

ぜひともお願いいたします。

## 放 射 線

高エネ研 齋 藤 究

放射線分科の講演は9月2～5日の4日間で開かれ、53件の講演が行われた。一昨年の講演件数は58件、昨年は86件であり（いずれの講演件数も講演取り消しの件数を除く）、今回の講演件数は減少気味であるが、放射線分科会によって企画されたシンポジウムが2テーマ開催され、連日活発な議論が交わされた。

中分類分科ごとに講演件数を見ると、「1.1 放射線物理一般・検出器基礎」の講演件数は40件（講演取り消しが1件）、「1.2 放射線発生装置・新技術」は3件、「1.3 放射線応用・新技術」は10件であった。「1.2 放射線発生装置・新技術」の件数が少ないのは、プログラム編集の時点で、「1.1 放射線物理一般・検出器基礎」での講演のほうが適切であると判断した講演があったためである。しかしながら、「1.1 放射線物理一般・検出器基礎」に講演件数が偏っているのは事実であり、各中分類分科をおのおの成り立たせるためにも、各中分類分科のキーワードの整理は必要であると感じた。

「1.1 放射線物理一般・検出器基礎」の講演の前には、JJAP 論文奨励賞受賞記念講演と講演奨励賞受賞記念講演が行われた。JJAP 論文奨励賞は、CR-39を使用した超重核飛跡検出器を開発し、超重核の同位元素弁別能力を大きく改善することに成功した論文に対して授与されたものである。放射線関連のJJAPへの投稿は多くはないが、今回の受賞をきっかけに、活発なJJAPへの投稿を期待する。講演奨励賞受賞記念講演は、化合物半導体放射線検出器であるTlBr検出器を実用化するうえで問題であったポラリゼーション現象を、電極とバイアスのかけ方の工夫により抑制するという、実用上、非常に興味深い内容であった。ほかの化合物半導体放射線検出器についても（ほとんどがCdTe半導体検出器であるが）、その優れた特性から、実用化に向けた基礎的な特性の研究、イメージング・エネルギー弁別への応用について多くの講演があり、化合物半導体検出器への期待の高さがうかがえる。化合物半導体検出器のほかにも、講演は、シンチレーター・蛍光体・熱蛍光体の開発と基礎物性、組織等価比例計数管の開発、カロリメーターの開発、中性子発生装置開発、化学型弁別型放射能検出器の開発と多岐にわたる。中性子を測定対象とする検出器に着目しても、シンチレーターの開発と物性に関する研究、中性子飛来方向測定装置開発・中性子イメージング検出器開発とさまざまであった。

「1.2 放射線発生装置・新技術」ではレーザーコンプトン散乱ガンマ線による陽電子源の開発、チタン・サファイアレーザーを用いた短寿命核ビーム源の開発、高エネルギー

イオンビームによるナノワイヤの形成に関する講演が行われた。特に高エネルギーイオンビームを用いた微細加工に関連しては、放射線分科会の企画による「高エネルギーイオンビームを用いたナノ・マイクロ構造創製技術とその応用」というテーマでシンポジウムが企画され、今後のこの分野の研究の広がりが期待される。

「1.3 放射線応用・新技術」では、小動物用PETや生体に近接する部位別PETの開発に向けたイメージング法の研究、細胞のX線照射実験用のマイクロ細胞チップの開発といった、医学応用・生物学研究へ向けた新技術開発についての発表があった。また、X線CTを用いた材料識別・原子番号識別への応用に関する講演があり、非破壊検査の高度化の重要性を認識した。宇宙放射線線量計の開発では、今回は件数としては減少したが、着実に開発が進行しているという印象であった。また、陽電子消滅法による物性研究に関し、物質に陽電子を打ち込むのではなく、レーザーコンプトン散乱ガンマ線を用い、物質深部で陽電子を発生させ、陽電子消滅法による物性研究を行おうという非常に興味深い報告があった。今後の発展に注視したい。

本報告は緒方良至（名大）、人見啓太郎（東北工大）の各氏のご協力により作成した。深謝いたします。

## 計 測 ・ 制 御

情通機構 花土 ゆう子

計測・制御分科は、精密計測の新手法および新たな材質の開発、計測の信頼性を支える物理量標準の研究など、先端科学の基盤となる計測技術の研究を対象とする。

「2.1 計測・制御技術」では、「安全・安心を支える計測制御技術」というテーマで2件の分科内招待講演を行った。1件は降雨センサーを搭載した観測衛星による地球規模での雨の観測、もう1件は紫外放射の計測と生物への影響評価、についてであり、分科内の主な講演とは異なる分野からの研究紹介ということで新鮮な講演であった。

「2.1」の一般講演においては奨励賞受賞記念講演を含む10件の発表があり、活発な討議が行われた。今回は、イオン交換膜によるイオンセンサー、真空加熱炉内での温度センサー、従来品の感度を大幅に上回る磁気センサー、燃料電池をターゲットとしたメタノール濃度センサー、蛍光物質を利用した温度センサーなど、各種センサー開発の講演が多数を占めた。素材と手法の両面から、多様なセンシング技術の研究が進展している。制御に関しては、半導体位置検出素子を活用した変位計測システム、および微量液体制御に関する講演があった。

「2.2 精密計測・ナノ計測」においては、14件すべての発表をポスターで行った。ルビーなどの蛍光物質を利用した温度センサーについては、こちらでも5件の発表があり、各種素材開発および特性評価結果が紹介された。希土類添

加酸化チタン薄膜の発光現象は磁場センサーへの応用が期待されており、こちらも素材の研究が進展している。また、電気化学センサーのカーボン電極に代わる素材として期待される、繊維状ナノ炭素複合体の形成技術の発表などがあつた。測位に関する精密計測技術としては、微小力学系を用いた超高感度変位干渉計、半導体レーザー励起薄片自己混合固体レーザーによる多点・多次元実時間計測、の発表があつた。

「2.3 計測標準」では、各種物理量の基準に関する20件の講演があつた。直流電圧の一次標準器であるキャリブレーター校正機能の向上、燃料電池開発などで必要とされる高湿度標準の開発、放射輝度校正に関する講演があつた。光パワーメーター関連では3件の発表があり、一方では高出力レーザーへの対応、他方では光ファイバー微弱光への対応、また波長依存性の評価などが紹介された。光領域の標準は、今後、需要を増すと思われる。時刻・周波数標準については、標準時、時刻比較、マイクロ波領域の一次周波数標準器の講演が各1件ずつ、他11件は光標準関係の講演であつた。光周波数標準開発は着実に進展しており、次世代の周波数標準として注目される。また、光ファイバーによる標準信号伝送技術も、今後さらに重要度を増すと思われる。

「2.3」ではまた、解説論文賞受賞記念講演「非線形音響と超音波エレクトロニクス—現状と将来展望—」が行われた。超音波による非線形音響効果を用いた技術について、歴史的経緯から原理の説明、製品への応用に至るまでの概要が紹介された。

全体を通して、分科発足当時に比べ発表件数も大幅に増え、継続的に発表されるテーマも増してきた。今後、より多くの聴衆を集めるための方策を検討したい。ポスターセッションは今回初の試みであつたが、他分科の方々との議論も活発に行われ、大変よい感触を得ることができた。

## 光

大阪市大工 宮崎大介

「3.1 物理光学・光学基礎」では、10件の発表が行われた。そのうち5件は、軸対称偏光ビームやらせん状等位相面をもつ光渦ビームに関する講演であり、この研究が活発になっていることがうかがわれる。特に北大の上野らは、光渦を用いて、半導体中励起子の位相緩和計測のデモンストラーションを行い、その物性計測の可能性を実証する興味深い講演を行った。例年にも増して活発な質疑応答が行われ、活気のあるセッションとなった。(原口雅直)

「3.2 材料光学」では、11件の発表があつた。大まかには、ホログラムや光記録に利用できる光学材料と、微細構造がもたらす光学特性に分類され、午後の前・後半に分けて開催された。前半はホログラム記録方法、ナノ粒子を分散さ

せた光学材料に関するものなど、記録材料を中心に報告があつた。後半は、表面微細構造による波長選択性放熱、光導波路ディスプレイなど、微細構造をキーワードにさまざまな報告があり、活発な質疑が行われた。(物部浩達)

「3.3 機器・デバイス光学」は初日の午前中に10件の一般講演が行われ、大学から6件、企業から4件の発表があつた。各講演それぞれ質疑応答も活発に行われ、関心の高さがうかがえた。内容は多岐にわたるが、サブ波長構造に関するさまざまな応用研究、多層構造導波型レンズなど、従来からの進展がうかがわれるものや、焦点距離切り替えを高速化する液体レンズなど新規デバイスに関する講演も目を引いた。(広瀬直樹)

「3.4 計測光学」では、2日間で28件の講演があつた。従来、当分科では干渉計測や偏光計測が中心的議題であつたが、減少傾向にある。一方、環境計測に関する報告が増加傾向にある。また、収光度測定を利用した海苔原藻色素含有量の測定や、彩色具の分析のためのLED蛍光分析など、特殊な用途の報告がなされた。測定対象、計測手法ともに多岐にわたり、利用波長も紫外からテラヘルツまで幅広い。反面、専門的に掘り下げた議論に欠ける面がある。今後、広い視野での情報収集の場として意義を高めるため、発表者は聴講者の専門性を意識する必要がある。(尾藤洋一、岡村秀樹)

「3.5 情報光学」の講演会は、ショート講演とポスターセッションの形式で行われた。発表件数は例年とあまり変わらず23件であつた。三次元画像の取得・再生、相関演算やホログラフィーを用いた情報処理、ホログラフィックメモリー、光の特性を用いた情報セキュリティーなど、情報の取得・処理・記録・表示をカバーする幅広い研究が報告された。また、情報処理にDNAの光応答を利用するなどの新しい概念が登場してきている。(宮崎大介)

「3.6 視覚・色彩」と「3.7 生体・医用光学」は、初日の9時から6時に合同セッションを設けた。発表件数はこのセッションで最多の31件となり、会場もほぼ満席で立ち見が出るほど盛況であつた。これは近年、この分野が急速に発展を遂げてきていることの表れであろう。午前には理研の磯部氏による講演奨励賞受賞記念講演が、午後には日立の佐藤氏による解説論文賞受賞記念講演があり、大変興味深い内容で講演後も活発な議論が交わされた。(松浦祐司)

「3.8 近接場光学」は、3日目に30件の講演があつた。長時間のセッションであつたが、立ち見が出るほど盛況で、活発に議論が行われた。今回は、金属構造関連26件と集中したが、他も合わせ、微細構造作製、エネルギー移動、導波と集光、SERSや非線形光学の増強、センシングなど、作製から利用とバランスのよい構成であり、今後も幅広い展開が期待される。また、メタマテリアルへの展開の模索が数件あり、今後、この方面の発表も期待される。(田丸博晴)

「3.9 光学新領域」では、数年ほど、アルカリ金属ガスを光ポンピングした磁気センサー、あるいは光トラッピングを軸としている。これ以外では、今回は近接場効果を応用

した効率50%を超える偏光板が新しいデバイスとして提案され、物理的解釈への興味から関心を集めた。10件のうち5件が光放射圧に関する研究で、その他5件が磁力計・プラズモン下の量子ドット・ランダム構造共振器・近接場偏光板であった。(古川祐光)

## 量子エレクトロニクス

情通機構 寶 迫 巖

「4.1 量子光学・原子光学」では、量子通信と量子光学に関する講演がなされた。量子暗号関連では、差動位相シフト量子鍵配送の安全性をより強化する新プロトコルが提案された(阪大)。また、通信波長帯の単一光子検出器に関して、日大によるAPDの1GHz正弦波ゲート駆動による単一光子検出、およびNTTによる低雑音の周波数上方変換型単一光子検出の2件の注目すべき発表があった。量子光学の分野では、日大と物材研によるType-II型PPLN導波路を用いた偏波もつれ発生に関する発表が注目を集めた。一方、量子力学の基礎に関する発表として、光路識別によって干渉縞が出現する「量子反消去」の系が、東大により提案され、会場内でも活発な議論を呼んだ。

「4.2 フォトニックナノ構造・現象」の総発表件数は、56件であった。大面積レーザー/微小レーザー開発・応用、三次元構造、メタマテリアル/プラズモン、Si発光デバイス、C-QED、スローライト、ナノ共振器への光トラップ/リリース、新規共振器構造などの多彩な報告がなされた。

「4.3 レーザー装置・材料」では、ファイバーレーザー、Yb系固体レーザー、セラミックス材料、ならびに軸対象偏光ビーム発生に関する講演が多くあり、印象的であった。また、紫外域および赤外域の固体レーザー、ガスレーザーの報告などがあり、活発な議論が行われた。

「4.4 超高速・高強度レーザー」では、ファイバーレーザーなどの各種超短パルス光源、超高速光制御・計測技術、光周波数コムなどに関する研究、ならびに、数サイクルレーザーパルスの高強度化、原子・分子との相互作用に関して活発に議論された。

「4.5 テラヘルツ全般・非線形光学」では、非線形波長変換およびテラヘルツをキーワードとした発表が行われた。非線形波長変換では、中赤外パルス発生などの発表があった。またテラヘルツ関連では、初日の高強度テラヘルツ波発生に関するシンポジウムに引き続き、テラヘルツ波発生・分光・デバイスなど幅広い分野の講演があり、おのおの着実な進展が見受けられた。特に今回、テラヘルツ光の強度変調やビーム走査など、テラヘルツ光の通信などへの応用に際して重要となる技術についての発表があり、注目に値する。

「4.6 レーザー分光応用・計測」では、水素ガスの遠隔計測、CO同位体分子種の観測、CO<sub>2</sub>計測用ライダー、インコ

ヒーレントドップラーライダー、白色光ライダー、超高速光異性化計測、励起状態制御、磁気複屈折性の高感度計測、共鳴フォークト効果の検出、<sup>3</sup>He原子の核スピン偏極、EUV-FEL光の高次光分布測定、ジルカロイ中の重水素分析、半導体原子や半導体微粒子分散ガラスの精密分光など、19件の興味深い研究報告がなされた。

「4.7 レーザー・プロセッシング」では、40件の講演が行われた。若手研究者・大学院生による発表も多く、全体の約1/4が講演奨励賞の候補であった。分野としては、フェムト秒レーザープロセスに関する講演が約1/3を占め、また、液相アブレーションやレーザー誘起衝撃波応用などの比較的新しい分野の講演件数が増加した。

## 光エレクトロニクス

NTTフォトニクス研 美野真司

本分科の総発表件数は186件であり、前回2008年春季応用物理学関係連合講演会より9件増加した。今回、「5.1 半導体レーザー・発光/受光素子」はポスター発表であり、また各中分類分科で招待講演が行われた。分科内招待講演は、その分野の全体像、最新動向を示していただき好評であるので、今後も積極的に行っていききたい。

「5.1 半導体レーザー・発光/受光素子」は、ポスター発表として47件の報告があった。光通信波長帯のレーザー/変調器では、AlGaInAs系の40Gbit/s直接変調DFBレーザーや、43Gbit/s EA変調器集積DFBレーザーなど、高速化が着実に進められるとともに、完成度の向上がうかがえる。可視発光素子では、白色LEDに関連した報告が継続して行われ、また7.2Wと高出力な赤色半導体レーザーアレイも報告された。量子ドット(QD)関連ではQD-DFBレーザーなどの報告があり、QDの特長を生かしたデバイス応用への取り組みが継続的に行われている。VCSEL関連では、20Gbit/s超の高速変調特性と高信頼性を有する素子や、多波長VCSELアレイと集積可能な光合波器などが報告された。量子カスケード(QC)レーザー関連では、新しい励起法に基づく8 $\mu$ m帯QCレーザーの発振動作の報告など着実な進展が見られる。

受光素子関連の発表件数は11件で、ここ数年一定の投稿数を保っている。特徴ある報告として、従来の共振器装荷InGaAs PIN-PDやInAlAsを増倍層とするAPDの単一光子検出や、傾斜Si基板上Ge-PDなどによる1 $\mu$ m帯通信の特性向上、またZnSSe APDや $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>によるショットキーPDなどの青・紫外域への試みがあげられる。サブミリ波用高純度GaAsについても、引き続き発表がなされた。APDの新たな過剰雑音評価法やSi-APD2格子吸収によるピコ秒偏光・チャープ測定など、新たな測定法の提案も行われた。

「5.2 光記録」では、日本女子大・渡邊先生による招待講

演「ホログラフィック超高速光相関システムの画像・動画識別システムへの応用」を含め16件の講演が行われた。次世代光メモリーとして、ホログラム記録では媒体収縮の解析やページ記録の選択消去などの実用化に向けた課題に関する報告や、ポリウムメモリーへの空間ソリトンの応用など新たな要素技術への取り組みが進んでいることがうかがえた。

「5.3 光制御」は90件と全体の約5割を占めている。Siフォトニクス関連では、招待講演として、東大の深津先生から、Si発光を中心にSiフォトニクス全般の最新動向の紹介があり、また中国、清華大の黄(Huang)先生からSiナノ結晶の表面プラズモン励起発光に関する精力的な研究成果の報告が行われた。また、Ge PDのアニール温度の低減、Ge MOSFETへの集積化に関する発表や、InP DFBレーザーの大気中低温接合の有効性を示す発表があり、Siフォトニクス実現に向けた技術が着々と開発されつつある。

誘電体導波路関連では、各種光導波路の作製、実装、評価全般にわたり、基礎から応用まで幅広く報告が行われている。その中で微細化、高機能化が着実に進展している。また、導波路型光アイソレーターに関する発表も盛んに行われた。最初に招待講演として、東工大の水本先生から、導波路型光アイソレーターの開発の経緯と最新の成果である、ガーネットのSi導波路への直接接合によるアイソレーターの製作について報告があった。さらに、その後、非相反デバイス関連の設計、提案の発表が行われた。またポリマー導波路関連では、ポリマーの特長を生かした、光誘起自己形成光導波路の報告が盛んに行われ、応用に向けて進展している印象を受けた。また、光誘起屈折率変化 $\Delta n$ が0.4と大きい材料が紹介され、注目を集めた。そのほか、光制御関連の超短パルス光の計測や、光波形整形などで興味深い報告が行われた。

半導体、非線形関連では、光スイッチ/光導波路デバイスなどについて発表があった。非対称結合量子井戸構造を用いた低電圧駆動可能な位相変調素子、サブバンド間遷移を用いた超高速全光位相変調素子、多機能化を目指した多モード干渉計型光スイッチング素子などに関する発表があった。

強誘電体関連では21件の発表があった。招待講演では、物材機構・栗村氏から分極反転波長変換デバイスの最新動向と展望についての報告があり、多くの聴衆の注目を集めた。一般講演では、レーザーTVへ向けた数W級高効率波長変換デバイスが報告され、活発な議論がなされた。LN-QPM相関光子対生成デバイスや副格子エピタキシーQPMデバイスにも着実な進歩が見られた。ダイシングソー加工による超薄板LNを用いたQPM-SHGや超高速二次元偏向器の報告もあった。今後の展開が注目される。デバイス応用の報告も多く、分極反転技術の広がりが強く感じられた。

「5.4 光ファイバー」では33件と前回の24件を大きく上回り、直近の3年間でも最多件数の発表があった。これは、

センサーなどの光ファイバー応用技術(今回は、ヘテロコアファイバーによる提案が目立っていた)に加えて、空孔構造により、低曲げ損失のPOFや新しい波長帯域(1.0 $\mu\text{m}$ 帯)で使用可能な石英ガラス系ファイバーのような、新しい光ファイバーの提案が出てきたことが大きい。また、高出力レーザーのキーパーツである希土類添加ファイバーでは、複数の機関からフォトダークニング解消に向けた検討が報告されており、この問題に対する関心の高さを示している。さらに、光ファイバーの非線形特性に関しては、計測器用途から超短パルス光源まで広い範囲にわたる報告があった。以上のように、報告の内容が多岐にわたるようになってきており、光ファイバー分野が活性化してきていることがうかがえる。

本稿をまとめるにあたりご協力いただいた、須藤、宇高、入江、李、村田、八木、各委員に深謝いたします。

## 薄膜・表面

物材機構 小 泉 聡

「6.1 強誘電体薄膜」では、講演奨励賞受賞記念講演を含む77件の発表があった。昨年秋が63件、今年春が65件であり、増加傾向にある。また、今回は関連シンポジウムとして「強誘電体360度エクスプローラー」が行われ、盛況であった。内訳はPZT関連15件、Bi系およびマルチフェロイック関連28件、強誘電体ゲートトランジスタ関連13件、高誘電率材料関連10件、電極材料その他11件となっている。今回、BiFeO<sub>3</sub>系および、まだ件数は少ないがメモリー応用を想定した有機強誘電体関連の件数増加が目立つ。PZT関連では極薄膜の評価、ドメインスイッチングが、高誘電率材料関連ではリークメカニズムが中心に議論された。また、PLZTチューナブルフォトニック結晶フィルターやLiTaO<sub>3</sub>単結晶を用いる高密度記録なども、着実に進歩していると感じた。

「6.2 カーボン系薄膜」では、70件のポスター発表が行われた。ダイヤモンドに関するものは28件で、前回に引き続き、電子デバイス関連が大部分を占めた。基礎に立ち返り、デバイス特性を深く議論する発表が数多く見られた点は好ましい。不純物ドーピング、ヘテロエピタキシーなど、デバイス基礎研究の流れは健在である。一方で新たな研究の流れ、広がりが見えにくいのは少々寂しい。非晶質炭素、B-C-N系薄膜に関する講演は42件で、うち炭素系29件、窒化物系、グラフェンなどが13件であった。今回は、成膜時のプラズマ分析、成長速度の検討やSEM、TEM、XPS、熱分析などを用いた膜特性の詳細な検討がなされた点が特徴であった。また、グラフェン、hBN成長についても興味深い結果が示された。太陽光発電素子への応用を目指した発表も数件見られた。

「6.3 酸化物エレクトロニクス」では、材料の物性から、

デバイスの定量的な評価に研究の力点が移りつつある印象を受けた。特に、電界誘起で巨大ゼーベック係数を実現するデバイスや、界面の制御で電子伝導を発現させたデバイス、ReRAM 関連材料、新規の磁性体や誘電体など、今後の酸化物エレクトロニクス発展を期待させる研究発表が見られた。酸化物 FET は特に注目度が高く、有機半導体関連の研究者の参加も多く見られた。In-Ga-Zn-O 系薄膜トランジスタ研究はデバイス開発ステージに近く、聴衆も企業の研究者が多かったようだ。また、透明導電膜としては、Ta ドープ SnO<sub>2</sub> 単結晶薄膜をレーザー-MBE で TiO<sub>2</sub> 基板上にエピタキシャル成長させ、単結晶 ITO 薄膜同様の低抵抗率が得られた発表、および強磁性透明導電膜として、スパッタ法で低抵抗の Mn ドープ ITO 薄膜が得られている発表があり、透明導電膜の新たな展望が開ける報告であった。

「6.4 薄膜新材料」セッションは例年、講演内容が薄膜材料のプロセス、物性、評価技術と多岐にわたり、比較的自由的な雰囲気がかつ活発に討論が行われている。当該セッションはその性格から、薄膜材料の性能や品質の向上といった内容の発表は少なく、新しい薄膜評価技術の開発や薄膜成長過程の基礎科学、装置開発など、将来の薄膜科学の要素技術を基礎学理の立場から追求するといった先進的内容の発表が多い。今回では東工大グループのイオン液体薄膜の傾斜構造構築や産総研グループの TiO<sub>2</sub> 薄膜のマイクロナノ構造構築などの講演に見られるように、薄膜材料への高次構造導入による機能開拓といった新しい潮流が生まれつつあり、注目を集めた。また応用研究では、産総研グループの調光ミラーなど斬新なアイデアを含むものも見受けられた。

「6.5 表面物理・真空」では、昨秋に比べ7件増加し、48件（講演奨励賞申請5件）の報告があった。報告対象は、この分野の境界領域的な性格を反映して、物質・現象・手法のいずれにおいても、表面現象に関する基礎研究から製膜技術・触媒などへの応用を強く意識したもので多岐にわたった。これまでに引き続き、Si 表面におけるナノスケール構造・吸着構造や酸化・シリサイド化などの化学過程に関する研究と、ナノ構造や薄膜の磁性的特性についての発表が多数あり、活発な議論が展開された。また、デバイス用酸化物やグラフェンの評価に関する発表と、硬 X 線を含め放射光を用いた分析や、第一原理計算を用いた物性予測や表面・界面現象の研究が増加する傾向が見られた。

「6.6 プロープ顕微鏡」では、前回春の講演会 57 件（講演奨励賞受賞記念講演 1 件を含む）より若干減少し、47 件の報告があった。装置や測定法の改良や開発に関する研究と、顕微鏡を用いた物性測定や加工に関する研究とがほぼ半数ずつあり、応用研究の対象は、金属、半導体、誘電体、生体分子、細胞など多岐にわたった。フォースマッピング法を用いた探針・原子間相互作用の精密測定、液中における AFM の高分解能 DNA イメージング、高速 AFM 装置の開発に関する講演では、高精度化・高分解能化・高速化

において著しい向上が見られた。また、STM 探針を用いたフラーレン分子への超高密度記録では、2 nm 四方に 1 bit という高い記録密度が報告された。講演奨励賞への審査希望は 7 件あり、若手研究者の顕著な活躍が見られた。

本報告作成にあたり、各プログラム委員に担当中分類の報告を執筆していただいた。ここに感謝いたします。

## ビーム応用

和歌山大 篠塚雄三

ビーム応用分科の総講演件数は、153 件であった。昨年秋の 186 件と比較して減少したものの、一昨年の 156 件とほぼ同数である。減少の理由は、関連するいくつかの国際会議が同時期に開催されたためと思われる。以下に、中分類分科ごとに講演会の内容を報告する。

「7.1 X 線技術」(24 件)では、極紫外から硬 X 線にわたる光学多層膜技術、薄膜分析技術、イメージング技術、プラズマ光源技術などの進展が報告された。プラズマ光源では光学素子損傷の原因になる飛散物質（デブリ）への対策が重要課題であり、これまでイオン成分の抑制法および除去法が盛んに議論されてきた。本講演会では、中性デブリの挙動計測の報告と除去方法の報告に注目が集まった。軟 X 線多層膜技術に関する講演奨励賞受賞記念講演が 1 件含まれる。

「7.2 電子顕微鏡、評価、測定、分析」(18 件)ではスペクトロスコーピー関係の講演が多くなされ、国際結晶学会のサテライトミーティング（名古屋大学）と日程が重なったにもかかわらず、講演件数の目立った減少はなく、大勢の方にご参加いただいた。Au ナノ微粒子の触媒作用発現メカニズムの解明を目的とした電子顕微鏡観察の数件の講演において特に活発な討論が行われ、今後の進展に期待が寄せられた。

「7.3 リソグラフィ」(21 件)では参加者が 60 名程度とやや低調であったが、議論は活発に行われた。特に、大学からの講演において、半導体プロセスとは異なる応用分野への展開が興味深く報告された。EUV では、露光装置の精度評価、欠陥検出、コンタミネーション、多層膜分析に関する発表があった。レジスト材料では、材料分析や反応機構の研究に加えて、骨格の異なる低分子レジストに関する発表が 3 件あったのが注目された。

「7.4 ナノインプリント」(25 件)では、離型に関しては、表面処理方法、離型温度、雰囲気などによる影響が検討され、依然として大きな課題であることがうかがえた。モールド作製手法として電子ビームスタンプや光露光が報告され、低コストで大面積モールドを作製する手法として活用できる場合がありそうである。このほか、室温でエンジニアリングプラスチックへの加工が行える超音波ナノインプリントが新規に興味深かった。

「7.5 ビーム・光励起表面反応」(15件)は、すべて5分のショート講演付きポスター発表となった。電子ビーム励起反応で形成されるPt構造体の特性、Ga集束イオンビームによって形成されるカーボン系構造体の特性、バイプリズムなどのデバイス応用例、アニールによって引き起こされるグラファイト化反応、さらに酸素分子線照射に対する表面反応過程など、各種ビーム照射による表面反応やイオン照射における反応ダイナミクスに関する研究が報告された。

「7.6 イオンビーム一般」(21件)では、原子・分子状の正・負イオン、多価イオン、集束イオンなど、さまざまなイオンビーム照射による表面改質、表面加工、あるいはナノ粒子・ナノロッド形成について活発に議論された。また、固体、液体、気体材料のクラスターイオンのサイズ分析や照射効果に関する最新の研究成果が示され、今後の展開が期待された。なお、今回の発表件数はイオンビーム表面改質国際会議の日程と重なったため、10件程度少なくなった。

「7.7 微小電子源」(26件)では、ディスプレイ・真空ナノデバイス応用に向けたSi系、金属系、炭素系(CNT, CNF, ダイヤモンドなど)などの陰極材料の電子放出特性、およびこれらのFEA作製プロセスに関する報告を中心に、電子源の幅広い応用に関する報告がなされた。また、タングステン表面に吸着した有機分子からの電界放出像について新解釈の報告があり、今後の進展によっては半世紀にわたる基本的問題の解決が期待される。

「7.8 ビーム応用一般・新技術」(3件)では、微細反応場でのイオン液体の金属電析制御、ガラスキャピラリーを用いたHeイオンビームの $1\mu\text{m}^3$ 領域細胞照射、パルスレーザーアブレーション生成プラズマによる水素・酸素燃料ロケットエンジン着火について発表された。

本報告は、羽多野忠(東北大)、早田康成(日立中研)、山口徹(NTT物性基礎研)、廣島洋(産総研)、高岡義寛(京大)、畑浩一(三重大)の各氏のご協力により作成した。

## プラズマエレクトロニクス

東大 一木隆範

「8.1 プラズマ生成・制御」では、初日にマイクロ波・高周波プラズマなどの生成と制御、ラジカル制御、プロセス応用、大気圧プラズマとプラズマと気相・液相界面現象など、15件が発表された。3日目にマイクロジェットをはじめとする大気圧プラズマ源の計測や応用に関する6件の一般講演と、東大の野間氏による講演奨励賞受賞記念講演「クライオプラズマのガス温度依存生成と診断」があった。極低温でのプラズマ生成は、斬新な材料プロセスへの応用が期待される。さらに、分科内招待講演として、後藤俊夫先生(中部大)から「プラズマエレクトロニクスの温故知

新」、岡崎幸子先生(上智大名誉教授)から「誘電体を介する放電の不思議」と題するお話をいただいた。長年にわたりプラズマエレクトロニクスの発展を牽引されてきたパイオニアのお二人が、さらなる挑戦への勇気を鼓舞された貴重な講演であった。

「8.2 プラズマ診断・計測」では、ポスターセッションで25件が発表された。光学的計測では発光・吸収分光、レーザー誘起蛍光分光、トムソン散乱、微粒子計測、ゼーマン分裂線の吸収分光、コヒーレントラマン散乱による放電中の電界測定、液中プラズマの発光分光などが、電気計測では周波数シフトプローブ、エミッシブプローブなどが、粒子計測では基板入射イオンエネルギー分布測定、水晶振動子によるガス分解率測定、プラズマダメージ予測システムなどが発表された。低圧から大気圧、さらに液中へと計測対象プラズマが拡大しており、今後の進展が期待される。

「8.3 プラズマ成膜・表面処理」では、21件の講演があった。そのうち、9件がポリマー材料表面の改質処理、8件が大気圧プラズマによる成膜・表面処理で占められた。スパッタリングや低圧プラズマCVDはそれぞれ2件のみで、プラズマ計測や装置クリーニングなどに関する発表であった。ポリマー基材と大気圧プラズマの組み合わせは、実用化が近づくフレキシブルデバイス製造プロセスへの低コストプラズマ技術の組み込み可能性の検討にかかわる。現時点では踏み込んだ議論は見られないが、今後の展開に期待したい。

「8.4 プラズマエッチング」では、一般講演28件と、JJAP論文賞受賞記念講演が行われた。記念講演では、東北大・寒川教授より、微細化に伴い顕在化する、紫外～真空紫外光がデバイスに及ぼす影響について、近年の研究がレビューされた。一般講演は、スルービア加工などデバイス実装方法の変遷に伴い重要性を増してきたプロセスの実例から、大気圧放電を用いたトレンチエッチングなど探索的研究まで広範囲にわたった。メカニズム研究や微細加工シミュレーションの高度化など、プラズマプロセスの中身を理解しようとする研究が増加し、量産モニタリング研究との議論の接点も多く見られるようになった。

「8.5 プラズマナノテクノロジー」では、13件の発表があった。カーボンナノチューブ(CNT)関連の発表が6件と最多で、特に成長メカニズム解明とともに電界放出型ディスプレイへの応用に関する基礎研究が3件あり、興味を引いた。ほかに、ナノワイヤ、微粒子、ナノ蛍光体などに関する発表があった。前回同様、さまざまなナノ物質創成にプラズマが活用されており、今後の発展が期待される。

「8.6 プラズマ現象・新応用・融合分野」では、28件の一般講演と1件の奨励賞受賞記念講演があった。一般講演では、従来から研究されているバリア放電などのプラズマの光源応用、医療用器具の滅菌や殺菌、液体処理などが、また新しい応用分野として、ガソリンエンジンの効率化やパルスレーザーを利用した地中探査レーダーなどが報告され、活気あふれるセッションとなった。講演奨励賞受賞記

念講演では、京大の内藤氏より、「マイクロプラズマ周期構造体の禁制帯条件における電磁波伝搬制御」に関する発表があった。

本報告は、八田章光(高知工科大)、松田良信(長崎大)、板橋直志(日立中研)、明石治朗(防衛大)の各氏のご協力により作成した。

## 応 用 物 性

北大院情報科学 葛西 誠也

本分科では、種々の材料や構造の物性と応用について議論を行っている。幅広いテーマの論文を受け入れ、応用物理における新分野創出・育成の土壌として重要な役割を果たしている。以下に、本講演会における各中分類分科セッションの様子を報告する。

「9.1 誘電材料・誘電体」では、20件の発表があった。講演内容は第一原理計算、電子構造評価、リラクサー強誘電体、マイクロ波チューナブル用材料、欠陥制御、非鉛系圧電材料、新規フォトリソニック結晶などであり、基礎から応用まで、バラエティーに富んだ講演が続いた。特に、第一原理計算によるBaTiO<sub>3</sub>の相転移系列の再現、ラマン・光散乱によるリラクサー系材料の研究などの基礎研究で新しい報告があった。また、欠陥制御によるBiFeO<sub>3</sub>の分極特性の向上は、強誘電体の応用上、重要な研究成果であった。各講演に対し多くの質問が出され、活発な議論が行われた。

「9.2 微粒子・粉体」では、パルス細線放電法によって作製されるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>微粒子に関する発表、非水系液中の電気泳動現象に関する発表が行われた。パルス細線放電法はパルス大電流を用いて瞬間的に導体のワイヤをプラズマ化し、超微粒子を作製する方法であり、この方法を用いて作製するAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>微粒子の冷却過程を中心に議論が行われた。また、非水系液中の電気泳動現象に関する発表では、電子ペーパーへの応用を目的として、非水系液中の電気泳動に関する基礎的な実験的検討について議論された。

「9.3 ナノエレクトロニクス」では、21件の講演があった。多様な分野の講演者と60名以上の聴講者が集まり、活発な議論が展開された。ナノギャップ関連は、前回に引き続き活況であった(産総研、農工大、東大、京大、船井電機)。SPM加工技術(農工大)、ナノワイヤデバイス(阪大、北大)、相変化メモリー(群馬大)、ナノブリッジ(NEC)などの興味深い講演に加え、セルフゲーティング(早大)、確率共鳴(北大)といった新規デバイスが導入され、充実したセッションとなった。今後も、萌芽的研究や分野横断的研究を積極的に受け入れ、多くの参加者に議論いただけるよう盛り上げていきたい。

「9.4 熱電変換」の発表件数は例年よりも少ない22件であったが、参加者は例年並みの100名程度であった。分類としては、酸化物材料、化合物半導体、薄膜材料、構造制

御、評価およびデバイス提案・開発であった。興味深かったものをあげると、簡単な作製法により合成された自己組織化ナノ構造物ZnGaMnO<sub>4</sub>における性能指数の増大、傾斜積層体による異方性熱電効果や、電流線路へのペルティエ素子挿入による自己冷却効果に関する新規デバイスの提案、および超空間群を用いたMnSi<sub>1.74</sub>の結晶構造の解明、などである。

「9.5 新機能材料・新物性」では、9件の講演があった。内容では、リチウムイオン電池への応用で注目されるホランド型化合物へのアルカリイオン添加による磁性発現や、高熱伝導材料に関するものが興味を引いた。熱伝導に関しては、スピノンによるバリスティック熱伝導のような基礎物理から、低環境負荷の高熱伝導性プラスチックの開発といった実製品応用まで、幅広いトピックスが議論された。バラエティーに富んだ研究内容、分野が一堂に会し、異業種・分野の研究者が交流できる場としても大いに盛り上がった。

本報告作成にあたり協力いただいた、中分類分科世話人である鶴見敬章(東工大)、寺重隆視(広島国際大)、岸本堅剛(山口大)、川上信之(神戸製鋼所)の各氏に感謝いたします。

## スピントロニクス・マグネティクス

東北大通研 大野 裕三 ・ 東北大金研 福村 知昭  
日立基礎研 伊藤 顕知 ・ 東芝 大沢 裕一

「スピントロニクス・マグネティクス」は、4日間の会期を通じてセッションが開催された。また、10.3、10.4の中分類分科はポスターセッションが開催された。一般講演の件数は105件であった。また、2日目の関連シンポジウムで9件の講演がなされたほか、講演奨励賞受賞記念講演2件、JJAP論文奨励賞受賞記念講演1件が行われた。以下にハイライトを記す。

「10.1 新物質創成・物性探索」では、前回に引き続き、さまざまな物質・物性に関する報告が見られた。フルホイスラー系の研究は複数のグループから報告されており、規則度の高いL1<sub>0</sub>構造薄膜の作製が進んでいる一方で新物質の報告もある。ホイスラー系合金は物質の種類は非常に多く未開拓であるため、理論・実験の両面からさらなる研究の展開を期待したい。今回、強磁性半導体を目指したシリサイド系のMBE法による高品質作製が報告されており(九大)、今後の進展が待たれる。垂直磁気異方性をもつFePtに有機修飾を行い、光応答性をもたせるという新しい化学的なアプローチも見られた(慶大)。物性では、超薄膜Feの磁化の電界効果による変調(阪大)や、異常ホール効果による交流磁化率の測定(東北大)が報告された。以上のように、物質開発の余地はまだあり、既存の物質でも新物性の発見が報告されている。大分類化以降、新グループの参入が毎回あり、新物質から新物性までバリエー

ションに満ちた充実した内容になっている。今後も、各分野からのご参加を待ちたい。

「10.2 スピンデバイス・回路・計測技術」では、ハーフメタル材料の候補として注目されているホイスラー合金 MTJ の室温における TMR 減少メカニズムについて、理論、実験面から活発な議論がなされた。スピン注入磁化反転では、積層フェリ自由層の熱安定性の検討(産総研)、シミュレーションによるスピントルク磁化反転電流のパルス幅依存(日立)や、垂直膜を用いたスピン注入磁化反転素子の開発(東北大)などが報告された。また、磁壁の運動に関しても、電子線ホログラフィー(理研)、X線(京大)などを応用した美しい実験結果が示され、メカニズムに関する深い検討が進んでいるとの印象を受けた。そのほか、スピン依存絶縁障壁を用いた TMR(産総研)などの新しい試みや、二次元電子ガス中のラッシュバ/ドレッセルハウスの二つのスピン-軌道相互作用の最適化によるスピン FET の緩和時間増大など、次世代デバイスへの取り組みも注目される。

「10.3 磁気記録媒体・磁気センサー」関連では、ナノ狭帯系 MR や MFM による磁区観察、ハーフメタルを用いた CPPGMR など 9 件によるポスター発表が行われた。ハーフメタル CPPGMR では、エピタキシャル  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  (CMS)/Cr/CMS 構造で面積抵抗  $160 \text{ m}\Omega \cdot \mu\text{m}^2$  において 5.7% の MR が確認され、今後、メタル系 GMR へのハーフメタル応用の期待がもたれる。記録ヘッド関係では、主磁極に用いられるパターンニングされた磁性膜の磁区状態を、外部磁界を加えながら MFM にて観察した報告がなされ、主磁極部分での磁区制御は複雑な磁区状態のもとで行われていることが示されていた。ナノ狭帯系では、陽極酸化アルミナにめっきで埋め込んだ Ni ナノワイヤに、60% を超える大きな MR 比を室温で確認した報告がなされた。今後の MR 比発生の原因解明が待たれる。

「10.4 光・量子スピントロニクス」関連では 6 件のポスター発表が行われ、MnSb の磁気光学効果(農工大)およびスピン注入(東工大)のほか、GaAs/AlGaAs(110)量子井戸における核スピン操作・光検出(東北大)などの興味深い実験結果が発表された。

戸川欣彦氏による JJAP 論文賞受賞記念講演では、ジグザグの NiFe ワイヤ中の磁壁を電流で駆動し、その運動の様子を、電子線ローレンツ顕微鏡と電子線ホログラフィーで観察することにより、これまで知られていなかった電流駆動による磁壁の運動について、新たな知見を提示された。また、橋本佑介氏による講演奨励賞受賞記念講演は、磁場でなく光で強磁性半導体 GaMnAs の磁化の歳差運動を引き起こすというインパクトのある内容であった。同じく葛西伸哉氏による講演奨励賞受賞記念講演は、磁気渦に電流注入して共鳴を起こし、そのダイナミクスを磁気円二色 X 線磁気顕微鏡で観測した実験で、この分野の研究に新しい展開をもたらすものであった。

## 超 伝 導

東北大金研 淡 路 智

今回は、通常セッションの前後に招待講演のみで構成された特別セッションとポストデッドライン講演からなるインフォーマルミーティングを配置した 3 部構成で「鉄系新高温超伝導体特別セッション」が組まれた。第 1 部は、昼休み時間に設定されたにもかかわらず、会場の定員を超える 200 名以上の会員が詰めかけた。最初に、この物質系の発見者である東工大の神原陽一氏と細野秀雄氏による「鉄系新高温超伝導体の作製法」と題する招待講演が行われた。神原氏からは圧粉体の作製法に関して、細野氏からは PLD エピタキシャル膜に関して詳しい解説がなされた。合成法としては破裂防止のため、二重の石英ガラス管に圧粉体を封じ切る工夫などが紹介された。細野氏は、母物質が反強磁性金属であること、磁場中抵抗転移の実験から異方性がほとんどないこと、Fe の一部を Co で置き換えても超伝導が損なわれないなどの点で、銅酸化物系と異なっており、物質探索の組み合わせは 8000 種類にも及ぶことなどを指摘した。広い会場へ移動した後、伊豫氏(産総研)の招待講演では、前駆体 LnAs の合成法、仕込み組成中の酸素量制御に関するノウハウなどが公開されたほか、超伝導性と格子定数の明瞭な相関が明らかにされた。

第 2 部の一般講演では、産総研・東理大グループからは、 $T_c$  に及ぼすイオン半径の異なるランタノイド置換効果や、 $T_c$  の大きな負の圧力依存性 ( $-2 \text{ K/GPa}$ ) などが報告された。李ら(東北大)は多くの鉄系新超伝導体試料に関する中性子構造解析データより、 $T_c$  と  $\text{FeAs}_4$  四面体の Fe-As ボンド角に相関があり、正四面体の角度  $109.5^\circ$  で  $T_c$  が最大であるという、特筆すべき実験事実を報告した。

第 3 部では、古越ら(古河電子)は「高温超伝導用ヒ素化合物の取り扱いについて」と題し、LnAs(希土類元素のヒ素化合物)は(大気中の)水と反応して、 $\text{AsH}_3$ (アルシン=猛毒ガス)を発生することに対する注意を喚起した。安全な取り扱い方法として、①湿気や水を避ける、②十分な排気設備のある場所で取り扱う、③少量を扱うようにする、④アルシンセンサー、防毒マスクを常備するなどの、人身事故を未然に防ぐための重要な指摘がなされた。

「11.1 基礎物性」では、特別セッションに組み込まれた 5 件を除くと 34 件の報告が行われた。渡辺(早大)より、ホウ素ドーパダイヤモンドに関して、 $7.1 \text{ K}$  の  $T_c$  オフセットが劣化しない薄膜プロセスに関して報告があった。松本(農工大)らは、ノンドープ銅酸化物  $\text{T}'\text{-RE}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$  MOD 薄膜に関して、頂点酸素を除去すれば、 $T_c$ - $x$  相図で  $x \rightarrow 0$  まで  $T_c$  は単調に増加し続け、母物質が本来、超伝導体である可能性を指摘した。この結果は、銅酸化物系超伝導体の真の相図の再発見につながる可能性があり、重要である。

「11.2 薄膜、厚膜、テープ作製プロセスおよび結晶成長」



では、午前中は主に MOD 法に関して 10 件、午後は  $MgB_2$  薄膜 (4 件)、高  $I_c$  線材 (3 件)、およびピン導入プロセス (7 件) に関して報告がなされた。MOD 法では、厚膜化、各種 RE-123 系膜の高性能化などの観点から報告が行われた。特に、人工ピン導入では、 $BaSnO_3$  を用いた磁場中超伝導特性の更新に加え、薄膜成長と微細組織などから考察した人工ピンの成長メカニズムに関して議論が活発に行われた。

「11.3 臨界電流、超伝導パワー応用」はポスターセッションで、16 件の発表が行われた。磁束ピンングに関しては、化学組成や、RE-123 の RE の種類に関して、凝縮エネルギー密度に着目した研究や、シミュレーションを用いた磁束ダイナミクスの研究が行われるようになり、着実な研究進展の印象である。また、今回は 2 件の超伝導ケーブルシステムの発表があったが、このような超伝導応用における基礎的な問題の議論が、応用物理学会で盛り上がることを今後期待したい。

「11.4 アナログ応用および関連技術」では、超伝導検出器、SQUID、マイクロ波フィルターおよび JJAP 論文奨励賞受賞記念講演を含む 31 件の講演が行われた。超伝導検出器に関しては、ジョセフソン接合やナノワイヤなどさまざまな構造をもち、また応用に関しても、電波天文、量子情報通信、質量分析など、幅広い分野での利用に向けて活発な質疑応答がなされた。SQUID に関する発表では、交流用超伝導線材の欠陥評価、金属板厚み検査、磁気マーカーを用いた免疫検査システムなどの講演があり、活発な議論が行われた。超伝導フィルターでは、送信および受信用チューナブルフィルターの開発およびそのチューニング特性について報告がなされた。そのほか、高感度磁気光学顕微鏡やジョセフソン電圧標準などについての報告があった。

「11.5 接合、回路作製プロセスおよびデジタル応用」ではジョセフソン接合に関する講演が 6 件あり、北大の松田らの磁性バリア、国立天文台の野口らの Nb 系ジョセフソン接合品質に及ぼす Nb 膜質の影響についての講演が注目を集めた。午後の講演ではデジタル応用に関する講演が 16 件あり、横浜国大の山梨らの乱数生成回路、超電導研の藤原、丸山らのフラッシュ型 A/D 変換器についての講演があり、SFQ 回路の応用分野を開拓するものとして今後の進展が期待される。

今回の超伝導分科の発表件数は、特別セッションを含めて 136 件であった。なお本報告は、入江晃亘 (宇都宮大)、仙場浩一 (NTT 物性基礎研)、吉田隆 (名大)、川山巖 (阪大)、寺井弘高 (情通機構) 各氏の協力により作成したものである。

## 有機分子・バイオエレクトロニクス

分子研 平本昌宏

有機分子・バイオエレクトロニクス (M&BE) 分科にお

いては、433 件の一般講演が行われた。シンポジウムは、本大分類が主として企画した、「塗布有機トランジスタの現状と課題」、「有機結晶はどこまで進化するか? (有機結晶成長の最新動向と光機能の発現)」が行われ、参加者も多く、討論も活発で、関心の高さをうかがわせた。

発表件数上位 3 位までの中分類は、「12.9 有機トランジスタ」80 件、「12.2 評価・基礎物性」67 件、「12.1 作製技術」55 件であった。有機トランジスタは、デバイス応用の観点から、近年、非常な盛り上がりを見せており、最大発表件数をキープしている。一方で、基礎的研究に位置づけられる「12.2 評価・基礎物性」、「12.1 作製技術」も、合計 122 件と非常に多い。これは、本分科において、応用と基礎が、互いに助け合いながら力強い研究展開がなされていることを示唆している。

ただ、例えば、有機トランジスタのセッションは 4 日間の会期全日を通して行われており、必然的にパラレルセッションとなり、デバイスの研究者が、ほかの基礎研究的なセッションに会期中に参加できにくいという弊害も生み出している。自分の研究に近い分野を深く知ることと同時に、広い視野から研究を俯瞰したり、他の分野から積極的にアイデアを取り入れたりすることも大事であるので、何らかの改善策を模索する必要がある。

以下、各中分類委員からの報告のエッセンスを述べる。若手研究者に勢いがあるとの喜ばしい報告が多い。

「12.1 作製技術」は奨励賞候補講演が 12 件と全講演の 2 割に達し、若手からの意欲的な研究発表が多かった。内容は、蒸着膜の配向制御、結晶成長素過程、交互積層膜の形成、微結晶や微小クラスターの作製技術など、多岐にわたった。

「12.2 評価・基礎物性」は、ポスターであったためか 67 件の講演があり、昨年の 46 件に比べて大幅に増加した。光電子分光、逆光電子分光、走査プローブ顕微鏡が、有機/金属、有機/有機界面などの電子物性解明の、中心的な評価手法として定着してきた。単一分子の電気伝導特性、生体試料に関する発表も多かった。

「12.3 電子機能材料・デバイス」は、48 件中 29 件が色素増感、有機薄膜太陽電池に関するもので、立ち見が出るほどで、関心の高まりを感じさせた。有機薄膜太陽電池においては、高分子系の発表件数が低分子系を上回ってきており、3%を超える変換効率も多数見られた。メモリーデバイスや撮像デバイスは、実用化が近いと感じられた。

「12.4 光機能材料・デバイス」で行われた講演奨励賞受賞記念講演は、受賞対象となった前回の発表内容から大幅に研究が進展しており、若手研究者の「勢い」が強く感じられた。有機レーザー、フォトリソグラフィ結晶、有機・無機ハイブリッド材料に関してユニークな発表が相次いだ。

「12.5 液晶」は、同時期に日本液晶学会討論会が開催されるため、秋季の発表件数 (今回 11 件) は春季に比べ格段に少ない (2008 年春季 39 件)。今回の報告では、主として基礎的内容が多く、発表内容は多岐にわたっており、液晶

研究の幅広さを感じた。

「12.6 高分子・ソフトマテリアル」は内容が非常にバラエティーに富んでおり、今回も40名を超える多様なバックグラウンドをもつ参加者に恵まれ、活発な質疑応答が行われた。導電性高分子関連では、電気化学アクチュエーターに関して、基礎科学的な研究からポンプ応用まで幅広く報告された。

「12.7 生物・医用工学・バイオチップ」では、センサーデバイス、マイクロ流路デバイス、分子あるいは細胞の検出・ハンドリングなど、本中分類にふさわしいバイオ応用への挑戦的な研究が多く見られた。

「12.8 有機EL」では、関連国際会議が海外で同時期に開催されるため、参加者の減少が危惧されたが、セッションは常に立ち見が出るほどの盛況であった。低分子系だけでなく、高分子系有機ELにおける機構解明、特性改善も着実な進展が見られた。有機ELは一部製品化されているが、学会として取り扱うべき部分は深く広範囲に広がっている。

「12.9 有機トランジスタ」は発表80件で、今年春季(77件)とほぼ同じであった。今回初めての試みとして、発表申し込みの段階でポスター発表の希望調査を行った。その結果、24件のポスター希望があり、これに4件を加えて計28件のショートプレゼンテーション付きポスターセッションを行った。会期を通して、150~200名程度の参加者が集まった。

複数の有機トランジスタを基板上に作製する発表があり、単一素子の特性解析から、スイッチングデバイス応用への着実な進展を感じさせた。有機単結晶トランジスタに関する発表も活発であった。

「12.10 特定テーマ 生体分子計測・バイオナノテクノロジー」は、今回で2年の時限となる。講演内容は年々充実してきており、手探りでバイオを扱う時期は過ぎ、むしろ生体材料を特別なものと見なすことなしに、自在にナノテクノロジーと融合させる方向に研究は発展している。これを受け、次回特定テーマとして、バイオの先にナノが入った「ナノバイオテクノロジー」を提案中である。

各中分類での詳細なトピックスについては、M&BE分科会誌(Vol. 19, No. 4)に掲載予定であり、各中分類分科世話人各位に感謝いたします。

## 半 導 体 A ( シ リ コ ン )

宇宙研 廣 瀬 和 之

「13.1 基礎物性・評価」では、2日間にわたり35件の講演があり、質疑応答も活発なものであった。基礎物性に関する講演では、誘電率、酸化膜トラップ、基板欠陥に関する第一原理計算や、ナノワイヤ・ナノクリスタルに関する実験がいくつかのグループで精力的に継続して行われている。プロセス・デバイス評価に関する講演としては、局所

ひずみの評価やプローブ顕微鏡による表面電位の評価などに加えて、MEMSセンサーの評価が新たに加わった。また、最新デバイスの信頼性に関する講演として、新しいデバイス構造の基板欠陥の観測や、トラップ準位に起因する接合リーク電流揺らぎ現象などが注目された。

「13.2 半導体表面」の発表件数は35件と平年並みであった。洗浄技術においては、枚葉洗浄の問題として、乾燥時のウオーターマーク発生や、純水吐出による静電破壊のメカニズム解析や解決策が報告され、活発な議論が行われた。初期酸化過程の解析においては、Si初期酸化の継続的研究だけでなく、ひずみSiGeやGeの酸化膜や遷移層の構造解析に関する報告も行われるようになってきている。また、講演奨励賞受賞記念講演として、ダイヤモンド表面の水素終端によりホール蓄積層が生じる効果を利用して、(110)pMOSFETで高いキャリア密度および移動度が得られたという、早大と産総研の共同研究の成果が発表された。

「13.3 絶縁膜技術」では、2件の講演奨励賞受賞記念講演を含む65件の一般講演と、MIS-FETの信頼性に関する関連シンポジウムが3日間にわたってなされた。議論は活発で盛会であったが、発表件数は大幅に減少した。その中で、Ge基板・III-V族基板を用いたMIS-FETの研究報告は16件に上り、26件のhigh- $k$ 絶縁膜関連の報告と同様、活況を呈した。一般講演の大半は大学・公的研究機関によるもので、民間企業によるものは9件であった。LSIメーカーによる一般講演は4件にすぎず、うち3件は計算物理の成果で、実験的な研究報告は皆無に近い。かつて、大手LSIメーカーが主導したSi絶縁膜技術の研究は節目を迎えつつある。

「13.4 配線技術」では、low- $k$ 絶縁膜の基礎的評価/新規作製方法、CMPプロセス/Cu洗浄の基礎、Cu膜およびバリア膜の成長、およびインテグレーションへの各要素技術の適用結果、信頼性/不良評価法などに関する報告が行われた。プリカーサー分解を制御した中性子ビームによるlow- $k$ 膜形成、電流ストレスによるCu膜の粒成長、超高速化量子MD法を用いたCu配線EM寿命計算、CVD法によるMnO<sub>x</sub>バリア形成など、新たな考えが注目を浴び、MEMSに関する報告も増えた。今回は、分科内シンポジウムを行わなかったが、今後も計画的に継続開催し、配線技術の原理原則、進むべき方向の議論を行い、同時に技術者の活性化に寄与していく予定である。

「13.5 Siプロセス技術」では、フラッシュランプアニール、CWグリーンレーザー、赤外半導体レーザーなどによるSi膜の結晶化、SiGe膜、Siナノワイヤの形成、スパイクランプアニール、エキシマレーザー、熱プラズマジェットを用いたドーピング技術(極浅接合形成)、トンネリング誘電体TFTやpoly-Si薄膜フォトトランジスタの特性などについて活発に議論された。また、チャンネルのひずみ制御技術、ランプアニール時のSOI構造の温度分布解析、マイクロ波RLSAプラズマ技術、同位体を用いたGeの自己拡散機構の解明、接合基板のゲッターリング効果、PtNiシリ

サイドの形成と NiSi 成長位置制御など、興味深い報告がなされた。さらに、新しい GOI 作製技術、Si 上の Ge エピタキシャル膜の転位低減技術が提案された。

「13.6 Si デバイス/集積化技術」では、4 日間にわたり 71 件の報告が行われた。分野は、微細 MOSFET, FinFET/SOI, キャリア移動度解析, 新規不揮発性メモリー, Si ナノデバイス/単電子輸送解析と多岐にわたっており、それぞれの分野で最新の研究の進展が報告された。特に RF/MEMS デバイスでは、チップ積層接続を中心にさまざまな実装技術の報告が行われ、関心を集めるとともに活発な議論が行われた。また、光を用いたゲートアレイの新しい再構成法の提案や、単電子デバイスの動作解析の着実な進展も印象に残った。

「13.7 シミュレーション技術」では、前回の 12 件をやや上回る 14 件の報告がポスターセッション形式で行われた。分野内訳は、NEGF 量子輸送シミュレーション、電子移動度解析、ソース・ドレイン領域でのポテンシャル揺らぎ解析、短チャネル効果抑制、結晶の塑性・ひずみ解析、コンパクトモデル関連、設計最適化問題、ソフトウェア関連と多岐にわたっている。取り扱われる FET 構造もプレーナ、ダブルゲート、サラウンディングゲートと幅広い。一般的に、ポスターセッション独特の活発で忌憚ない議論が繰り広げられた。

## 半導体 B (探索的材料・物性・デバイス)

北大 本 久 順 一

「14.1 探索的材料物性」では、多様な材料とその物性についての発表があり、活発な議論がなされた。特にグラフェン関係では SdH 振動(北大)、量子ホール効果(東大)、SiC 上のグラフェンに関する興味深い発表があり、今後の発展が大いに期待される。シリサイド関連では、鉄シリサイド( $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>Si)、アルカリ土類シリサイド、Si クラストレートなどの作製、光学特性、磁気特性に関する多数の発表があった。特に、Fe<sub>2</sub>MnSi (関西大)、BaSi<sub>2</sub> (産総研)、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> (名大・茨城大) の電子状態計算といった理論計算の進展が感じられた。また、Fe<sub>3</sub>Si の誘電関数(京大)、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> の表面電界強度(阪大)・発光特性(茨城高専)などの報告もあり、基礎物性の着実な進展があった。(鶴殿、寺井)

「14.2 超薄膜・量子ナノ構造」では、JJAP 論文賞受賞記念講演 (NTT 鈴木氏) および講演奨励賞受賞記念講演 2 件のほか、58 件の講演があった。このうち、量子ドット関連の講演が約半数を占め、さらにその 2/3 が光学特性に関する講演である。関連のセッションでは単一光子光源や量子情報処理の実現に向け、偏光制御、電子あるいは核スピン制御、その検出方法などが報告された。特に位相コヒーレンス・位相緩和の問題に関しては詳細な実験結果が報告さ

れ、活発な議論が行われた。また、InAs 量子ドットを用いた光検出器 (東大) のほか、Si ナノ結晶や、InP 微粒子などの多様な量子ドット作製法が紹介され、基礎物性および応用の観点から注目を集めた。これらの方法は、従来までのエピタキシャル結晶成長技術を用いる手法より比較的簡便なため、今後の発展次第では、産業界に大きなインパクトを与える可能性が期待できる。量子ドット以外のトピックスとしては、NTT より微小機械共振器に関し複数の報告があり、特にデルフト大との共同研究において量子極限を目指した微小変位計測について報告された。一方、徳島大から GaAs/AlAs 多層膜を用いた共振器構造による光スイッチについて詳細な報告があり、数 ps の応答を示すデータが示された。また、NTT および北大からナノワイヤの成長に関する発表がなされ、着実な技術的進歩がうかがえた。(赤羽、後藤、高津、本久)

「14.3 プロセス技術・界面制御」では、例年の秋季大会と同様な 28 件の発表があった。午前の発表 (15 件) が窒化ガリウム系材料に関するものであった。物性の探求・評価研究とともに基本要素技術が増加している傾向があり、GaN 電子デバイスの研究方向が、素子の信頼性向上、高耐圧化など、基礎的なものになってきたことが感じられる。主には、結晶欠陥の評価 (4 件)、結晶表面 (5 件)、MIS などゲート構造関係 (5 件) であった。JJAP 論文賞を受賞した豊田中研の兼近氏が縦型 AlGaIn/GaN-FET の記念講演を行い、GaN 系素子に新しい道を開くものとして注目を集めた。午後は、各種材料のプロセス技術に関するものがあった。Al や InP のポーラス構造形成に関するもの (3 件)、InAs 量子ドットや GaAs 技術に関するもの (各 3 件)、InP, GaP の表面に関するものや、Si, SiC 基板を電子ビームで劈開するなど、このセッションにふさわしい、多種多様でユニークなプロセス技術が発表された。(佐野芳明)

「14.4 超高速・機能デバイス」では投稿件数 37 件、ポスターセッションで討議時間が不足するほどの活発な議論が行われた。材料別には 7 割が GaN 系、3 割が In 化合物系であった。In 化合物系は大学を中心に研究が進められているが、低雑音 HEMT の実用研究の発表もあった。また、Sb 系供給層を用いた InAs チャンネルの HEMT を MISFET 化した報告がなされた。GaN 系では、リセスゲート構造での E モード化の研究、さまざまな絶縁膜を用いた MISFET の開発、酸化や Si $\cdot$ AlN 積層などの表面制御プロセスの検討などが報告された。また、InAlN を供給層に用いた HEMT 結晶・素子特性が報告され、今後の進展が期待できる。リセスゲート技術と熱 CVD-SiN 絶縁膜を組み合わせた MISFET 構造において、 $V_{th} = +1.5$  V、順方向ゲート電圧 6 V まで特性劣化のない  $I-V$  が報告された。MISFET の研究が依然盛んであり、今後は絶縁膜の物性なども含めた検討が必要になると思われる。(今西、末光)

「14.5 半導体光物性・光デバイス」のうち、EL 関連では、Si ナノ結晶 EL やシースルー-EL、有機/無機ハイブリッド EL など、新規な EL 動作・構造の報告がなされた。また、

蛍光体材料関係では、従来の固体合成に加え、液相合成やマイクロ波加熱合成など、作製方法の多様化が目立った。CGISなどの多元系太陽電池では、効率の向上や低コスト化、省資源化を目的とした研究が目立ち、研究が実用段階に入ってきている。また、宇宙応用のための放射線による劣化特性の報告も、前回に続き、多く報告された。希土類ドーパド半導体材料において、深紫外発光デバイスからテラヘルツ波発生まで、幅広い応用と基礎物性に関する発表があった。また、希土類ドーパド蛍光体やZnO系ナノ粒子、ナノワイヤについても多くの発表があり、活発な議論が行われた。Si系では、ナノ構造発光に関する発表に加えて、不純物ドーパドによるSi直接遷移発光に関する報告が注目を集め、活発な議論が行われた。Si太陽電池関連ではキャストセルの高効率化を目指した研究が目立ったが、その中で陽極酸化を利用したSiインゴットの新たなカッティング技術が注目を集めた。(永吉)

## 結 晶 工 学

電通大 山 口 浩 一

大分類分科「結晶工学」における全体の講演件数は309件で、昨年の秋の講演会と比べると約16%の減少であった。以下に、各中分類分科の世話人からの報告をまとめる。

「15.1 バルク結晶成長」では、新規単結晶開発として、シンチレーター結晶、レーザー結晶、非線形光学結晶に関し、光学特性評価も含めた報告がなされた。結晶作製技術として電場を用いた酸化物の相図制御に加え、たんぱく質核生成を両方向に制御可能との報告がなされた。太陽電池用多結晶Siインゴットでは、作製時の転位・酸素濃度などの挙動について、実験およびシミュレーションにて不純物析出・るつぼ回転数など、多角的な検討が試みられていた。このほか、 $\mu$ -PD法YAGおよびCz法Ge単結晶における偏析挙動解析、ソルボサーマル法の熱対流シミュレーションの三次元的解析などに関する報告があった。

「15.2 II-VI族結晶」では、ZnSe系材料では多層構造や量子ドット構造に関するものが多かったのに対し、ほかの材料系では単一堆積膜に関する発表が多かった。多層構造に関しては、最近の学会の傾向と同様で、発光素子や受光素子に関する論文が主であったが、光変調器の開発などZnSe系材料ではあまり検討されていなかった光素子応用に関する発表もあった。また、二重量子井戸の片方に磁性材料を添加する構造が提案され、活発な議論がなされた。いずれも新しい分野を見据えたものであり、今後の発展が大いに期待される。酸化亜鉛に関する発表では、さまざまな方法によるZnCuOの成長やその伝導型制御が主な内容であり、新型素子の開発に向けた今後の進展に興味もたれる。

「15.3 III-V族エピタキシャル結晶」では、ショート講演

後のポスター発表にて活発な議論が行われた。量子ドット関連では、位置や形状の制御、光学的特性の改善、多層化の検討に加え、量子ドットへのダイレクトドーピングの検討も報告された。この応用面では、DFBレーザー、InP(311)B基板上の1.55 $\mu$ m帯レーザー、選択成長を用いた集積素子などが注目を集めた。希薄窒化物関連では、構造や成長条件による膜質改善に加え、光学的・電気的測定による物性解明に関する報告も多かった。Si上の成長では、マイクロチャネルエピタキシーやナノワイヤなどの選択成長、アンチモン系やリン系の結晶成長に関する報告が増加しており、デバイス応用や成長機構のさらなる解明など今後の発展が期待される。

「15.4 III-V族窒化物結晶」の結晶成長に関するセッションでは、高品質AlN結晶の成長に関する話題が多かった。SiC基板上に交互供給法を用いた高品質AlNテンプレートのMOVPE成長、HVPE法によるポイドを利用したAlN自立基板の製作などの新規報告が目立った。また、InN/GaNの界面急峻性や非c面上の窒化物結晶に関する詳細な検討に関する報告も目立った。紫外発光デバイスに関しては、260~280nm帯でのミリワット出力動作LEDが報告された。また、GaNナノコラムなどの位置制御やそのランダムレーザーへの応用、自己形成ロッドからの電界放射など、新規応用領域の拡大を思わせる発表も多数あった。

「15.5 IV族結晶、IV-IV族混晶」では、Si/Ge(Sn,C)系材料の結晶成長、ひずみ制御、欠陥構造評価、電気伝導特性評価に関する発表が中心であった。Si(001)基板とSi(110)基板の張り合わせ技術や、(110)面ひずみSi構造に関する発表が続き、面方位制御技術への期待の高さがうかがえた。また、GeSnバッファ層形成技術、イオン注入法による一軸ひずみ導入手法、SiGe酸化濃縮基板における移動度評価、ひずみ評価、濃縮法を発展させたFin構造開発などの報告がなされた。結晶方位に依存した転位、ひずみ構造評価のために、放射光を含めたより高度なX線回折評価技術が不可欠となっている印象を受けた。

「15.6 IV族系化合物」では、ダイヤモンド加工技術の報告1件を除いた全件が、SiC関連の報告であった。CMPはエピタキシャル成長前の結晶面の仕上げとして広く用いられているが、エピタキシャル層をCMP加工したエピタキシャル層表面がデバイスグレードであることが示され、デバイス工程で生じた基板表面の荒れを救済する有効な手段となることを示唆した。また、イオン注入/活性化プロセスで生成・消滅する結晶内の点欠陥がDLTS法で解析され、活性化で大抵は消滅するものの、逆に発達するディープレベルがあるのは興味深い。CMOS構成のインバータロジックが初めて試作され、300°Cの高温でも正常に動作することが報告された。オペアンプなどのより複雑な回路製作への発展が期待される。

「15.7 エピタキシーの基礎」では、SiC結晶の誘電率に関する理論研究の発表のほかは、すべてIII-V族化合物半導

体に関する発表で、表面吸着原子の表面構造、量子ナノ構造の成長初期過程、およびヘテロ成長のメカニズムに関する内容が大半を占めた。その7件中の5件が理論計算によるもので、エピタキシャル成長機構の理解と新しい構造制御への展開に向けた活発な議論がなされた。

「15.8 結晶評価、ナノ不純物・結晶欠陥」のセッションでは、Si結晶中の重金属、軽元素、および点欠陥に関する基礎的な研究発表が多かった。特に、重金属の複合欠陥の安定性を第一原理計算で調べ、ゲッタリング方法のデザインを試みるなど、基礎的な理解を応用技術へつなげていく努力がなされている。不純物・欠陥の安定性や拡散挙動、あるいは熱平衡点欠陥の挙動など、より詳しい理解が進むにつれて、従来常識とされてきた知見の見直しが徐々に進んでいることを感じた。質疑応答では大変活発な意見交換がなされていたが、セッションの講演件数としては、今回、過去最少の13件にまで減少したことは懸念材料である。

## 非晶質・微結晶

群大工 後藤民浩

非晶質・微結晶分科では、いわゆる結晶材料とは異なり、原子配置や構造がランダムな非晶質・微結晶材料の基礎物性から作製プロセス、デバイスへの応用に関するさまざまな講演がなされた。構造柔軟で作製プロセスの自由度が大きい非晶質系材料は、長大なデバイス（光ファイバーや太陽電池など）への応用に適している。こうしたデバイスの新しい機能や性能向上につながる講演が多く、活発な議論が行われた。講演テーマとしては、酸化物ガラスの光結晶化、薄膜太陽電池の光閉じ込め技術や界面制御に関連する講演の増加が注目される。

「16.1 基礎物性・評価」では、レーザー光によって結晶光導波路を作製するためのガラスに関する発表が多く行われた。二重クラッド構造をもった結晶化光ファイバー（東北大、旭硝子）は、新規な光学スイッチング素子として期待される。また、電子回折によって光導波路結晶の配向が直接決定されたとの報告があった（長岡技科大）。MgO粉体からの鋭敏な発光（神戸大）やカルコゲナイド膜片の光トルク変形（北大）は基礎および応用上の観点からインパクトのある現象であり、メカニズムの解明が望まれる。非晶質・微結晶材料に関する新しい現象や未解決の課題はこのセッションで議論され、新しい展開がなされることが多く、今後も注目していきたい。

「16.2 プロセス技術」では、薄膜Si系太陽電池の高効率化につながる材料の発表が目立った。Al誘起によるアモルファスSiGeの多結晶化（東海大）やフラッシュランプアニールによるアモルファスSiの結晶化（北陸先端大）の発表があった。さらに、ホットワイヤー法によるH<sub>2</sub>添加N<sub>2</sub>ガスによるSiN膜の発表が行われた（九工大）。また、薄型

液晶ディスプレイや電子ペーパーへの展開を念頭に置いたフレキシブルな絶縁膜付きステンレス箔の曲げ試験に関して報告がなされた（新日鉄）。このセッションの多くの発表からわかるように、作製プロセスが多彩であることは、非晶質・微結晶材料の大きな利点である。従来方法を凌駕するような新しい作製技術の登場に期待したい。

「16.3 デバイス」では、講演奨励賞受賞記念講演を含め、薄膜Si系太陽電池に関する報告が目立った。近年の太陽電池国際会議でも注目を集めている微結晶Si太陽電池に関連した発表が多く、活発な議論によりその進捗が期待される。その中で、光閉じ込めに関しては、テクスチャー基板上にゾルゲル法によりZnO層を形成した新しい光閉じ込め構造の発表があった（阪大、講演奨励賞受賞記念講演）。また、Al基板の陽極酸化を用いたディンプル構造が、従来のピラミッド型テクスチャーを超える高い電流密度（i層厚1μmにおいて24.3 mA/cm<sup>2</sup>）を実現できることが報告された（産総研）。一方、微結晶太陽電池特性において、テクスチャー構造の大きさや周期を用いた新しい評価指標の提案があった（東工大）。ヘテロ接合型太陽電池に関しては、a-Si:H/c-Siヘテロ界面のバンドオフセット評価（産総研）、および裏面電極型太陽電池の作製（北陸先端大）に関する報告があった。薄膜太陽電池構造の複雑化、高性能化に向けて、要素技術は着実に進展しているように思われる。

本報告は、高橋儀宏（東北大）、梶原浩一（首都大）、寺門信明（北大）、吉田憲充（岐阜大）、傍島靖（阪大）、藤原裕之（岐阜大）の各氏のご協力により作成した。

## 応用物理一般

東海大 浅香 隆

「17.1 応用物理一般」では、発表件数は16件と前回に比べて約半数ではあったが、そのうち5件が講演奨励賞申請発表、1件が講演奨励賞受賞記念講演ということで、若手研究者の活躍が目立った。講演は、時系列データのカオス解析に関する研究をはじめ、光や超音波を利用した粘弾性測定法、弾性表面波を利用したセンサー技術の研究、ソノルミネッセンスに関する研究や、超音波を用いた新しい技術の紹介など、多様なテーマの報告がなされ、質疑で盛り上がる場面も見られた。

「17.2 物理教育」では、物理教育や実験教材の工夫・改善、および「リフレッシュ理科教室」などの活動に関連した17件の発表があった。今回はものづくりの伝承教育（ものづくり大）や、太陽電池と燃料電池を用いた環境・省エネに関連した教材の開発とその実演（九州共立大）も行われ、多くの会員の目を引きつけていた。発表ポスターの前で開発した教材の展示・実演ができる本セッションでは、今回も発表者と参加者が直接議論する様子が見られた。

「17.3 新技術」では10件の一般講演があり、ほとんどが

## 合同セッションD プラズマCVDの基礎と応用

名大工 豊田 浩 孝

センサーシステムに関するものであった。中でも、XeF<sub>2</sub>プラズマによるドライエッチングに関する講演（東工大，サムコ）では、アスペクト比が高く垂直性のよいSiピラーが得られており、光デバイスなどへの応用が期待できる。また、遠心鑄造技術をセラミックス焼結体作製に応用した高速遠心成形法に関する講演（広島大）では、微細かつ複雑な形状を有するエンジン部品への応用が示され、欠陥の少ないセラミックス部品を製作するための新しい手法として期待できる。

「17.4 トライボロジー」では、計算手法による固体界面の解析をはじめ、固体間の滑り摩擦により生じる放電発光や電荷量の測定など、計5件の発表があった。中でも、摩擦防止剤と鋼酸化膜表面、そして固体潤滑剤被膜界面における一連のトライボシミュレーション解析（東北大）では、分子動力学手法による計算結果と実験データを比較しつつ、動的な変化をFEMにより可視化した点が興味深く、今後の研究の進展に期待したい。

「17.5 エネルギー変換・貯蔵」では、アルカリ賦活された多孔質炭素材料の水素吸蔵特性（長岡技科大他）やTbNiInの水素吸収特性（東海大他），そしてY, Sc, Coを添加したBaZrO<sub>3</sub>の焼結性と電気伝導性（名城大他）など、エネルギー材料に関する3件の講演があり、さらに、ギ酸アンモニウム燃料電池を用いた酸化活性の温度依存性（阪大）を加え、合計4件の講演が行われ、活発な質疑・討論がなされた。

「17.6 資源・環境」では、環境負荷の低減や回復について2件、廃材の有効再利用に関する応用研究について4件、合計6件の講演が行われた。特に、環境浄化高分子ゲルを用いた有害重金属回収II（九大他）では、環境浄化材料として、高分子ゲルの特徴を活用することを視野に入れた報告がなされ、非常に高い重金属イオンの吸着効率（回収）と脱着効率（分離）が実証されたほか、数十回を超える繰り返し耐久性のデータも示され、今後の展開が大いに期待される。

「17.7 磁場応用」では、一般講演16件の発表が行われた。今回も、磁気トルク、磁気力、ローレンツ力、誘起磁気双極子相互作用を利用した報告が主なものであった。その中で、表面張力において、有意の磁場効果が報告されているのが興味深い。磁場による熱力学的効果は非常に小さいため、検出できないことが多い。今後の展開に期待したい。また、外部磁場による微小物質の移動に関する研究は、マイクロロボットへの応用展開に向けて興味をもたれる報告であった。

なお、本報告は美谷周二朗（東大）、安藤静敏（東理大）、佐藤正志（東海大）、山登正文（首都大）各氏のご協力を得て作成した。

合同セッションDは、プラズマエレクトロニクス分科「1.4 プラズマ応用プロセス」、薄膜・表面分科の「6.2 カーボン系薄膜」および非晶質・微結晶分科の「14.2 プロセス技術」の共同企画によるものであり、それぞれの分科の研究成果に関する情報を交換し合い、違った視点から議論を交わすことのできる場として機能している。また、本セッション講演からは講演奨励賞を受賞する若手研究者の発表もあり、質の高い講演が行われている。今回の合同セッションは、講演会最終日（5日）午前に開催された。

セッションの前半は、Si系プラズマCVDに関連する8件の講演があった。

名大から高密度SiH<sub>4</sub>プラズマを用いたSi製膜におけるガス導入口-基板間距離に対する膜質の変化と、質量分析器を用いたSiH<sub>4</sub>およびSi<sub>2</sub>H<sub>6</sub>分子の空間分布測定結果についての報告があり、ガス導入位置から数cmで急激にSiH<sub>4</sub>密度の減少が起こるとともに、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>の増加が見られるとの報告があった。九大からは、マルチホロープラズマCVD法によるa-Si:H膜堆積に関する発表、およびホロー内のプラズマ計測結果について2件の報告がなされた。本研究は、高速ガス流により微粒子を下流側に流すとともに、ガス流上流側へのラジカル拡散により、ガス流上流側での高品質Si膜堆積を実証しており、今回は低圧力において、ガス流の上流側における製膜速度の変化に関する結果を報告していた。

名大からは、真空紫外レーザー吸収分光法によるH<sub>2</sub>/SiH<sub>4</sub>プラズマ中のH原子測定結果について報告があった。H原子はμc-Si製膜において重要な粒子種であり、今後の研究の発展が期待される。

阪大からは、大気圧環境下におけるSiおよびSiO<sub>2</sub>製膜について3件の報告があった。一つは、150 MHz VHFと多孔質カーボン電極を用いた大気圧プラズマCVDによるμc-Si膜堆積であり、基板温度50°C程度でもインキュベーション層なくSiO<sub>2</sub>基板界面から結晶性のよい膜が形成されていることについて報告があった。そのほかにも、大気圧プラズマ化学輸送法を用いたSi製膜時における気相粒子種の、回転電極を用いたSiO<sub>2</sub>の常温・高速形成について報告がなされた。

産総研からは、マイクロ波プラズマを用いたファイバー上へのSi高速堆積について、膜厚方向に対する結晶性変化とプラズマアニール効果について報告があった。

セッションの後半は、BNおよびカーボン系薄膜のCVDに関する7件の講演があった。

まず、九大からフッ化物を原料とするICP-CVD法におけるBNの初期成長について、イオン衝撃エネルギーの及ぼす影響について述べていた。また、物材機構のグループ

からは、p型BNの形成に成功するとともに、これを用いたp-BN/Siヘテロ結合による光起電力効果について報告があった。本研究から、BNがワイドバンドギャップによる新しい太陽電池材料として期待される。また同グループからは、レーザー支援プラズマCVD法によるnH-BN形成において、製膜条件を変えることにより、これまで(n=6)にない長周期構造(n=10, 12)のnH-BN膜形成に成功したとの報告もあった。

九大からは、基板前面にメッシュを配置し、ラジカル-イオンフラックスを制御することによってトレンチ内の膜厚分布を制御する試みについて、カーボン膜を例とした報告があった。産総研からは、マイクロ波プラズマCVDによるダイヤモンド合成において、製膜速度面内均一性の向上を目的としたプラズマ密度分布のシミュレーションと分布最適化の指針の検討について報告があった。簡便なモデルで結果がよく説明されており、興味深い。

最後に、横浜国大のグループから、熱フィラメントCVDによるCNT/CNW複合材料、およびCNT中にバルーン状の構造が加わった新しいCNT/球状カーボン複合材料について、興味深い報告があった。

最後に、本セッションDは長年継続されてきたが、一定の役割を果たしたものと考え、今回をもって本セッションを終了することとした。これまで本セッションにご投稿いただいた多数の方々に厚く御礼申し上げます。

## 合同セッションF カーボンナノチューブの基礎と応用

大阪府大工 秋田 成 司

本セッションは、5分科の合同企画として2003年春季応用物理学関係連合講演会から実施され、毎回100件前後の講演がある。今回も以下のように、非常に活発な議論や意見交換がなされた。

CNTの水平配向成長について、サファイア基板(九大)、水晶基板(理研、阪大)を用いた講演があり、サファイア基板上では方向制御(一方向成長)、また水晶基板上では高密度成長、転写などの進展が見られた。貴金属触媒を用いた単層CNTの低温成長について、熱フィラメントを用いたアルコールCVDで原料ガスの分解を促進することで低温化(～600°C)が進んだ(NTT物性基礎研・東理大)。

CNT成長メカニズムに関して、FTIR法による触媒活性のその場直接測定(MIRAI-Selete)が目をつけた。また、環境TEMによるその場観察(阪大)に関する講演があり、多層CNTの成長過程(微粒子触媒の形状変化により、CNTの折れ曲がりが生じるなど)が明らかにされた。その場測定による知見が、触媒反応の解明、ひいては、成長メカニズム解明、成長制御につながるものと期待される。

SWNTの光学応答(ラマン散乱, PL, 吸収)に関しては、SWNTに欠陥があると水分子などがチューブに入り

込み、PLスペクトルがシフトすること(東理大)が示され、欠陥評価に応用できる可能性もあり、興味深かった。また、プラズモン由来の吸収スペクトルが、SWNTの直径に依存して変化することが示された(産総研)。半導体・金属分離に関しては、ゲル(産総研)による分離で公表されていなかったゲルの種類や分離条件が示され、さらなる発展が期待された。

CNT複合材では、金属-炭素混合電極を用いた簡便なアーク放電による、高充填率銅ナノワイヤ内包CNTの合成(三重大)が目された。また、短小銅ナノロッド内包CNTについて、直流通電時の銅ナノロッドの動的挙動解析(TEM動画観察)の報告(名大)もなされ、今後、金属-CNT複合材に新たな展開をもたらすものと期待される。

電子デバイス应用に関しては、ビア配線应用(早大、富士通研)、センサー应用(阪大、九大)など着実に展開されつつある。FETに関しても、SPMによる評価(名大、京大)、電極効果(阪大、名大)、量子性(阪大、理研)など基礎的理解が進むとともに、インクジェット塗布(東北大)による簡便な作成法の提案などが興味深かった。

CNTのMEMS应用について、気体分子によるCNT振動エネルギー損失に関する講演があり、超高感度質量計測器への应用につながるものと期待される(大阪府大)。垂直配向高密度CNTの应用研究に関して、面ファスナー应用(阪大)、放熱应用(JFCC・名大・住友電工)の講演が目をつけた。

最近ではグラフェン関連の講演が多く見受けられ、会場が満杯になり、多くの方々の高い興味を感じた。グラフェン合成は、SiCの熱分解による方法が主流であった。Si基板上SiC堆積によるSi上グラフェン形成の試みも紹介された(東北大)が、一様性・品質にはまだ改善が必要と感じた。微傾斜SiC基板を用いた際、ジャスト基板に比べ、広範囲に高品質グラフェンが形成できることが示された(九大)。制御されたグラフェン形成法として、今後の展開が期待される。また、無電解めっき成長グラフェンシート(北大、寿産業、SEP)、有機半導体を用いた高温CVDによるカーボン系薄膜の生成(東大)や炭素ナノ繊維の構造と成長メカニズムの解明(九大)に関する興味深い発表があった。カーボンナノウォールについては、成長基板への水素処理効果(岐阜大)や電気特性評価(名大・名城大)などの、電子デバイスに着目した発表が見受けられた。

以上のように、CNTやグラフェンなどのナノ炭素系の基礎物性の理解や実用化に関して着実な進展があり、今後の展開が期待された。なお、本稿では、佐藤信太郎(富士通研)、種村真幸(名工大)、平田孝道(武蔵工大)、本多信一(阪大)各氏のご協力を得た。

## 合同セッションK 酸化亜鉛系機能性材料

東北大金研 大友 明

合同セッションK「酸化亜鉛系機能性材料」は、講演奨励賞受賞記念講演1件を含む計71件の講演があった(講演取り消し1件)。今回、単結晶基板を用いた薄膜成長およびデバイス作製に関する発表が特に注目を集めた。成長手法も反応性プラズマ蒸着法、MBE、PLD、CVDと多様で、いずれも、基板表面同様の原子レベルで平坦な薄膜表面が得られているのが特徴である。岩手大のグループは、反応性プラズマ蒸着法を用いて、鋭いバンド端発光(ピーク波長380nm)を示す発光ダイオードを作製した。MBEで成長したMgZnO/ZnOヘテロ接合において、移動度 $20,000\text{ cm}^2/\text{Vs}$ が達成され、それを用いたゲート制御可能な量子ホール素子および紫外線検出器が試作された(東北大他)。さらに、PLDで成長したマンガン添加ZnOとのヘテロ接合(大阪府大)や、超音波噴霧ミストCVDで成長したZnOホモエピタキシャル膜(京大)は、その高い結晶性からデバイス応用への展開が期待された。

ヘテロ構造の高品質化に伴い、量子井戸構造の電気・光学特性に関する重要な知見が得られつつある。サイクロトロン共鳴(物材機構他)ならびに磁気抵抗振動(東北大他)のデータ解析から、二次元電子の有効質量や $g$ 因子が見積もられた。また、単一量子井戸中の内部電界をデルタドーピングや励起光強度で制御する試み(東北大他)や、内部電界効果抑制の目的で無極性面上に成長された多重量子井戸構造の光学特性に関する講演が目をつけた(静岡大)。

コスト面で優位性をもつ多様な製膜方法の中では、電気化学堆積法の講演が目立っていた。水溶液中の作用電極(導電性基板)反応で美しい六角柱板状結晶が高いレートで堆積されるが、電位制御(東大)と電流制御(大阪府大)による条件最適化が議論された。前者では、電位制御による系統的なキャリア濃度制御の可能性が示された。結晶性の

向上が、今後の課題になると思われる。

透明導電膜の成長プロセスに関連した講演では、室温アルゴンプラズマ照射によって、無添加ZnO膜の電気・光学特性が向上するとの報告があった(NTT MI研)。透過スペクトルの変化から結晶の乱れが改善されたこと、またスパッタ法や反応性プラズマ蒸着法による製膜中に、アルゴンプラズマ自体が膜特性を改善するという興味深い可能性が示唆された。透明導電膜の特性に関する講演では、膜厚200nm以下Ga添加ZnO薄膜(GZO)に関する報告が中心であった。膜厚が同じGZOであっても、製膜方法によって抵抗率が異なること、またその原因が結晶粒界や真性欠陥の立場から議論された。中でも、異なる方法で製膜された薄膜の昇温離脱測定から、電気特性や熱安定性の違いが、格子間亜鉛濃度の違いにあると考察された(高知工科大他)。

ナノワイヤやナノ粒子の成長に関する講演では、主に核密度とサイズの制御因子が議論された。中でも、ガラス基板上の気相成長で、基板成分のアルカリ含有率でワイヤ密度が制御できることが示された(信州大)。また、溶媒中に分散させたミセルを反応場として、親水基の長さが異なる両親媒性分子を選択することで、ナノ粒子のサイズ制御が可能であることが示された(村田製作所)。

前回から講演件数が急速に増えたアモルファスInGaZnO<sub>4</sub>については、ディスプレイ駆動用TFTへの実用を視野に入れた動作特性や安定性の議論が展開された。ダブルゲート駆動で、移動度やサブスレッショルド領域の立ち上がりを低下させることなく、しきい値電圧を制御できる利点が目をつけた(キヤノン他)。作製プロセスについては、高分子塗布によるゲート絶縁層形成(プラザー工業)やドライエッチング(高知工科大)の検討などがあった。

酸化亜鉛系材料研究発表の場として定着してきた本合同セッションだが、材料バリエーションや元素戦略的な視点も積極的に考慮した広い枠組みの中で議論が可能になるセッションに移行する時期に来ているのかもしれない。