



## 第 68 回応用物理学会学術講演会(2007 年)

### 総 論

講演会企画運営委員長 藤 山 寛\*

第 68 回(2007 年秋季)応用物理学会学術講演会が、2007 年 9 月 4 日(火)から 9 月 8 日(土)までの 5 日間、北海道工業大学(札幌市手稲区)で開催されました。会場の都合で、昨年度の学術講演会(立命館大学)に比べて 1 日長い期間設定でしたが、北海道らしいさわやかな気候の中、幸い事故もなく、盛況のうちに講演会を終えることができました。ただ、関東に上陸した台風が東北を縦断して、大会 4 日目深夜に北海道を通過しました。2 年前の徳島大学での経験とその後確立された危機対策マニュアルのおかげで、幸いにして学会運営には大きな支障は出ませんでした。

今回は、北海道工業大学・北海道大学の先生方を中心に現地実行委員会が組織され、講演会開催に向けて献身的に準備を進めてくださいました。現地実行委員長の今井和明先生、現地実行副委員長である馬場直志先生、山本真史先生をはじめ、現地実行委員会の先生方のご尽力に厚く感謝申し上げます。また本講演会では、大学の理解あるご支援とご配慮のもとに、広々とした教室と整ったさまざまな設備を使わせていただくことができました。現地実行委員会顧問として全体運営にご配慮いただきました北海道工業大学の西安信学長ならびに杉田光博事務局長をはじめとする関係の方々のご多大なご尽力に対しまして、この場を借りてお礼申し上げます。

今回の講演会では、一般講演 3794 題、29 件のシンポジウム発表など 590 題(一般講演の持ち時間 15 分で換算)を合わせて 4384 件の講演があり、35 の口頭発表会場とポスター会場で活発な討論が行われました。

一般講演の申し込み件数は、昨年度(立命館大学)と比較して 416 件増加しており、事前参加登録者数も 3583 名と着実に増えてきました(予約率 55%)。今回の参加登録数の実績は 6533 名(内訳:正会員とシニア 3646 名、学生 2291 名、非会員 596 名)で、同じく北海道工業大学を会場校とした 2000 年の 5449 名に比べて、1000 名以上も増えています。昨年度以来の積極的な学会参加の基調が続いているものと、講演会企画を担当する立場として大変喜んでおります。参加者数の増加は、以下の魅力的な特別企画も大いに貢献しているものと考えています。

- ①特別シンポジウム(タスクフォース委員会、講演会企画運営委員会主催)「応用物理とベンチャービジネス—学会発ベンチャーの起業に向けて—」
- ②特別パネル展示「応用物理学アカデミックロードマップ」  
「応用物理」創刊 75 周年記念イベントで公開したパネル
- ③第 41 回応用物理学会スクール「宇宙環境を利用した科学技術の新展開」
- ④同スクール(スピエレクトロニクス研究会企画)「スピエレクトロニクスの基礎—さらなる展開と次世代エレクトロニクスデバイスのイノベーションに向けて—」
- ⑤人材育成・男女共同参画第 9 回ミーティング「博士後のキャリアを考える 2」
- ⑥JJAP フレンドシップミーティング講演会「目指せ、高被引用数! : 英語論文の書き方と新レター論文誌 APEX 創刊」

上記①では、産官学連携の大学(学会)発ベンチャー起業の経験談を伺うとともに、経済産業省、科学技術振興機構(JST)、産業技術総合研究所、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)などの、ベンチャー「起業」支援策およびベンチャー「企業」支援策についてお話しいただきました。また②では、30 年先を見据えた応用物理学分野でのアカデミックロードマップの中間報告が、会場内の通路に展示された、各クラスターごとのポスターパネルによって報告されました。非常に多くの方が足を止めてパネルに見入っておられ、その関心の高さが伝わってまいりました。ご要望に応えるため、2008 年春の日本大学船橋キャンパスでの連合講演会では、アカデミックロードマップに関する特別シンポジウムを開催する予定です。

応用物理学会がカバーする研究対象領域における研究展開の流れを受けて、分科ごとの発表件数に大きな差が生まれ始めています。このうち、大分類分科「放射線・プラズマエレクトロニクス」から「プラズマエレクトロニクス」が独立し、合同セッション E が「スピントロニクス・マグネティクス」と大分類分科に成長して、2008 年春の連合講演会に向け、それぞれ新しい大分類分科で講演募集を始めました(11 月号の募集要項をご参照ください)。

このように、時代の要請を先取りする新しい分科の発足などによる魅力の増加や活性化に関しても、今後、検討を進めたいと考えています。応用物理学会の学術講演会が会員の皆様にとって、より有意義で活力のあるものになるように努めますので、会員の皆様のご理解、ご支援をよろしくお願いいたします。

\* 長崎大院生産科学

## 放射線・プラズマエレクトロニクス

名大 豊田 浩 孝

「1.1 放射線・加速器・原子炉」の、シンポジウムを別にした一般講演の件数は88件あり、これまでの最高と思われる。ただし、台風の影響か2件の取り消しがあった。講演内容は多岐にわたっており、簡単に分類できないが、放射線源としては、ガンマ線、X線、中性子線、重イオンからイオンクラスターまで、検出器/検出媒体としては、ガス、半導体、シンチレータから超伝導検出器、固体飛跡検出器、原子核乾板まで、対象としては、人体、環境から、地雷、爆発物、月・宇宙空間まで、分野としては、原子力工学、医学から物質科学、宇宙惑星物理学に及ぶ広がりがあった。ただし、これにも当てはまらない講演も少なからずあった。今回、講演件数が急増したためか、内容の広がりも大きかったように感じられた。今後の推移をしばらく注視していきたい。

「1.2 プラズマ生成技術およびプラズマ源」では、初日終日で26件、2日目午前中に10件、計36件の講演を行った。初日午前中はマイクロ波励起のプラズマ源で、表面波やECR（電子サイクロトロン共鳴）プラズマの生成メカニズムについて多くの議論が行われた。マイクロ波は、依然として、さまざまな可能性をもったプラズマ源である。午後前半は大気圧プラズマジェットの特性に関する報告、後半は、液中や気液界面の放電および大気圧プラズマに関する報告を中心に、応用も視野に入れた報告が多かった。2日目は、高周波放電を中心に、生成したプラズマの特性について議論がなされた。液中、気液界面、大気中など、従来と違った媒質での放電が精力的に研究されている。

「1.3 反応性プラズマの診断と計測」では、講演奨励賞申請4件を含む合計17件の講演があった。光学的計測に関しては、微粒子計測、発光分光計測、可視・真空紫外での吸収計測に加えて、高ガス圧スパッタリングプラズマ中で生成された銅微粒子の実時間イメージ計測や、準安定窒素分子のキャビティリングダウン吸収分光など印象的な発表があった。電氣的計測に関しては、VHF（超高周波）プラズマのプロープ計測、周波数シフトプロープの共振周波数の検討、二次元周期構造プラズマでのマイクロ波伝搬特性を利用したマイクロプラズマの電子密度計測、異常放電のモニタリング・抑制技術などの講演が行われた。講演最終日の開催であり、聴講者数が50人程度であったが、活発な議論が行われた。

「1.4 プラズマ応用プロセス」では、プラズマを用いたコーティング、表面処理などに関して23件の一般講演と、1件の「アジアの研究者招待講演」があった。内容はSi系、C系化合物の製膜の制御、滅菌や医療用材料の表面処理、大気圧プラズマによる大面積、あるいは局所プロセスなど多岐にわたった。今回は、有機デバイス、フレキシブルエ

レクトロニクス、バイオチップなどの出口応用を想定した高分子基材上のプラズマプロセスに関する講演が目立った。低温化や低ダメージ化などが議論の中心であったが、今後、低コスト化や光誘起ダメージなどについて本格的な議論が待たれる。また、成均館大の Jeon G. Han 教授による招待講演も「フレキシブル電子デバイスのためのプラズマ技術開発」と題するホットな内容で、多くの聴衆で会場が埋まった。将来技術や韓国を含めた世界の研究開発動向などについての俯瞰的レビューに加え、プラズマプロセスにおける技術課題が具体的に列挙され、示唆に富み有意義な講演であった。

「1.5 プラズマプロセスによるナノテクノロジー」における講演は13件あり、カーボンナノチューブ4件、液中プラズマ3件、ナノボール・微粒子2件、ナノ構造形成・制御3件、その他1件の講演があった。前回に比べて発表件数が減少したが、カーボンナノチューブおよびSiナノ粒子蛍光体を主とした発表がなされ、継続した研究成果が報告された。特にナノ構造形成・制御においてはユニークな研究発表があり、ナノ分野におけるプラズマ活用・応用が着実に進んでいるという印象が見受けられた。

「1.6 プラズマ現象一般」では、光源やマイクロプラズマ応用、環境応用などを中心に、23件の発表が行われた。光源としては、PDP（プラズマ・ディスプレイ・パネル）の効率化、マイクロ波プラズマを用いた光源に関する報告が行われ、また、環境応用では、滅菌、ガスや水の処理について報告された。滅菌は、包装医療器具内やカテーテルの滅菌など、医療分野で必要とされるターゲットに適用されている。マイクロプラズマ応用としては、プラズマの導電性や誘電性に着目した、新機能デバイスであるプラズマフォトニック結晶や動的メタマテリアルの今後が期待される。

「1.7 プラズマエッチング」では、はじめに、Si-MEMS（微小機械）加工のモデリングについて、講演奨励賞受賞記念講演（慶大、濱岡）が行われた。その後、ポスターセッション形式で37件の講演があった。エッチング装置、新材料プロセス、エッチングメカニズムの解析など、基本的な内容に関する講演だけではなく、ダメージ発生メカニズム、量産プロセス変動メカニズム、反応容器壁からの汚染発生メカニズムなど、応用にかかわる現実的な内容の講演が増加している傾向にある。デバイス製造に対する要求がますます厳しくなる中、従来、泥くさい内容として主に現場で扱われてきた、ばらつき・歩留まりの管理や制御についての研究の重要性が、ますます高くなってきている様子がうかがえた。

なお本大分類は、来年春の応用物理学関係連合講演会より、新たに「1. 放射線」および「8. プラズマエレクトロニクス」の二つの大分類としてスタートする。

本報告は齊藤究（高エネ研）、八田章光（高知工科大）、一木隆範（東大）、栃久保文嘉（首都大東京）、板橋直志（日立中研）、平田孝道（武蔵工大）の各氏の協力により作成した。

## 計 測 ・ 制 御

東洋大 先端光センター 勝 亦 徹

計測・制御分科では、各種計測技術、センサー、計測の精密化・標準化、制御・信号処理に関する講演がなされた。この分科が扱う計測・制御対象は、光、温度、電気量、周波数、時間、環境、バイオ、化学量など多岐にわたっており、センサーや計測・制御の要素技術開発から実用化、標準化までの計測・制御技術全般を対象としている。この分科には、計測・制御関連の基礎から応用まで、さまざまな研究者が参加しており、新規計測技術や新規センサーの開発、計測・制御技術の実用化・標準化に役立っている。今回の講演会では、光、温度、電気量、周波数、時間関連の講演が多く実施されたが、環境計測、バイオ関連や味覚などの計測と、制御・信号処理に関する講演も増加傾向である。

「2.1 計測・制御技術」では、温度計測を中心に、化学計測、制御、信号処理に関連した報告があった。温度計測関連では、スピネル、ガーネットなど、さまざまな蛍光温度計センサー物質の応用、Si のバンド端吸収を利用した温度計測やハイブリッド型放射温度計について報告された。光吸収を利用した燃焼ガス分析、多孔質や繊維質のイオン交換膜のインピーダンス変化を利用した細菌や陰イオンの検出、CMT (カーボンマイクロチューブ) を用いた触覚センサー、ケルビンプローブを用いた半導体ウエハーの電位測定など、さまざまな分野での計測技術の応用が報告され、今後の展開が期待される。制御技術関連では、大型ステージやマニピュレーターの位置制御技術の改良が報告され、今後の応用が注目される。車載用光ファイバー通信のノイズ制御など、信号処理関連の講演も活性化が期待される分野である。また、セッションの最後には講演奨励賞の受賞記念講演が行われた。

「2.2 精密計測・ナノ計測」では、計測の精密化やセンサーの微細化に加え、環境計測や化学計測応用の報告があった。ヤング率顕微鏡・アトムプローブ分析技術の高度化や、光触媒活性の定量技術などに加えて、光吸収を利用した pH 計測などが報告された。磁気応用では、偏向特性をもつ炭素系磁気シールドの開発や、蛍光磁気センサーの可能性が示された。ナノサイズの計測・制御技術としては、AFM (原子間力顕微鏡) のプローブ形状の計測や、微小光学系の光制御などの講演がなされた。このほか、飲料水の味などの感性計測関連の報告や、日本標準時の周波数ドリフトの精密化の報告があった。

「2.3 計測標準」では、解説論文賞受賞記念講演として、「21 世紀の国際単位と標準」についての講演があった。記念講演では、計測・制御技術にとって非常に重要な国際単位への統一化と標準化の状況が解説された。一般講演の温度標準関係では、ネオンやガリウムの三重点を使った温度標準化についての報告があった。光関係では、高出力レーザー

パワー標準の国際比較や、波長 1310 nm のレーザーパワーの標準、真空紫外光源の輝度校正における偏光解析の詳細が報告された。電力・周波数標準では、交流電力標準の高周波数化や、熱雑音を利用した高周波雑音標準の詳細について報告があった。時間・周波数標準では、原子泉方式の一次周波数標準器の運用状況の詳細な報告や、小型低温水素メーザーの開発について報告された。このほか、 $^{40}\text{Ca}^+$  や  $^{43}\text{Ca}^+$  の光遷移を用いた光周波数標準についての状況や、フェムト秒光周波数コムの開発状況が報告された。これらの報告は、さまざまな計測の基準となる物理量の標準化に関するものであり、計測・制御技術全般にとって非常に重要なものと考えられる。

## 光

和歌山大システム工 野 村 孝 徳

「3.1 物理光学・光学基礎」では、奨励賞受賞記念講演のほかに、雪粒子の光散乱特性の波長依存性に関する報告、ナノ針状半導体結晶の光学特性の理論的検討に関する報告、ランダム構造の高速な電磁気学的数値解法の検討に関する報告、の 3 件の講演が行われた。特に最後の講演は、ランダム構造体による光散乱問題を、フーリエモード法を用いて、FDTD (時間領域差分) 法を使用する場合に比べ、ごく短い計算時間でシミュレーションすることに成功しており、ランダム構造体の光学特性解析に対する新しい高速解析手法として注目に値する。(原口雅宣)

「3.2 材料光学」は、3 日目の午後に 14 件の講演があった。セッション初めには、「アジアの研究者招待講演」として、北京工科大の Qun Hao 教授が“Partial compensation lens method and its application in aspheric surface testing” という題目で講演された。一般講演の講演件数は前回とほぼ同じであり、その内訳は、液晶関連 3 件、光記録関連 3 件、光学素子関連 4 件、非線形光学材料 3 件、アミノ酸関係 1 件であった。回折を利用したデバイス関連の発表と光記録に関する発表が目立ち、光デバイスに対して高い要求が依然としてあり、それを満たすための研究が着実に進んでいるという印象を受けた。また、構造色やナノワイヤなど材料の光学特性のみならず、それ自身を微細加工する新しい光学材料の利用法も提案されており、材料光学研究の新しい展開として注目を集めていた。(藤田克昌)

「3.3 機器・デバイス光学」は、ショート講演+ポスターセッションの形式で 2 日間行われた。全体で 28 件の発表があり、うち大学・研究機関から 16 件、企業から 12 件であった。特に目を引いたのはサブ波長光学素子に関する内容であり、初日の講演内容の半分以上を占め、100 名ほどの聴衆があったことから、現在の傾向をよく現していた。各発表者は 5 分の短い講演で内容を十分伝えることに苦労されていたようだが、ポスターセッションにおける質疑応答も

活況で、その中で詳細についてのフォローを行っていたように感じた。(広瀬直樹)

「3.4 計測光学」では、2日間で25件の講演があった。当分野は、計測対象および計測手法が、非常に多岐にわたっていることが特徴である。測定対象としては、膜厚、偏光、表面形状、変位、波面、天体、電気光学係数、生体、屈折率・屈折率分布、気泡・液滴、アスベスト、単一分子イメージングなどの題材が取り上げられていた。一方、その測定手法としては、干渉(偏光干渉)、二光子吸収、レーザーस्पックル、超短パルス光、四光波混合、ファイバプローブ、散乱、蛍光、表面プラズモンなどが用いられていた。最近の傾向としては、従来は中心的課題であった干渉計測に関する報告が減少する一方で、アスベストのような環境を測定対象とする報告が増加傾向にあるように感じられる。さまざまな専門分野の方が集うため、専門的に掘り下げられた形での活発な議論にやや欠ける面があるようにも感じられる一方で、同じ測定対象であっても、違った測定手法に関する報告が聞かれるなど、より広い視野での情報収集の場としての意義は非常に高い。今後、セッションの広がりと同時に、活発な議論の場となるように期待したい。(尾藤洋一、岡村秀樹)

「3.5 情報光学」は、例年とほぼ同数の21件の講演があった。これまでの例に漏れることなく、光メモリー、光セキュリティ、画像処理、三次元情報の再構成や取得、計算機ホログラムに関する講演が数多くあったが、珍しくデジタルホログラフィーに関する講演はなかった。光記録では、多重散乱光の干渉による光記録効果を用いた画像記録の講演が注目を集めていた。そのほかにも、DNA コンピューティングや二次元並列演算を用いた高速演算法といった、従来の情報光学の枠にとらわれない新しい研究の講演があり、今後の進展が楽しみである。(野村孝徳)

「3.7 生体・医用光学」では18件の発表があり、うち7件がOCT(光干渉断層計測)関連であった。OCTでは、発汗ダイナミクスのイメージングや、高速化技術、波長制御OCT光源などが発表された。続いて、レーザー誘起音の臨床応用、金ナノロッドを用いた超音波光トモグラフィー、深部人皮膚からのSHG(第二高調波発生)イメージング、厚い生体試料へのX線トモグラフィーの測定法や蛍光相関分光法の高空間分解能化などが発表された。さらに、眼科関係では、液晶デバイスを用いた補償光学型眼底カメラや、分光の多変量解析を用いた眼底の二次元酸素飽和度計測などの発表があり、生活習慣病への高い関心から熱心に議論された。医用応用らしい多岐にわたる発表がなされ、今後の進展が大いに期待される。「3.6 視覚・色彩」のセッションも引き続き行われ、伊勢型紙の分光学的研究が1件発表されて、伝統工芸の奥の深さが興味を引いていた。(佐藤 学)

「3.8 近接場光学」は、2日間にわたり45件の講演が行われた。ほぼ満席で立ち見が出るほど盛況であり、この分野への関心の強さがうかがえた。特に、最終日午後のセッション

にもかかわらず、会場はほぼ満席で活発な質疑応答が行われた。講演内容は最近の傾向どおり、1/2~2/3は金属ナノ構造、表面プラズモン、SERS(表面増強ラマン散乱)関連であった。場の増強という観点に焦点を当てるという相互コンセンサスが形成されつつあるように感じた。一方、講演件数はそれほど多くはないが、背景光抑制のためのファイバプローブの短小化、蛍光相関分光法を用いたプローブ評価、ナノ粒子の非線形光応答、近接場光の特色を生かしたナノ構造生成や光検出、微小開口を用いた原子操作、といった新しい方向性を示す解析・実験の発表もあり、理論・実験ともに今後の進展が期待される。(小林 潔)

「3.9 光学新領域」での講演は6件あり、原因不明であるためいっそう興味深いナノ粒子コロイドからの発光現象、比較的小規模ながら感度の高い磁力計の測定精度評価という報告がなされた。トラッピング関連で4件の進展が報告され、多数粒子ソーティングで、粒子サイズ特性はあるものの大幅な高速化がなされた。光造形の技術レベルも高く、従来よりはるかに高速回転のマイクロポンプ(ビデオ不具合が残念)の作製報告があった。光渦の多重化や、時分割ホログラフィーによる安定性も評価され、各グループの着実な進展が報告された。(古川祐光)

## 量子エレクトロニクス

東大先端研 岩本 敏

本分科においては、量子情報、フォトニックナノ構造、各種レーザー・材料、非線形光学効果、テラヘルツ、分光・計測、レーザープロセスなどに関する報告が行われた。各分科の学会当日の様子を下記に記す。

「4.1 量子光学、原子光学」は、光を利用した量子情報に関する議論を深めることを目指し、ほかの分科と協力し、合同セッションG「量子情報の基礎と応用」を設置している。今回も、量子光学、原子光学、および量子暗号に関して重要な発表が行われた(合同セッションGを参照)。

「4.2 フォトニックナノ構造」では、高Q共振器、導波路分散応用、量子ドット融合関連など、多岐にわたって75件の発表があった。今回は、4割程度をポスター発表で議論した。会場では、口頭発表にもまさる活気のある議論が繰り広げられた。窒化物系など新材料への取り組み、高Q三次元フォトニック結晶共振器の実現などの報告が注目を集めた。また、表面プラズモンによる発光増強に関する発表も議論を呼んでおり、今後の盛り上がり期待される。(浅野、岩本)

「4.3 レーザー装置・材料」では、トピックに集中せずに、多岐にわたる内容であった。固体レーザーでは、結晶・セラミックスでの多様な報告と、ビーム制御など応用を意識した研究に特長があった。ほかにも、非線形光学変換、深紫外気体、高出力素子、化学ヨウ素レーザー、固体色素

などの講演があった。(興, 河仲)

「4.4 超高速・高強度レーザー」では, 簡便なアト秒パルス評価手法, SC (超広帯域) 光発生, 数サイクル高強度レーザーシステム, ならびに超高速レーザーによる固体分光などの発表が印象的であった。また, ファイバーレーザーや LD (レーザーダイオード) を用いた超短パルス光源の開発, 可視～近赤外域の SC 光の生成, 分散補償用デバイスの開発などの報告があり, 活発な議論が行われた。(中野, 西澤)

「4.5 テラヘルツ全般・非線形光学」では, 非線形波長変換・半導体レーザー内非線形効果, およびテラヘルツをキーワードとした発表が行われた。特に講演の大部分を占めたテラヘルツ関連では, テラヘルツ波の発生・検出はもとより, 分光装置の高速化・小型化や, さまざまな材料・構造の分光特性についての発表も盛んに行われ, テラヘルツ技術が広範な分野をカバーする魅力的な技術であることを示しているように見受けられた。(関根, 寶迫)

「4.6 レーザー分光応用・計測」では, レーザーの偏光を利用した同位体分離, 広帯域レーザーを用いた分光計測, 漏洩水素ガスの可視化, CO<sub>2</sub> 計測用ライダーの開発, 光通信デバイスを応用した環境計測などの興味深い発表があった。発表件数が少ないながら, 活発な討論が行われた。(長澤)

「4.7 レーザープロセッシング」では, 50 件の講演が行われた。若手研究者・大学院生からの投稿が増加し, 13 件の奨励賞希望者が発表を行った。分野としてはフェムト秒プロセスの講演が約半数を占めており, 液相アブレーション, バイオ・医療応用, 高精度微細加工などに注目すべき結果が報告された。(大越, 新納)

最後に, 本報告をまとめるにあたりお世話になった各中分類分科世話人各位に感謝します。

## 光エレクトロニクス

NEC 工藤 耕 治

光エレクトロニクス分科の一般講演の総発表件数は 181 件で, 昨秋の講演会より 7 件の微増であった。今回, 「5.4 光制御」はポスター発表であった。

「5.1 半導体レーザー・発光素子」は, 51 件の報告があった。長波系レーザーでは, AlGaInAs 系 EA 変調器集積 DFB (分布帰還型) レーザーによる 10 Gbit/s-100 km 伝送, および SSG-DBR (超周期回折格子を用いた分布反射型) レーザーの FM-AM (周波数-振幅) 変換技術を用いた 30 nm-10 Gbit/s-100 km 伝送がトピックとしてあげられ, ほかにもレーザー高温特化へ向けた報告や, アイソレータフリー化へ向けた報告などがなされた。可視系レーザーでは, 次世代 DVD 用 300 mW 級青紫レーザー, レーザーディスプレイ用青～赤色レーザー, レーザープリン

ター用 650 nm レーザーアレイ, 医療バイオ用 730 nm レーザーなど, 多岐にわたる展開が試みられている。一方, 量子ドット関連では, 変調ドープの検討, 利得特性の解析, 変調帯域の拡大, 発振波長域の拡大など, 精力的な報告がなされ, 量子カスケードレーザー関連では, 発振波長 4 μm 帯への短波長化, フォノン共鳴-ミニバンド緩和という新構造での 7.8 μm 帯 CW (連続) 発振など, 着実な進展が見られる。VCSEL (面発光レーザー) 関連では, 横モード・偏光制御, 熱抵抗低減, モニター用フォトダイオードの集積化などが報告された。Si フォトニクス関連では, SOI 基板上 InGaAsP 系電流注入 LED (発光ダイオード) が報告され, レーザー化が期待される。

「5.2 光検出」では 8 件の講演があり, 40 GHz 以上超高速通信用導波路型フォトダイオードの広波長域・高感度化, 微小光子数検出用 APD (アバランシェフォトダイオード) の高感度化, そしてガスセンサー用 2 μm 帯 InGaAsN フォトダイオードや Ge/Si ヘテロ接合フォトダイオードなどの特性向上などが報告され, それぞれの応用で地道に検討が進められていることがうかがわれた。

「5.3 光記録」では 18 件の講演が行われ, ヒートモードによる高密度化光メモリの報告に対して, ホログラフィックメモリや二光子吸収によるポリウムメモリに関する報告が 6 件を占めたことが注目される。特にホログラフィックメモリに関しては, ROM の複製方法, 多重記録方式, ページデータの選択消去, 媒体の新規材料や収縮特性の影響など, 多岐にわたる要素技術の検討が進んでいることが報告された。従来型光メモリでは, 超解像光メモリなど材料の熱解析, 酸化物や EC (炭酸エチレン) の記録特性評価, 光ディスクの信頼性評価など, 光記録の基礎的評価に関する有用な報告があった。

「5.4 光制御」は, 85 件と全体の約 5 割を占めている。光導波路関連では, 光照射によりポリマー導波路コアを自己形成したモジュールの報告がなされた。実装コストを低減できる可能性がある。また, カーボンナノチューブをポリマーラッドやコアに分散させて, 非線形性を付与したものの報告や, Si 導波路のアレイ導波路回折格子でコア幅を変えることにより, 温度無依存性を図る報告があった。今後の進展が期待される。さらに, 光信号処理関連として, 波長軸, 時間軸を組み合わせた符号処理の報告が行われた。

半導体, 非線形関連では, 光導波路/光変調/超高速光スイッチ/波長変換デバイスなどに関する発表があった。中でも, 今注目されている Si フォトニクス関連の発表が目立った。Si 上薄膜の高い屈折率制御技術, Si 材料の特性を生かしたリング共振器, AWG (アレイ導波路回折格子) デバイス, 張り合わせにより Si 上に形成された LN (ニオブ酸リチウム) 非線形導波路を用いた波長変換デバイスに関する興味深い報告があり, 今後, 実用化へ向けた進展が期待される。また, スローライト効果を利用した光デバイスの小型化, 高効率化に関する発表があり, 電子回路との集積化に向けたキー技術の一つとして注目される。

強誘電体関連では、結晶の特性評価、分極反転プロセスから変調/波長変換デバイスまで、約30件の発表があった。中でも、Si基板上にPPLN(周期分極ニオブ酸リチウム)導波路型素子を作製した波長変換デバイスと、PPSLT(周期分極化学量論比ニオブ酸リチウム)素子を用いた小型数W級緑色レーザー光モジュールの報告が注目を集めた。LNテラス構造へのサブミクロン分極反転構造の作製、高速偏光変調素子などの発表もあった。接着やリッジ加工などの導波路型デバイス作製技術が成熟しつつあるとの印象を受けた。今後のさらなる進展が期待される。

「5.5 光ファイバー」は、19件と通常どおりの発表件数であった。これまでのセンサー関連技術に代わり、光ファイバーの非線形現象に関連する報告が7件、ホーリーファイバー関連が5件と、特に非線形関連の報告の増加が顕著であった。その非線形関連では前回に引き続き、ブリュアン散乱応用の報告をはじめとして、将来の高速光通信実現に向けた光信号処理技術の検討として、線形チャープFBG(光ファイバーブラッグ回折格子)を用いて分散を付与するTalbot効果によるクロック抽出技術の可能性が示され、また、SC(広帯域)光源に関する総括的な報告と広い範囲での発表があった。ホーリーファイバーでは、ファイバーレーザーへの応用が可能な、量子ドットと組み合わせた新しいデバイスが提示され、また実用化に向けて、接続技術の進歩も引き続き報告されている。

最後に、本稿をまとめるにあたりご協力いただいた、宇高、入江、青木、美野、村田、八木、各プログラム編集委員に深謝いたします。

## 薄膜・表面

東工大応セラ研 神谷利夫

「6.1 強誘電体薄膜」では、講演奨励賞受賞記念講演を含む63件の発表があった。BiFeO<sub>3</sub>薄膜の強誘電性の限界に関するJJAP論文賞発表(CNRS(フランス)他)は、残念ながら取り消しとなった。総発表件数は昨年秋の大会とほぼ同数であり、春に比べて秋が減少する傾向も相変わらずである。内訳はPZT関連15件、マルチフェロイック関連14件、強誘電体ゲートトランジスタ関連12件、その他22件となっている。従来材料のほかに、有機強誘電体など新たな展開も認められた。

「6.2 カーボン系薄膜」では、64件の発表があった。台風の影響もあり、出席者は40~100名と大きく変動した。非晶質炭素、B-C-N系化合物薄膜に関する講演は33件で、製膜、電気的・機械的特性評価に加えて、生体親和性や化学的特性に焦点を絞った発表も見られた。また、DLC(ダイヤモンドライクカーボン)の摩擦の数値シミュレーションについて、講演奨励賞受賞記念講演があった。ダイヤモンド薄膜関係の講演は31件で、電子デバイス応用を意識し

た発表がほとんどであった。特に、パワーデバイス関連の発表は熱心に議論されていた。CVD(化学気相堆積)法の基礎過程、薄膜成長法などの基礎研究が影を潜めている。

「6.3 酸化物エレクトロニクス」では、106件(講演奨励賞申請25件)の発表があった。透明導電膜に関する研究では、水素添加In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜の低温形成、Mn添加ITO(酸化インジウムスズ)のスピンエレクトロニクスへの応用などの基礎研究が見られた。電界効果や光注入などを用いたSrTiO<sub>3</sub>へのキャリア注入の研究は、絶縁体-金属転移の研究を進め、固体電解質による電気二重層を用いた研究手法が示された。RRAM(抵抗変化メモリ)研究は件数が減る傾向だが、二元系遷移金属酸化物の動作機構として、導電性フィラメント内のパスの酸化還元機構がほぼ実証された。酸化物のエレクトロニクス応用に重要な、酸化物接合界面の電子状態の理解が進んでいる。

「6.4 薄膜新材料」では例年どおり、スパッタ法、MOCVD(有機金属化学気相堆積)法を中心とした物質開発、あるいは薄膜組織制御・機能開拓のための新プロセス開発の発表が主であった。装置開発や評価技術に主眼を置いた発表も見られ、講演内容は多岐にわたっている。このうち、薄膜の評価技術に関する発表は7件と、割合は低いが、いずれも薄膜材料の物性評価に対する新しい潮流となる質の高い発表であった。薄膜の新規物性に関する発表も興味深いものが多く、中でも南フロリダ大グループによる窒素ドーピングZnO薄膜におけるp型ドーピング機構の解析に関する研究は注目を集めていた。

「6.5 表面物理・真空」では、昨秋に比べ4件増加し、41件(講演奨励賞申請5件)の報告があった。報告対象は物質・現象・手法のいずれにおいても多岐にわたったが、常に活発な議論が交わされた。表面物理・真空技術に関する深い議論に加え、表面分析技術をベースに、表面・薄膜にかかわる境界領域的なテーマについて有意義な議論ができる貴重な場である。その中でも、ナノ構造の形成と評価およびSi酸化初期過程に関する発表が、引き続き多数あった。また、ナノ構造や薄膜の磁気的特性についての発表も多く、関心の高まりを見せた。

「6.6 プロープ顕微鏡」の一般講演59件はすべてポスターセッションとして行われ、2件の講演奨励賞受賞記念講演は別日程で行われた。大別すると、測定技術についてが25件、顕微鏡を用いた物性評価が34件であった。光トラップされたナノワイヤをプローブとする顕微鏡の提案など、従来の殻を破る研究発表のほか、STM(走査型トンネル顕微鏡)・AFM(原子間力顕微鏡)を用いた微細表面構造の形成・評価、走査型非線形誘電率顕微鏡の基礎・応用研究、AFMの高感度・安定化技術、高機能プローブ作製技術、バイオ計測への応用研究など多岐にわたる内容となり、会場は盛況であった。講演奨励賞申請は12件あり、プローブ顕微鏡に対する若い研究者の活躍が顕著に見られた。

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執筆をしていただいた。ここに感謝いたします。



## ビーム応用

富士通 浅井 了

大分類「ビーム応用」の総講演件数は、186件であった。一昨年までの200件超と比較すると少ないものの、昨年度秋の156件と比較すると20%程度増加した。今回は、一部ポスターセッションも開催され、活発な議論が行われた。また、マスコミレビューの1件として、「7.5 ビーム・光励起表面反応」からの推薦講演が選ばれた。以下に各中分類分科の報告を記す。

「7.1 X線技術」(38件)では、高輝度X線光源が威力を発揮した実験が数多く報告された。SPRING-8では物体の内部構造を非破壊で可視化できるのが、当たり前のようになっている。また、電子顕微鏡技術を応用した高輝度X線光源が開発され、高分解能の実験室X線顕微鏡が実現された。EUV(極端紫外光)領域における低デブリ高強度光源開発では、スズドロップレットターゲットが盛んに研究されている。これらの中に、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各1件含まれる。

「7.2 電子顕微鏡、評価、測定、分析」(20件)では、電子光学系、試料周り、検出系のそれぞれに着実な進展が報告された。若手研究者の登壇が7割を占め、それに対して、教育的な配慮に満ちた質問、コメントが多数出た。低速電子回折顕微鏡を目指したコヒーレント低速電子ビームの回折像観察の報告が興味を引いた。講演奨励賞受賞記念講演が1件含まれる。

「7.3 リソグラフィー」(23件)では、EUVリソグラフィーを中心に発表が行われた。レジスト関連では、ブロック共重合ラメラ相や液晶性高分子レジストなどの新しい材料の報告があった。化学増幅系レジストの基礎研究も進んでおり、酸発生機構・アミンとプロトンの反応・分子レジストの溶解性などが議論された。また、マスクレスリソグラフィー手法としてのフェムト秒レーザー・プロトン線の応用や、SEM(走査型電子顕微鏡)を用いた計測関連の発表も行われた。

「7.4 ナノインプリント」講演件数は25件、参加者は100名程度であった。今回、目立って多かったのは、低温でのガラス材料へのナノインプリントである。高い屈折率を有し、低温プロセスが可能な光学ガラス材料開発を積極的に進めている印象を受けた。基礎的なところでは離型剤の評価、モールドではEB(電子ビーム)による作製精度やFIB(集束イオンビーム)によるリペア技術の発表があった。転写の高忠実度性を利用した、簡易な超平坦面作製手法として、ナノインプリントを利用するという提案も新規である。三次元構造の複製手法として、離型不可能な構造に極薄の隔壁を付加する工夫により、結果的に、所望の複雑な三次元構造をPDMS(ポリジメチルシロキサン)モールドにより形成するという発表は、非常に興味深かった。

「7.5 ビーム・光励起表面反応」(15件)では、各種ビーム照射による表面反応が議論された。集束イオンビームを用いた、三次元ナノ構造成長の電子顕微鏡によるその場観察法が、兵庫県立大グループから発表された。観察結果のフィードバックにより、さらに精緻で複雑な構造体の作製が期待できる。また、希ガス分子線によるCNT(カーボンナノチューブ)配向膜の散乱解析に関する発表に対して、活発な議論が行われた。特に、レーザーデトネーション型原子線を用いた製膜・表面改質関連の発表が目を引いた。

「7.6 イオンビーム一般」(26件)では、原子・分子・クラスター状のイオンビームや負イオンビーム、集束イオンビーム照射による表面加工やナノ構造形成、薄膜形成に関する発表があり、それぞれ研究の進展が示された。さらに、イオン注入によるナノ粒子形成や、低・高エネルギーのイオンビームを用いた計測・分析技術の開発や装置の開発について活発に議論されるなど、幅広いイオンビーム一般の研究成果が示され、今後の展開が期待された。

「7.7 微小電子源」(28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、窒化物系などの陰極材料の電子放出特性、およびこれらのFEA(フィールドエミッターアレイ)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。特に、アクティブ駆動型HEED(高効率電子放出)撮像素子や、GaAs/GaAsPひずみ超格子構造のフォトカソードスピニング電子源など、完成度の高い研究発表があり、今後の応用展開が期待される。

「7.8 ビーム応用一般・新技術」(11件)では、レーザー加工・光リソグラフィー関連6件のほか、電子顕微鏡法によるハードディスク欠陥検査、電子線援用SiO<sub>2</sub>微細スパッタリングおよび金ナノ粒子形成、高エネルギーイオンビームによるイオントラックでのSiCナノワイヤ形成、生体高分子へのイオンビーム照射表面改質による生体適合性の評価など、各種ビームを応用した新技術の研究開発が進展し、反応機構が原子レベルで議論された。

本報告は、羽多野忠(東北大)、早田康成(日立中研)、廣島洋(産総研)、篠塚雄三(和歌山大)、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。

## 応用物性

産総研 舟橋 良次

「8.1 磁性材料・磁気デバイス」では、酸化物磁性材料、金属磁性材料、およびデバイス関連を中心に、合計24件の発表が行われた。酸化物レーザーMBE(分子線エピタキシー)および同チャンパー内での水素還元のコンビネーションで、アルミナ基板上のテラスに、選択的にNiなど磁性金属を自己組織的に析出させる研究(7a-ZD-9)は、今後のアプリケーションへの展開も期待できる。また、Co/Pt

超格子膜に対して、独自の音響フォノン共鳴スペクトロスコピー法を用いた測定から、Co層およびPt層の弾性ひずみエネルギーの相関により、界面に導入される欠陥によるエネルギー緩和のモデルが提唱された(7a-ZD-11)。

「8.2 誘電材料・誘電体」では17件の発表があり、誘電体の基礎・応用に関する最新のデータが発表された。特に、非鉛系圧電材料に関しては、作製法、分極処理法による特性改善に加えて、相転移挙動などの物性評価・計算解析など多くの報告があり、この分野の進展に大きく寄与するものであった。また、ビスマスフェライト、チタン酸ビスマス系などの誘電体単結晶の育成がなされ、強誘電特性が結晶欠陥により大幅に制御できるという新しい概念の提示や、ラマン分光法などによる酸素欠陥評価の研究もあり、今後の展開が期待される。高周波・光関連では、新しい測定法の開発や、チタン酸バリウム-ストロンチウム系薄膜の超格子作製から、企業による実際の素子形成に関するものまで、幅広い報告があった。本分科は、基礎理論、材料・工学応用、企業の応用研究とバランスがよく、研究者の横断的な情報収集の場として有効に機能している。

「8.3 微粒子・粉体」に関する発表は12件であった。このうち、微粒子、ナノ粒子の作製に関する発表は5件で、報告された材料系は、金、白金、五酸化バナジウム、酸化亜鉛、ニッケルなどであった。微粒子の帯電・捕集に関する発表は3件で、作製した微粒子の静電捕集、トナーの付着力、液体漏洩噴出時の帯電などに関する報告があった。また、静電気除電に関しては4件の発表があり、空気イオナイザーの性能向上などについての報告がなされた。

「8.4 ナノエレクトロニクス」では、21件のポスター発表が行われた。さまざまな分野の発表者と聴講者が参加し、有意義な意見交換の場となった。講演は、高精度SPM(走査プローブ顕微鏡)加工(農工大、横浜国大)や、ナノギャップ形成と応用(産総研、船井電機、農工大)に活気がある。単電子・量子デバイスおよび回路関連は、新展開を含みつつ着実に進展している(NTT、東工大、電通大、北大)。高分子燃料電池材料界面(阪大)、Siナノワイヤ選択配置(松下電器)など、多様な話題提供もなされた。今後も、萌芽的・分野横断的研究を積極的に受け入れていきたい。

「8.5 熱電変換」発表件数は、例年とおりの37件であった。分類は、化合物半導体、酸化物材料、薄膜材料(超格子系を含む)、評価・理論とデバイス開発であった。例年に比べると酸化物材料が減り、一方、デバイスとそれに関連する評価方法が増えた。そのデバイスなどの分類では、素子作製についての改良技術や新たな冷却システム、発電モジュールに関する提案があった。また、微小領域の物性、特に熱伝導率の測定に関する最新の研究結果がいくつか報告された。特に興味深かったのは、比較的簡単な原理により無次元性能指数を評価できるハーマン法に関するものであり、材料の精密評価、探索の効率化に役立つことに期待したい。

「8.6 新機能材料・新物性」では、10件の講演があった。各種機能材料の磁気的特性や発光特性に対し、局所構造解

析から機構解明する報告が種々あり、各種物性の理解が進んでいることがうかがわれた。また、粉末伝導体の拡散反射スペクトルから電子濃度を測定する新規解析技術も報告された。さらに、光励起、超音波化学反応によるナノシート作製など、新たなナノ材料創製の可能性を示唆する報告もあった。多孔体の抵抗-温度特性を利用した有機物センシング、有機無機ハイブリッド接着剤など、今後の応用展開が期待される報告もあった。

## 超 伝 導

名大院工 吉 田 隆

超伝導分科の講演総数は、「9.1 基礎物性」「9.2 新材料、新薄膜、新低温動作デバイス」「9.3 薄膜、厚膜、テープ作製プロセスおよび結晶成長」「9.4 臨界電流、超伝導パワー応用」「9.5 アナログおよび関連技術」「9.6 接合、回路作製プロセスおよびデジタル応用」の6中分類のもと、計138件の講演が行われた。

「9.1 基礎物性」では、24件の講演が行われた。発表の内訳としては、厚膜・薄膜関係2件、バルク・単結晶関係9件、固有接合関係11件、磁気光学顕微鏡関連ほか2件であった。薄膜関係では、LaRECOの抵抗率やREBCOの表面抵抗などについて、系統的な特性評価が行われていた。バルク・単結晶関係では、従来のLa系、Y系、Bi系超伝導体の作製・物性評価に加え、層状ペロブスカイト型を用いた新超伝導物質の探索などの報告があり、今後の成果が期待される。固有接合関係では、デバイス作製法からトンネル分光、スピン注入、磁場・高周波応答など、多岐にわたる報告が行われた。固有接合以外として超伝導体/半導体接合への光照射について報告があり、光照射によるジョセフソン電流の増大は、界面バリアの低減によることが明らかになった。また、Nb薄膜における磁束の磁気光学観察についての報告があった。

「9.2 新材料、新薄膜、新低温動作デバイス」では、新超伝導体の報告、MgB<sub>2</sub>薄膜とそのデバイス応用、固有接合素子、新しい高温超伝導デバイス用絶縁膜などについて、9件の発表があった。新物質では、東工大フロンティアの宮川らが、かご状結晶構造中のフリー酸素イオンを還元処理して得られた、室温大気中で安定な12CaO・7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>での超伝導状態について報告した。超伝導転移温度(T<sub>c</sub>)は0.2Kと低いが、セメントの原料物質由来のエレクトライド(電子がアニオンとして働くイオン結晶)で発現した初めての超伝導の例であり、興味深い。ほかに、東工大フロンティアの渡辺らは、Ni系層状オキシリン化合物LaNiOPがT<sub>c</sub>=3Kの超伝導体であると報告した。MgB<sub>2</sub>系では、情通機構の島影らが、SQUID(超伝導量子干渉素子)やSFQ(単一磁束量子素子)への応用を目指して作製したMgB<sub>2</sub>/Al/AIN/MgB<sub>2</sub>のオーバーダンプ型接合で、理論に一致したき



れいなフ라운ホーファーパターンを報告していた。MgB<sub>2</sub> 接合における、ジョセフソン電流分布の均一な高品質接合が得られた証しとしている。神戸大院の辰巳らは、Mgの蒸着レートを31 nm/sまで上昇させることにより、膜厚15 nmでT<sub>c</sub>(0)=28.3 KのMgB<sub>2</sub> 薄膜を得たと報告した。単一光子検出に有利な極薄膜 MgB<sub>2</sub> 作製へつなげる結果として注目される。

「9.3 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(有機金属堆積)法に関して11件、午後は主にPLD(パルスレーザー堆積)薄膜に関して18件の報告がなされた。非フッ素系MOD法において、ナフテン酸塩およびオクテリル酸塩を用いて、作製条件の比較や、複数の123系材料の混晶による効果などについて報告があった。また、結晶成長速度の制御やレーザーアシストプロセスに関する報告もあった。TFA(トリフルオロアセテート)-MOD法では、RE-123系薄膜の作製や、作製条件と組織変化の系統的な検討がされていた。また、高磁場特性向上に関する試みも報告された。PLD法では、BaZrO<sub>3</sub>など自己組織化ピン止め材料の導入、La系材料や酸素アニール効果に関する報告がなされた。また、講演奨励賞受賞の記念講演として、人工ピン止め点を含むRE-123系薄膜の磁気相図に関する講演も行われた。

「9.4 臨界電流, 超伝導パワー応用」のセッションでは、午前中11件、午後12件の合計23件の報告が予定されていたが、2件の取り消しがあり、21件となった。この中には、春の学会での講演奨励賞1件およびJJAP論文奨励賞1件の受賞講演が含まれている。JJAP論文奨励賞受賞記念講演では、名大の三浦正志氏により、臨界電流特性の優れるLTG-Sm 123膜について、講演奨励賞受賞記念講演では、東大の桂ゆかり氏により、MgB<sub>2</sub>における元素置換による特性向上について、それぞれ、受賞講演にふさわしくよくまとまった解説がなされた。一般講演ではBi系高温超伝導材料に関して2件の報告があり、Bi-2223線材は材料として成熟しつつあるが、さらなる特性向上の可能性を残している印象を受けた。その他RE-123パルクに関して4件、RE-123コート線材に関して9件、MgB<sub>2</sub>に関して2件のほか、金属系超伝導線材に関して1件、ピニングに関するシミュレーション1件、臨界電流密度の評価法1件が報告された。今回は、金属系超伝導材料に関する講演があったことで講演内容に幅が増えた印象だったが、2件の申請のうち1件が天候のため取り消しとなったことが残念だった。今後、金属系超伝導材料やそれを用いたパワー応用機器に関する講演が増えるとともに、磁束ピニングに関する議論が深まることに期待したい。

「9.5 アナログおよび関連技術」では、SQUID、マイクロ波フィルターおよび超伝導検出器など、35件の講演が行われた。SQUIDに関する発表では、非破壊検査、免疫検査、生体計測などへの応用を目的としたシステム開発について報告が行われた。中でも、良質なランプエッジ接合を用いたHTS(高温超伝導体)-SQUID開発についての報告が注

目を集めた。また、二次元グラジオメーターを用いた簡易型脳磁計について報告があり、より低コストな脳磁計の開発について活発な議論が交わされた。超伝導フィルターでは、チューナブルフィルターのチューニング特性を中心に、耐電力特性やMgB<sub>2</sub>を用いたバンドパスフィルターなどについて報告が行われた。超伝導検出器に関しては、電波天文、量子情報通信およびテラヘルツ波検出など、さまざまな分野での応用へ向けて活発な質疑応答がなされた。そのほか、光インターフェースへの応用を目的としたジョセフソン接合のフェムト秒パルス応答などが報告された。

「9.6 接合, 回路作製プロセスおよびデジタル応用」では、20件の講演が行われた。Nb系集積回路では、これまでの4層を大きく上回る9層のNb配線プロセスの開発が進められている。多層配線上でのジョセフソン接合の作製や、電源専用面の導入による磁場遮蔽効果の改善に関する報告があり、多層配線プロセスの導入によりSFQ回路大規模化の大幅な進展が期待される。実用化へ向けた重要な実装技術と考えられる光信号入出力に関しても、3件の報告があった。半導体光検出器とSFQ回路の集積化技術の開発と、光信号によるSFQ回路駆動実証、超伝導光検出器の光応答特性に関する発表があり、活発な議論が行われた。

なお本報告は、入江晃亘(宇都宮大)、仙場浩一(NTT物性基礎研)、一野祐亮(名大)、淡路智(東北大)、川山巖(阪大)、寺井弘高(情通機構)の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

東大理 島田 敏 宏

有機分子・バイオエレクトロニクス(M&BE)大分類分科においては、501件の一般講演が行われた。講演件数としては、大分類中で最も多い数字である。M&BE分科としての推移を見ると、図1に示すように、昨年の2006年秋季大会(423件)に比べて78件増加しており、秋季応用物理学学会学術講演会としての過去最高を更新した。今回は北海道での開催であったためか、全体に学生の参加が多かったという分析結果があり、学生の発表が多い当大分類においてこの傾向が顕著に現れたのではないかと考えている。図には中分類ごとの発表件数の推移もあわせて示した。分類の組み合わせがあり簡単に比較はできないが、特に目立った減少を示す分類はなく、順調に推移している。「10.5 液晶」は、同時期に北海道大学で行われた強誘電性液晶国際会議との日程調整により、参加者の行き来が可能になり、有意義であった。

今回は台風の襲来があったが、参加者の皆様・座長、世話人の方々の努力により、交通の混乱にもかかわらず、大きな問題はなく会を終了することができた。感謝申し上げる。会期中は一般講演に加え、JJAP論文賞、M&BE奨励賞および講演奨励賞の受賞記念講演計7件が行われた。シ

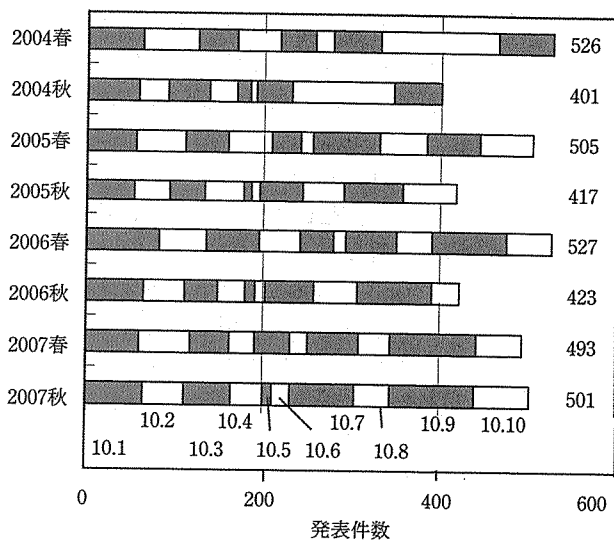


図1 有機分子・バイオエレクトロニクス分科中分類の発表件数の推移。左から、10.1 作製技術、10.2 評価・基礎物性、10.3 電子機能材料・デバイス、10.4 光機能材料・デバイス、10.5 液晶、10.6 高分子・ソフトマテリアル、10.7 生物・医用工学・バイオチップ、10.8 有機EL、10.9 有機トランジスタ、10.10 生体分子計測・バイオナノテクノロジー。

ンポジウムに関しては、本大分類が主として、もしくは共同で企画した「バイオチップの現状と課題—企業での研究開発の視点から—」「有機デバイス評価と有機トランジスタの新展開（基礎編・応用編）」「実用化の立場から見たソフトマテリアル」「プログラム自己組織化を用いた分子スケールデバイス—ボトムアップ／トップダウン融合の視点から—」のほかにも、関連のキーワードを題名・講演に含むシンポジウムがいくつかあった。

今回は、一部のシンポジウムで立ち見が出たが、一般講演では、会場に入りきれないといった不都合はほとんどなかったようである。シンポジウムが多すぎるといふ批判をしばしばいただいております。企画段階で調整に努めるとともに、できるだけ一般講演の障害にならないように注意してプログラム編成をしていきたいと考えている。

特に発表件数が多い「10.9 特定テーマA：有機トランジスタ」（今回、過去最多の98件）を、恒常的に一部ポスターとしている。ポスター／口頭の振り分けについて質問をいただくことがあるので、説明する。プログラム編成会議のときに、各分野の件数とポスター枠の数を見ながら、過去のポスター／口頭の割り振りの経緯も踏まえて、ポスターとなる分野が固定しないように決めている。事前にどの分野がポスターになるかはわからないので、ご理解をいただければ幸いです。この中分類のポスターの活発な議論を見て、ほかの中分類からも、ポスターの常設化を検討する声が上がっており、今後の課題としていきたいと考えている。また、有機トランジスタは分野として確立されたと考えられるので、時限付きの「特定テーマ」としての扱いを終了し、次回から常設中分類「12.9 有機トランジスタ」として募集する。

従来どおり、中分類一つを順番にポスターとすることは

続ける予定であるので、次回（2008年春）は「12.1 作製技術」を全部ポスター、「12.9 有機トランジスタ」を一部ポスターとして募集する予定である。この点を含め、プログラム編成・講演会運営に関してご意見がありましたらお知らせいただきたい。

各中分類での具体的なトピックスに関しては、各プログラム編集委員からの記事をまとめてM&BEの分科会誌（Vol. 18, No. 4）に掲載予定である、ご参照いただきたい。

## 半 導 体 A ( シ リ コ ン )

宇宙研 廣 瀬 和 之

「11.1 基礎物性・評価」では、講演奨励賞受賞記念講演を含む、28件の発表があった。受賞記念講演では、TEM-EELS（電子エネルギー損失分光透過型電子顕微鏡）による局所的な結合状態分析に関する東芝（研開）の成果が報告された。一般講演では、多孔質、ナノワイヤ、ナノ結晶に関する多数の発表が継続的に行われている。また、不純物に関する新しい物理測定・現象や、局所的ひずみの計測法に関する発表が増えてきている。そのほか、重イオンやレーザーにより誘起された短パルス電流の測定結果や、Si中の金属の拡散・凝集に関する知見など、多彩な発表がなされた。

「11.2 半導体表面」の発表件数は41件であり、前回までに比べ急増した。主なトピックスは、Siウエハの洗浄技術と極薄酸化膜成長初期素過程の解析である。洗浄技術としては、高ドーズイオン注入後のレジスト剝離技術がデバイスメーカー、装置メーカーから多数報告され、質疑応答も活発であった。酸化の初期過程解析では、従来のDeal-Groveモデルでは説明できない初期酸化過程の統一的理解が、物理的評価技術と理論計算技術の進歩によって可能になりつつある。また、本セッションのJJAP論文奨励賞受賞記念講演として、初期酸化過程に関する東北大学の継続的研究の成果が発表された。

「11.3 絶縁膜技術」では、1件のJJAP論文受賞記念講演を含む97件の講演が5日間にわたってなされた。講演の大部分は、MOSFETのゲート絶縁膜物性・プロセスに関するものであるが、伝統的なSi基板を酸化・窒化して形成するSiO<sub>2</sub>、SiONゲート絶縁膜に関するものは十数件にすぎない。希土類系およびHf系ゲート絶縁膜に関するものが合わせて50件弱で全講演の半数を占め、それらhigh-k（高誘電率）ゲート絶縁膜プロセスで問題となるフラットバンドシフトもしくはフェルミ準位ピンニング現象に関して、特に活発な議論がなされた。また、Ge基板FETに関する講演も15件に達し、新材料チャンネルFETとして一つの研究分野を形成しつつある。

「11.4 配線技術」では、「LSI多層配線の微細化限界とブレイクスルー技術」と題した総合講演を行った。この講演は、LSI多層配線技術が直面する問題、微細化の限界、および材

料, プロセス, 構造のあるべき姿に関して, 特に材料・プロセス・信頼性に関する話題を中心に, 次々世代 BEOL(多層配線層) 技術の方向性を探ることを意図している。多数の参加者が集い, 今後の方向性に関して活発な議論がなされた。一般講演は 34 件と, 昨年(41 件)と比較して少なかった。内容的には Cu/low- $k$ 配線が中心であり, 微細化限界を突破するためのさまざまな手法に関する提案がなされた。

「11.5 Si プロセス技術」では, ELA (エキシマレーザーアニール), パルス RTA (瞬間熱処理), 半導体レーザー, 大気圧熱プラズマジェット, マイクロ波, レーザープラズマ X 線などを用いた多結晶 Si 膜の形成法や, ドーパントの低温活性化, 極浅イオン注入 Si の再結晶化に関する発表があった。Si 以外に TaSiN, NiSi, SiGe, Ge, TiN, Pd<sub>2</sub>Si などの材料についても報告され, その可能性が議論された。数値制御大気圧プラズマ犠牲酸化法による SOI 基板の均一化, ひずみ SOI 基板の構造評価, SBSI 法により形成した SOI/BOX 構造の均一化の検討, BPSG(ボロンとリンを添加した SiO<sub>2</sub>) 膜による Si 薄膜へのひずみ導入に関する発表があった。また, Si 基板中の B および Si 同位体超格子中の Si の拡散, 不純物原子の配列制御に関する発表があった。さらに, フラッシュアニールによる SOI ウエハー内の温度解析の発表については活発に議論された。

「11.6 Si デバイス/集積化技術」では, 73 件の報告があった。これは, 前回春とほぼ同数である。Si ナノデバイスでは, 量子ドット間の電子の輸送特性, およびそれらに応用したメモリーやトランジスタ特性に関する報告があった。微細 CMOS では, 接合設計, メタルゲートの FinFET への適用, Ge チャネル・ナノワイヤなどの高移動度チャネル技術, ばらつき要因解析, 各種手法による移動度やキャリアの輸送特性の計算など, 報告は多岐にわたっているが, FinFET 関連の報告が減少した。その他 MEMS デバイスでは, RF CMOS との融合をはじめとする, 興味深い報告がなされた。

「11.7 シミュレーション」の前半は, 宇宙線に起因するソフトエラー, As ドーピング, 光アニールプロセス, SiO<sub>2</sub> 多結晶の電気伝導計算, 不純物ドーピングによる転位蓄積, SRAM 回路の 3D-TCAD シミュレーション, 局所ゲート空乏化の影響, クーロン相互作用の厳密モデリングに関する報告が行われた。後半は, 極微細 MOS のノイズ源のモデル化と解析モデル, 化合物半導体チャネル, Ge pMOS, ひずみ Si-MOS の量子輸送解析, およびフォノン散乱の量子論的取り扱いと, グリーン関数の連続基底展開表示の 3D デバイスへの適用に関する報告が行われた。

## 半導体 B(探索的材料・物性・デバイス)

東大ナノ量子情報エレ 白 杵 達 哉

本分科では, 半導体の基礎物性, プロセス・デバイス技

術にかかわる発表・討論が活発に行われた。以下に, 各中分類委員の方々からの報告をまとめる。

「12.1 探索的材料物性」では 55 件の発表があり, 全体を通じて活発な議論がなされた。シリサイド関連では,  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 単結晶の清浄表面 (原子力機構・茨城大), 高圧下での  $\alpha$ -FeSi<sub>2</sub> 結合の特異性(物材機構他),  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> ナノ粒子形成の直接観察(阪大), Si/ $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/Si-LED の発光効率の改善 (筑波大), Fe<sub>3</sub>Si/Ge 多層ヘテロ構造 (九大・京大) などの報告があり, 基礎と応用両面で研究の進展を感じた。特に, 3C-SiC 上の  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> エピタキシャル成長(神奈川産技セ)と, シリサイドフォトリソニック結晶の共役反転格子(京大他) のアイデアは注目を集めた。また, シリサイド以外では, 希土類層状酸化物やカーボン系材料などの発表があり, 探索材料の広がり印象に残った。(鶴殿, 寺井)

「12.2 超薄膜・量子ナノ構造」では, 68 件の発表があった。中でも, 超伝導ナノギャップ電極と結合した単一量子ドットの伝導特性 (東大) は, クーロンダイヤモンドとともに超伝導ギャップに起因する伝導度の減少が観測され, 注目に値する。量子ドットを用いた単一光子発生では, 1.55  $\mu$ m 帯の電流注入型単一光子発生器 (東大) などの発表があり, 活発な議論が行われた。一方, 化合物半導体ナノワイヤ FET は MES 型上面ゲートの試作 (北大) が行われ, 高性能化に向けた開発が着実に進展している。最後に, 半導体薄膜を巻き込んで作られた量子マイクロチューブ (大阪市大) の報告があった。新しいナノ構造として, 今後の発展が期待される。(本久, 山口, 白杵)

「12.3 プロセス技術・界面制御」では, 28 件の発表があった。そのうち 18 件が GaN 系材料の発表であり, この分野の研究対象の中心となっている。電子デバイス開発の進展に伴い, 電流コラプス, ゲートリークなどのデバイス特性に深く関連する表面保護膜の形成, MIS 構造の界面評価, 表面欠陥の評価などの基礎的な研究分野が重要視され, 発表が増加している傾向にある。GaN 以外の半導体の分野では, 電気化学反応 (陽極酸化) を用いたナノ細孔の形成に関する発表が 3 件行われた。InP, GaAs, アルミナと材料は異なるが, 比較的大がかりな装置を必要とせず形成でき, 細孔構造の応用分野もこれから広がるとの見込みもあり, 大学を中心として研究が進むものと思われる。(塩島)

「12.4 超高速・機能デバイス」の分科では, 非 GaN 系では, ホットエレクトロントランジスタ, In(Ga)As HEMT (高電子移動度トランジスタ)の物理特性評価のほか, SiC, SiGe の新規デバイスの講演があった。名西(立命館大, 招待講演)は, GaN 系デバイスと結晶欠陥の相関を「功」「罪」に分けて講演した。「功」の欠陥利用は合理的であり, 信頼性との相関が注目される。GaN 系 HBT (ヘテロ接合バイポーラトランジスタ)では, GaN/SiC 系が発表された。良好な高温特性の GaN/GaNN 系に比べ発展途上であるが, 今後の進展が期待される。GaN 系デバイスへのイオン注入についてコンタクト抵抗低減は十分なものとなり, イオン注入を生かした新展開が望まれる。今回, GaN 系で初めて,

高相互コンダクタンスのノーマリーオフデバイスの報告があった。High- $k$  (高誘電率) 絶縁膜を利用した手法は、一歩抜きん出た感がある。(石川)

「12.5 半導体光物性・光デバイス」の分科では、化合物薄膜太陽電池では、CuInGaSe<sub>2</sub> 系の高効率や低コストを意図した多様なデバイス開発研究に加えて、AgGaSe<sub>2</sub>、Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> および SnS などの新材料研究などにおいて、活発な議論が行われた。Si 系では、ナノ結晶 Si の発光に関するものほか、バルク Si の励起子発光や量子井戸の光学特性に関する報告があった。一般講演に先立ち、湘南工科大の香川教授による Si APD (アバランシェフォトダイオード) 二光子吸収過程に関する分科内招待講演が行われた。Si 太陽電池に関連して、バルク多結晶 Si 基板の再結晶中心となりうる 亜粒界、転位、応力、不純物などの評価に着実な進展が見られた。希土類関係は発表件数の多さに加えて、常に満席状態の盛況ぶりであった。(永吉)

## 結 晶 工 学

電通大 山 口 浩 一

大分類分科「結晶工学」の講演件数は 368 件であった。以下に、各中分類分科世話人からの報告をまとめる。

「13.1 バルク結晶成長」はショートプレゼンテーション付きのポスター発表で、総数 17 件であった。KDP, CBO, KN, LN などの非線形酸化物結晶育成、LF<sub>3</sub>, CaF<sub>2</sub> などのフッ化物やガーネット結晶の育成とレーザーやシンチレーション特性に関する報告に加え、フラックス LPE (液相エピタキシャル成長) 法による AlN 結晶育成や  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板上の GaN 結晶育成などのワイドギャップ半導体結晶、Si 育成における転位発生挙動の解明や一方凝固プロセスの解析、InGaSb 化合物半導体の組成均一化についての報告がなされた。

「13.2 II-VI 族結晶」のセッションでは、近年の研究が継続され発展している様子が見られた。可視光素子発光に関する研究の発展、紫外線検知器に関する研究の発展などである。また、ZnTe のホモエピタキシーに関する研究も着実に成果を出していた。ZnO やその混晶材料に関する研究もセッションの中で多くの比率を占めてきている。ナノ構造の作製に関する成果が多く発表されていた。

「13.3 III-V 族エピタキシャル結晶」では、量子ドットと希薄窒化物混晶関連が全体の約 60% を占めた。量子ドットでは、形成機構、高均一化、高品質化、多層化、位置制御、偏光制御がトピックスであり、特にメタルマスクを用いた MBE (分子線エピタキシー) 選択成長と InGaAs ひずみ緩和層を組み合わせた手法は、異なる発光波長をもつ InAs 量子ドットの集積化技術として注目を集めた。希薄窒化物混晶では、GaNP および GaInNAs 系薄膜の結晶評価や、単一光子源応用に向けた窒素  $\delta$  ドープ結晶の等電子トラッ

プ発光に関する講演が多く、また Si 基板上 III-V 族エピタキシャル成長の報告も増えてきた。

「13.4 III-V 窒化物結晶」では、III-V 族窒化物の基板作製に関する研究が多くあった。GaN 単結晶育成に関する数多くの発表もあったが、AlN および AlGaIn 基板を目指した HVPE (ハイドライド気相) 成長など、デバイス研究側からの要望の高い基板開発が積極的に展開されている印象を受けた。また、深紫外発光デバイスでは、理研のグループより 261 nm のミリワット動作が報告されるなど、AlGaIn 系発光ダイオードの開発も着々と進んでいる印象を受けた。また、InN の作製および評価に関する発表も数多くあった。Mg をドープした InN 薄膜から p 型伝導性を示す傾向が示されるなど、InN 作製・評価技術の向上は着実に前進している。

「13.5 IV 族結晶, IV-IV 族混晶」では、ひずみ Si や緩和 SiGe のひずみ制御技術、および結晶性評価に関する発表が多数を占めた。特に、放射光 X 線回折、高分解能 TEM (透過電子顕微鏡) などによる転位構造、結晶面傾斜、ひずみ状態、それらの局所領域評価、面内分布評価などが報告され、活発な議論が交わされた。また、高速 Si/Ge ヘテロデバイス実現に向けて、結晶欠陥や面内ひずみ揺らぎのデバイス特性への影響、ひずみ Ge チャネルの世界最高移動度、Ge の正孔有効質量の理論計算、GeSn バッファを用いた引っ張りひずみ Ge 層の実現なども報告され、今後の進展に期待がもたれた。

「13.6 IV 族系化合物」では、63 件のすべての発表が SiC 関係であった。バルク成長では昇華法が主流であるが、成長の低温化あるいは 2H のような未達のポリタイプの育成を狙った溶液法が試みられてきた。放電加工を用いた新しいウエハー・スライス技術が開発され、従来のワイヤソー切断よりほぼ 1 けた高速で、かつ変質層厚の薄い切断が可能となった。積層欠陥や転位がデバイスの性能や信頼性に与える影響などの問題に対峙する研究が、潮流となってきた。また、n 型 SiC 領域への Ni コンタクトの信頼性やプロセス適合性の問題も指摘された。

「13.7 エピタキシーの基礎」では、半導体の薄膜表面・界面およびナノ構造に関する理論計算の発表が全体の約 60% であった。Sb 照射 GaAs 表面構造の詳細な観察測定と理論計算の報告では、その構造が明らかになりつつある印象を受けた。また、GaAs 加工基板上への GaAs および GaNAs の成長、SiC 系ヘテロ成長構造に関する理論解析など、基礎的なエピタキシーの議論が活発になされた。

「13.8 結晶評価, ナノ不純物・結晶欠陥」では、Si を中心に、結晶中の点欠陥、軽元素(水素やドーパント)、重金属 (Cu, Fe) について、活発な議論がなされた。太陽電池応用を目的とした多結晶 Si 材料の評価が出始めたことは、注目に値する。また、SPRING-8 の赤外域を利用した実験が 2 件紹介された。前回に引き続き、点欠陥、特に原子空孔の挙動が着目され、重金属や軽元素の挙動にも原子空孔が重要な役割を果たしていることが明らかになりつつある。

## 非晶質・微結晶

広島大 東 清一郎

「14.1 基礎物性・評価」では、ワイドギャップ a-Si:H 薄膜の光照射と光吸収係数、テクスチャー基板表面ラフネスと微結晶 Si 薄膜の結晶性および欠陥密度、微結晶 SiGe の組成、製膜温度と欠陥密度の報告があった。酸化物系、カルコゲナイド系アモルファスの構造と物性に関する発表では、光黒化現象と光誘起欠陥の同時測定によるカルコゲナイドの光誘起現象の機構解明、光照射によるカルコゲナイドの真空紫外スペクトルの変化、オキシカルコゲナイドガラスの光黒化現象と構造、あるいはシリコン亜酸化物からの発光と構造など、光学特性、および光誘起現象から構造を議論する内容が中心であった。

遷移金属酸化物を含んだ多成分系の物質でファイバーの性能指数を上げた報告は、実用材料への期待を感じさせるものであった。ドーブした酸化物の粉末体を、屈折率の制御が可能な有機物質に分散させて、光散乱の低減を図る報告があり、微結晶無機・有機ハイブリッド物質は今後の展開に期待したい。

SiO<sub>2</sub> 系ガラスに関しては Ge-Bi または Yb 添加による蛍光特性の向上が、また長鎖を有するアルキルトリエトキシシランを原料に自己組織化膜で被覆、あるいはシリカゲルを凍結乾燥し、可視発光強度が増大するとの報告があった。凍結過程に関して、Ge あるいは Yb 添加ガラスの屈折率や光吸収を、仮想温度で効果的に制御できるとの報告があった。特に Yb は高濃度が実現されており、その中で吸収・発光挙動を精密に制御することへの期待は大きい。失透機構に関して、塩素を多量に含む場合に、結晶析出の機構がほかと異なることが赤外分光測定により詳細に示された。失透域の微視的構造や塩素の役割に関する知見、報告を、今後待ちたい。

F<sub>2</sub> レーザー励起で生じた原子状水素のガラス内での挙動が、パルス ESR (電子スピン共鳴) 測定をもとに議論された。また、軟 X 線照射による屈折率上昇が、欠陥生成機構の観点で考察されたが、屈折率変化の直接要因の解明が今後望まれる。

「14.2 プロセス技術」では、Cat-CVD (触媒化学気相成長) 法における金属触媒体寿命の向上に、クロムを含有する合金が耐酸化性に優れること、シランを使用する製膜工程においても、触媒体クリーニングにより、製膜速度や膜質の再現性が高まること、また、ユニポーラパルススパッタを用いることにより、絶縁膜の高速堆積時にもアーキングの発生が抑制され、ポリマー上への窒化シリコンバリア膜形成に適用可能なことが報告された。Si ナノドットへの P ドーピングに関して、Ar 希釈 PH<sub>3</sub> により表層部がアモルファス化するものの、内部は結晶化していること、P がナノドット中に取り込まれていることが確認されている。

ホットワイヤにより作製した TCO (透明導電膜) 保護膜用 TiO<sub>2</sub> において、反応室内圧力を増加させることで、透過率を 80% まで改善できたこと、また、タンデム型セルに 3C-SiC ドープ層を用いる際の下地層へのダメージ低減のため、中間層として、両セル間への TiO<sub>2</sub> の挿入が有効であることが報告された。セル特性としてはまだ不十分であるが、強いプラズマ耐性を示すことが確認できた。n 型ナノ結晶 SiC を、VHF (超高周波) プラズマによりモノメチルシランとヘキサメチルジシランゼンから作製し、結晶化率 38%、活性化エネルギー 0.15 eV を実現し、これをヘテロ接合太陽電池に応用したところ、大幅な短波長感度の向上と変換効率 13.4% を達成した。

「14.3 デバイス」では、Ge 濃度 20%、厚さ 1 μm の微結晶 SiGe 太陽電池で、効率 6.3% が報告された。Ge 濃度 20% 以上の領域では、pi 界面の再結合準位密度の増大により開放電圧、曲線因子が減少する。今後の高品質化が期待される。赤外分光法による結晶粒界の SiH 結合様式が、薄膜太陽電池性能の指標として利用できる報告があった。タンデム素子の上部層への応用を目的としたプラズマ CVD (化学気相堆積) 法 a-SiOH 膜の作製および太陽電池素子に関して、変換効率 6.63% が報告された。HIT 型太陽電池の裏面電極形成の簡素化のための、Cat-CVD 法によるハードマスクを用いた裏面電極直接形成に対する検討が紹介された。今後、実際の素子の作製と性能の検討が期待される。

微結晶 Si 薄膜太陽電池において、ゾル-ゲル法により作製された ZnO:Al 膜による基板平坦化が、J<sub>s</sub> および変換効率の向上に寄与することが報告された。基板温度 180~220°C において、VHF プラズマ CVD 法による (220) 優先配向性微結晶 Si 膜の低温形成で、電極間隔、圧力、基板温度の最適化により、160°C で製膜速度 8 nm/s、結晶化率 50% の微結晶 Si 膜による太陽電池の性能が報告された。

以上、薄膜太陽電池の高性能化に関する研究は、タンデムおよびトリプルジャンクション構造太陽電池による高効率化が主流で、これらの実現に向けた取り組みが着実に進展している。

## 応用物理一般

東海大 浅 香 隆

「15.1 応用物理一般」では、粘弾性・超音波技術など、力学物性の基礎計測法とその応用に関する発表が過半数を占めており、この分科における最近の特徴をよく表していた。中でも、超音波による結晶評価や非破壊検査などの新技術の発表が顕著であった。また、レーザーを用いた心筋の鼓動制御とそのモデル化 (阪大院, 理研) など、多様な分野の境界領域に位置するユニークな発表が増加しつつある。

「15.2 物理教育」では、物理実験や工学系基礎実験教育に関連する発表をはじめ、文系を対象とした一般物理教育への実験授業の導入、補習教育や e-learning システムの開発、環境・エネルギーに関する教育や、超伝導など先端材料の活用に関する計 19 件の発表があった。特に、本分科ではポスターセッションを採用しており、実験教育用に新たに開発した教材を展示、実演できるため、発表者と参加者が直接コミュニケーションをとれる場として非常に好評である。

「15.3 新技術」では 8 件の発表があり、その大半がセンシングシステムに関するものであった。中でも、香りのガスクロマトグラフィーに関する報告（岡山理大、他）は、ガスクロマトグラフの検出部に触媒化学発光を利用して、食品に含まれている香料を高感度で検出するとともに、クロマトグラムを円グラフで表現して、香りの成分と量を一目で判断しうるシステムを構築した点で注目に値する。また、断線位置検出技術に関する報告（日立生研）では、静電容量結合技術を利用した液晶ディスプレイの歩留まり改善に関するシステム構築と実験手法が報告された。

「15.4 トライボロジー」では、計算手法によるナノスケールでの固体界面のシミュレーション解析をはじめ、放電発光や帯電・電荷量の測定、機器分析時における雰囲気の影響など、計 5 件の発表があった。中でも、粘着テープの剝離に伴う放電発光と帯電に関する報告（学習院大、他）は、固体表面と粘着剤との凝着から剝離までのプロセスを実験的に解析し、帯電や発光の原因を考察した点で興味深いものであった。

「15.5 エネルギー変換・貯蔵」では、地方開催のためか前回より発表件数が大幅に減少し、6 件となった。中でも、Li を触媒とするマイクロ構造をもつ広表面積活性炭の形成法とその水素吸蔵特性に関する報告（長岡技科大、都城高専）は、低コスト水素吸蔵物質として興味深い。また、原子力発電の廃棄物から出る放射線による発光を光触媒反応に用いる試みに関する報告（電通大）では、Eu ドープ CaF<sub>2</sub> をシンチレーターに、TaON を光触媒に用いる方法が考案され、X 線による CaF<sub>2</sub> からの 400~450 nm のフォトルミネッセンスを観測している。

「15.6 環境・資源」では、金属イオンならびに陰イオンを高効率で吸着できる高分子ゲルを用いた有害金属の回収に関する報告（九大、近畿大）があり、廃液処理および吸着剤の再利用が低コストで行える技術として注目できる。また、TOF-SIMS（飛行時間型二次イオン質量分析）を用いた大気汚染分析（東海大）では、銅板などを大気中に暴露して、その表面に生成する物質を質量分析する手法が報告され、簡便かつ多くの汚染物質を同時に検出できる点が非常に有利であると感じられた。

「15.7 磁場応用」では、磁場配向関係 4 件、熱力学的効果 1 件、スピニ化学 1 件、磁気力 1 件、計 7 件の発表が行われた。磁場配向の最近のトレンドは回転磁場を使った磁化困難軸の制御であり、今後は時間変動磁場などを利用し

た二軸配向も増えてくるのではないかと予想される。今回、スピニ化学の手法を応用して、イオン液体の構造推定を試みた発表に興味もたれた。今後は新しい構造推定手法として確立していくのを期待したい。

なお本報告は、酒井啓司（東大）、毛塚博史（東京工科大）、磯村雅夫（東海大）、山登正文（首都大東京）の各氏のご協力を得て作成した。

## 合同セッション D プラズマ CVD の基礎と応用

産総研 松井卓矢

合同セッション D は講演会最終日に開催され、14 件の一般講演が行われた。今回も、さまざまなプラズマを用いた薄膜形成やエッチング、プロセス診断などに関する報告が行われ、活発な議論がなされた。

アモルファス Si の光劣化抑止に向けた取り組みとしては、マルチホロー電極に磁場を印加する製膜手法が提案され、磁場を用いない従来法に比べて、製膜速度の改善と膜中クラスター量の低減効果が示された（九大）。微結晶 Si の製膜プロセスでは、マイクロ波を用いた高密度プラズマに関する研究が活発に進められている。SiH<sub>4</sub> 系と SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> 系プラズマの比較実験では、350°C 以上の成長表面で表面終端原子が水素から塩素に遷移し、欠陥密度の成長温度依存性が原料ガスによって大きく異なることが示された（埼玉大）。水素と塩素の異なる表面反応について理解が進んだといえる。

名大グループでは、表面波プラズマを用いた微結晶 Si の薄膜形成について、太陽電池応用に向けた大面積化への検討が行われ、2×0.4 m の長尺プラズマの生成と微結晶 Si の高速製膜（2.5 nm/s）が達成された。今後、さらなる大面積化が検討されており、産業界へのインパクトが期待される。ファイバー基板に微結晶 Si を形成する製膜実験では、700 nm/s 以上の製膜速度が得られており（産総研）、従来に比べて 2~3 けた高い製膜速度領域におけるラジカルの発生と薄膜成長のメカニズムについて、新たな知見が必要と思われる。その他 Si の製膜に関しては、UHF（極超短波）パルス変調プラズマによるナノ Si の気相合成（名大）や、大気圧水素プラズマを用いた、化学輸送を原理とする Si の選択エピタキシャル成長技術（阪大）について報告があった。

一方、Si の製膜とは反対に、CVD（化学気相堆積）装置のクリーニングで欠かせない Si のエッチング技術について、興味深い報告があった（東北大）。工業的に広く用いられている NF<sub>3</sub> ガスの代替として、より高いイオン化率とプラズマ密度が実現できる F<sub>2</sub> ガスの利用が提案され、Si のエッチング速度を、フッ素イオンの寄与により高くできることが実証された。

アモルファスカーボン系材料では、水素プラズマ処理に



よる水素終端変化のその場観察(長崎大)や表面波プラズマを用いたカーボン薄膜の形成(東大), 薄膜堆積の分子軌道シミュレーション(名大)について報告があった。また, 新しい機能性材料として注目されるナノダイヤモンドについて, マイクロ波プラズマCVDによるアモルファス/ダイヤモンド体積比率制御に関する報告があった(九大)。注目すべき点として, CHラジカルに比べてC<sub>2</sub>ラジカルがダイヤモンド成長に有効であることが示され, C<sub>2</sub>ラジカルの生成が原料ガス(メタン, アセチレン)によって大きく異なることが報告された。さらに, 同研究グループでは, ダイヤモンドに類似した機能性材料としてc-BNのプラズマ合成に関する研究も行われている。

LSI用low-*k*(低誘電率)材料の開発研究では, より優れた機械的強度を得ることを目的に, ダイヤモンド構造と同様に炭素が配置されたアダマンタンをプリカーサーとして用いたカーボン薄膜の形成が報告された(京大)。Brを付与したアダマンタンの使用により機械的強度が改善されたが, 分極性の強いBrの含有により薄膜の誘電率が高いことが今後の課題である。そのほか, カーボンナノチューブ電子デバイス保護膜として有用なSiN<sub>x</sub>のリモートプラズマ形成について報告があった(名大)。

以上のように, プラズマCVDの基礎分野では, 高密度プラズマを中心とした新しいプラズマ生成法や診断技術に関して, 興味深い結果が得られている。また, プラズマCVDの応用は, 保護膜コーティングやlow-*k*材料, エッチング, そのほか太陽電池や電子デバイスの形成など多様化している。引き続き, 本セッションを通じて, プラズマCVDの基礎と応用分野が融合して議論されていくことが望まれる。

## 合同セッションE スピントロニクス・ ナノマグネティクス

東北大通研 大野裕三  
東北大金研 福村知昭

合同セッションE「スピントロニクス・ナノマグネティクス」は, 5日間の会期を通じて開催された。講演件数は一般講演96件のほか, JJAP論文賞1件, JJAP論文奨励賞2件, 講演奨励賞1件の各受賞記念講演の計100件であった。また, 関連シンポジウムで9件の講演がなされたほか, 講演会初日にはスピントロニクス研究会企画の応用物理学会スクール「スピントロニクスの基礎—さらなる展開と次世代エレクトロニクスデバイスのイノベーションに向けて—」が開催され, 立ち見が出るほどの盛況であった。以下, 本セッションにおける講演についてトピックごとにハイライトを記す。

「新物質創成・物性探索」関連では, 強磁性半導体や磁性金属/半導体融合構造のほか, 磁性体/有機物質の融合構造に関する講演件数が大きく伸びたことが特筆される。強

磁性半導体関連では, ZnCrTeへのIドーピングによるCrの価数制御(筑波大)や, (Ga,Mn)Asの電界印加アニールによる格子間Mnの拡散促進(東北大)などの報告が興味深かった。また, (Ga,Mn)Asの異方性磁界・スイッチング磁界のキャリア密度依存性(東北大)や, 光パルス励起磁化の過渡応答ダイナミクス(東工大)などの解析と理解が進展した。磁性金属/半導体ヘテロ構造に関する研究では, MnAs薄膜やナノ粒子を含むIII-V族化合物半導体超構造の作製と物性評価に関する発表が多く, 目を引いた(東大, 東工大)。また, GeMn・GeFe・Fe<sub>3</sub>Si(東大・東工大)やMnSi(NTT・慶大)など, Siテクノロジーとの融合を意識したIV族半導体ベースの新物質探索が活発に進められている印象を受けた。

酸化物・ワイドギャップ半導体系では, GdドーピングGaNのSiドーピングによる磁化の増大(阪大), Fe<sub>3</sub>Nのトンネル接合の作製(筑波大), In酸化物-Fe系磁性材料(九工大), FeドーピングTiO<sub>2</sub>の強磁性の酸素量による制御(東大)といった材料探索に加え, Mn酸化物の超構造設計による交差相関物性の制御(産総研・東北大・東大)が報告された。この分野も, 今後大きく発展すると期待される。

また, 今回初めてセッションを設けられた有機スピントロニクス関連では, C<sub>60</sub>-Co系におけるスピン依存伝導の研究で阪大の白石誠司氏がJJAP論文賞を受賞され, 記念講演を行ったほか, 強磁性金属とAlq<sub>3</sub>(アルミニウムキノリン)やカーボンナノチューブ(北陸先端大), Mn酸化物とペンタセン(阪大), 強磁性金属とグラフェン(阪大), といったバリエーションに富んだ材料の組み合わせにより, 磁気抵抗の観測が報告された。

「スピントロニクス・回路」関連では, MgO絶縁障壁が主流となりつつあるMTJ(磁気トンネル接合)の高TMR(トンネル磁気抵抗)比化, 低抵抗化のほか, ホイスラー合金MTJにおいて特性の改善が着実に進められている。さらに, 磁化反転しきい値電流密度の低減, 熱安定性向上, および信頼性(書き換え耐性)についても多くの研究グループから報告がなされ, 活発な討論がなされた。そのほか, 乱数発生(産総研)や不揮発SRAM(東工大)などへの応用が提案され, 注目された。

「ナノ磁性体」関連では, 強磁性金属細線における正・逆スピンホール効果の観測(東北大)の報告や, 電流励起磁化ダイナミクスの直接観察(理研), マイクロ波による磁化スイッチング(九大), スピントルクダイオード効果の観測(阪大・高等研)などが報告された。これらの分野は理論・実験ともに進展著しいため, 今後の展開も大いに期待される。

「光・量子スピントロニクス」関連では, ヘテロ構造におけるスピン輸送の光による検出(東工大), 磁気抵抗によるスピン軌道相互作用の評価(東北大), ゲート付き縦型量子ドットでの伝導制御(東北大), 顕微カー回転測定によるスピン流の空間マッピング(東北大)や, 量子ドット(北大)での核スピンの検出が報告された。スピントロニクス

レンズを活用したさまざまな応用への発展が望まれる。

白石氏の JJAP 論文賞のほか、東北大の桜庭裕弥氏と東工大の近藤剛氏が JJAP 論文奨励賞を受賞して、その記念講演を行った。本セッションにおいて発表・議論されている質の高い研究成果が、JJAP を通じて世界に発信されることを喜ばしく思う。なお、本合同セッションは今回をもって終了し、2008 年春の講演会からは常設分科として新たにスタートする。本研究分野の発展に尽力されてきた皆様に感謝するとともに、今後もよりいっそう発展し、活発な議論の場となるよう、ご支援、ご協力を賜りたい。

## 合同セッション F カーボンナノチューブの基礎と応用

阪府大 秋田成司

本合同セッションは 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、最近では常に 100 件以上の多数の講演が行われている。今回も 110 件以上の講演があり、以下のような非常に活発な議論や意見交換がなされた。

まず、非チューブ状ナノカーボン材料の分野では、超臨界 CO<sub>2</sub> と Pt 有機化合物を用いたナノウォールへの触媒用 Pt 微粒子の高密度担持を実現した発表(名大, 名城大)が目をつけた。ほかのナノカーボン材料に対する検討も望まれる。ナノコイルでは、電波吸収体を目指した樹脂複合材料の複素誘電率の測定(阪府大)が、パーコレーションを非破壊に評価する手法としても興味深かった。

センサー応用では、JJAP 論文奨励賞受賞記念講演の CNT (カーボンナノチューブ) 薄膜を用いた高感度ガスセンサー(阪大)の発表のほか、Pt 修飾 CNT を用いた CO 検出の高感度化(阪大)や、CNT 電極微小流体チップによるブドウ糖検出の試み(阪大, 北陸先端大)が注目を集めた。ブドウ糖検出感度はまだ低い、今後の展開が期待される。エミッターでは、放出電子エネルギー分布測定(日立)や、ナノファイバー/エストラマ複合シートを用いた柔軟性をもつ側面電子放出素子(奈良先端大, 神戸大, 日信工業)が興味を引いた。

CNT の LSI 配線へ向けた報告は、400°C での CNT 成長、CMP (化学機械研磨) の適用など、LSI プロセスとの整合性を意識した内容であった (MIRAI-Selete)。また、多層 CNT によるナノギャップの抵抗スイッチ効果に関する報告(産総研, 日大)があり、機構解明や今後の応用が期待される。CNT-FET に関しては、インクジェット法による CNT 薄膜のパターニング、FET 形成(プラザー, 阪大, 東北大)が目をつけた。特性に関してはまだ改善が必要と思われるが、今後期待したい。

単層 CNT 成長に関しては、成長時その場ラマン分析や SEM 観察、またエタノール分解のリアルタイム分析など、成長メカニズム解明につながる興味深い報告が多数あつ

た。また、炭素同位体を用いたサファイア上の配向成長では、根元成長の可能性が高いことが明らかにされた(九大)。これらの成果が、将来のカイラリティー制御につながることを期待したい。

電気伝導特性に関しては、ケルビン力顕微鏡、静電気力顕微鏡、走査型ポテンシオメトリーなどにより、CNT の伝導状態と欠陥の関係について検討が加えられた(京大, 名大)。さらに、人為的に欠陥を導入することで、欠陥生成メカニズムや欠陥導入による伝導制御などが検討され(筑波大, 東北大, NTT 物性基礎研)、欠陥の伝導へ与える影響が明らかになりつつある。CNT 成長では、環境 TEM (透過電子顕微鏡) その場観察(東理大)からその成長初期過程が明らかにされた。また、ミリメートルオーダーの長尺成長とそのコーティング(静岡大)も、今後の CNT の応用を考えるうえで重要な技術であると思われる。さらに、水や残留ガスなどの微量な成分の成長への影響について、その場測定を通して検討された(阪府大, 東北大)。

CNT の光学特性評価では、架橋 CNT を用いたフォトルミネッセンスの遷移エネルギーのエタノール分子吸着量依存性(東理大)や、大気中、溶液中での時間分解測定(名大)などが報告され、環境の効果が明らかにされつつある。さらに、孤立垂直配向 CNT を用いた解析も試みられ(東北大)、バンドルの影響についても議論された。また、カイラリティーの解析では、光誘起電流測定(名大)、近接場分光法による共鳴ラマン散乱測定(阪大)の有用性が示され、CNT の電子デバイス応用に向け着実な進歩が見られた。機械的特性評価では片持ち梁 CNT の共振周波数を光学的に解析し、10<sup>-21</sup>g オーダーの超高感度な質量分析計測の可能性が示され(阪府大)、今後の展開が期待される。

本報告を行うにあたり、佐藤信太郎(富士通)、種村眞幸(名工大)、大野雄高(名大)の各氏のご協力を頂いた。

## 合同セッション G 量子情報の基礎と応用

NTT 物性基礎研 武居弘樹

本セッションは 9 月 7 日の午後に行われた。量子光学、原子光学、および量子暗号に関して 13 件の発表が行われ、聴講者は 50 名程度であった。

日立基礎研により、アンチスクイズド光生成に関する報告がなされた。光通信用部品のみを用いた簡易な構成が特徴である。今後、本技術を適用した秘匿性の高い通信実験への展開が期待される。

NTT, NIST(米国), スタンフォード大により超伝導単一光子検出器を用いた長距離量子暗号実験が、日大と NTT により正弦波ゲート動作を用いた半導体光子検出器を用いた高速な量子暗号実験が、それぞれ報告された。さらに阪大により、量子暗号の秘匿性増強を目的とした発表も行われた。このように、量子通信・量子暗号に関して、

世界トップクラスの実験成果から理論研究までバラエティーに富み、かつレベルの高い報告が多かったのが特徴である。

また、単一光子の波長変換に関する研究が、情通機構、日大、NTT からなされ、本技術への関心の高まりがうかがえた。特に、Type-II の KTP 結晶(情通機構)および PPLN (周期分極反転ニオブ酸リチウム) 導波路(日大)を用いた新たな構成が提案されており、今後の展開が注目される。また、NTT より単一光子波長変換と Si APD (アバランシェフォトダイオード) を組み合わせた通信波長帯光子検出器を用いた量子もつれの長距離伝送も報告され、使える技術として発展しつつあるという印象を受けた。

一方、情通機構より、複数個のイオンを同時に共振器モードに結合させ、イオン集団と光子間の量子インターフェースとして用いる方法についての報告がなされた。このように、光子とほかの量子系との結合を模索する実験的研究は、今後、量子情報分野が応用物理研究として発展していくために大変重要であり、今後の進展を期待したい。

量子情報に関連する技術を分野の垣根を超えて議論することが、本合同セッションの目的であるが、発表分野は量子光学、原子光学に集中しているのが現状である。近い将来、固体素子を用いた量子ビットや単一光子源などの技術が成熟し、本合同セッションで議論できるようになることを期待したい。

## 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、本セッション発足以来初めて、ショートプレゼンテーション(各講演5分間)とポスター展示という形式で行われた。講演会2日目から3日間にわたって、講演奨励賞受賞記念講演1件を含む計79件の発表があった。講演件数に限ってみても、今回で発足当時の2倍に達しており、春の講演会からは10件以上増加というように、回を重ねるごとに本セッションの注目度が上がっていることがうかがえた。

多岐にわたる応用分野の中では、従来「薄膜・表面」の「6.3 酸化物エレクトロニクス」で討論されていた透明導電膜に関する発表が全体の1/3を占めた。ガラスや高分子基板上への低温製膜に関する発表では、ITO(酸化インジウムスズ)代替に向けた具体的な改善策が議論された。金沢工大のグループは、低抵抗特性の劣化が顕著になる厚さ50nm以下のZnO:Al膜において、V添加による電荷揺動の効果で耐湿性が大幅に改善できることを示した。また、Inの消費量を抑えつつ実用可能な特性を実現する方法として、ZnO:Al膜上にITOを積層した構造の提案(大阪産大)などがあった。

「結晶工学」の「13.2 II-VI族結晶」から独立・発展して

きた単結晶薄膜成長の研究では、光・電子デバイス応用上、重要な進展があった。前回に引き続き、三菱ガス化学と物材機構の共同研究グループから、液相エピタキシーによるMgZnO単結晶厚膜成長に関する報告があった。ZnO単結晶基板と同程度の結晶性が2インチウエハーで実現できることに加えて、10%以上のMg固溶やAl添加による導電性制御が達成されており、今後、有望なバルク結晶成長技術に発展する可能性がある。講演奨励賞受賞記念講演では、大面積対応の省エネ製膜法であるミスTVD(化学気相堆積)法を用いて、PLD(パルスレーザー堆積)法やMOCVD(有機金属化学気相堆積)法で成長した薄膜と同レベルの結晶性が実現できることが報告された(京大)。

MBE(分子線エピタキシー)では、早くから極性反転技術を確認していた東北大が、サブミクロン周期の極性反転構造で疑似位相整合を達成し、第二高調波発生を実現したことを報告した。スタンレー電気からは、バンドギャップ制御を目的としたSドーピングで、顕著なサーファクタント効果が見られるという興味深い発表があった。産総研のグループは、Mg組成60%までウルツ鉱型構造を維持したヘテロ接合でHEMT(高電子移動度トランジスタ)を作製し、相互コンダクタンス26mS/mmを達成したと報告した。HEMT特性の最高記録をもつ大阪工大のグループからは、バイオFET応用に向けたガラス基板上へのヘテロ接合作製に関する発表があった。

ショットキー接合形成技術の確立は、半導体デバイスとしての応用範囲を広げるうえで重要である。各研究機関から、独立の実験手法による下記のような研究発表があった。Pt/MgZnO接合における障壁高さのMg組成依存性から、伝導帯不連続量を決定(東理大)。同構造によるフォトダイオードで、波長300nm以下のカットオフを実現(岩手県工技センター他)。Pt-Ru合金/ZnO接合における障壁高さと界面の化学的安定性を最適化(物材機構他)。導電性高分子/ZnO接合で良好な電流-電圧特性および容量-電圧特性を実現(東北大他)。

今回の講演会における傾向として、製造メーカーなどの企業を含む講演の件数が、全体の1/3に及んだことがあげられる。産業界の期待は、TFT(薄膜トランジスタ)や発光素子応用にウェートがある。今回は顕著な報告はなかったが、今後の進展が待たれる。電子デバイス応用を進めるうえでは、単に動作実証を積み上げるだけでなく、適切な議論を通じて物性制御や欠陥化学を正しく理解していくことも必要である。今回は、キャリア散乱機構の考察(物材機構)や、混晶の第一原理計算(和歌山大)に関する発表などがあったが、今後も多くの物性研究者の参加を期待したい。若手研究者や学生から優れた発表があったが、残念ながら講演奨励賞未申請のケースが目立ったので、できるだけ多くの方の申請を希望する。