消耗法を開発した。これにより100~200μm程度の寸法からなる複雑なマイクロ形状の金型作成が可能となった。

(2) 超音波加工、切削加工、塑性加工等による各種材料のマイクロ加工

対象とする材料が異なると加工手法もそれに最適なものを選ぶことが必要となる。金属以外の材料に対しては放電加工の適用が難しいため、硬脆材料に対しては超音波加工、プラスチック材料や複合材料に対しては切削、塑性加工などで対応する必要があり、それぞれのマイクロ化に挑戦している。超音波加工では工作物を加振する新しい加工形式を開発し、ガラスに対し放電加工のみの直径5μmの穴加工に成功している。

(3) 微細形状の測定

アスペクト比の大きい微細な凹部の形状測定を実用的なスピードで、かつ非破壊で行うために、電気的接触検知をベースとし、それにプローブ加振による安定化を施した新しい形状測定法、バイブルスキャニング法を開発した。そのまま適用可能な金属材料から、さらに非導電体にも適用可能とするために、プローブを2本用いるツインプローブ法に発展させると共に、そのためのマイクロプローブ作成技術の開発も行っている。

2.3 界面表層マイクロ工学分野

酒井研究室

酒井研究室では溶液や液晶、高分子やゲルなどソフトマテリアルの表面現象の研究を行なっている。なかでも光や表面波を用いた新しい表面スペクトロスコピー法の開発、およびこれを用いた表界面物性の研究が二つの大きなテーマである。

(1) 界面マイクロ現象と表層分子素過程

近接場光を利用して、界面から数10 nmという極めて薄い領域の分子・粒子の並進・回転拡散現象を測定する装置を開発した。現在、界面への分子吸着・脱離ダイナミクスの研究への応用を試みている。

(2) 2次元凝集体の相転移と臨界現象

リプロン光散乱法や、収束型偏光解析法といったソフトマテリアル表面の分子一層分の膜を観察する手法を開発し、ラングミュア膜など2次元物質の相転移と臨界現象の

観察や、液晶表面に形成される特異な分子集合体の構造研究を行なっている。

(3) ミクロ不均一系の構造とダイナミクス

メゾスコピックなサイズで複数の相がランダムに存在する系としてエマルジョンやラテックスがある。これらはフォトニック材料などへの応用が期待されている。ランダム系に特有に現れる波動の弱局在現象や、拡散的波動伝搬現象を利用して、ミクロ不均一系の構造と物性を調べる新たな手法の開発を行なっている。

3 センターの対外活動

当センターは、材料科学の新分野（ソフトプロセス工学）の中核として、その研究の輪を国内外に広げてゆくことも重要なミッションである。年1~2回の研究集会を開催し、関連分野の研究者とひろく交流するとともに、2年ごとにセンターの研究成果を集めた論文集を刊行している。