



第 28 回電子材料シンポジウム (EMS28) に出席して

佐藤勝昭

さがけ次世代材料研究総括/
基礎研究制度評価タスクフォース/研究広報主監

はじめに

標記シンポジウムが滋賀県守山市にあるラフォーレ琵琶湖において 2009.7.8-10 の 3 日間開催された。本シンポジウムは、1982 年に佐々木昭夫京大教授 (当時) が科研費特定領域研究「混晶エレクトロニクス」のシンポジウムとして開催した「混晶エレクトロニクスシンポジウム」が発展したもので、今回が第 28 回目となる。筆者は、プレナリー講演者として招待され、「革新的次世代デバイスのためのナノサイエンス」について発表した。



ラフォーレ琵琶湖

会議の概要

EMS28 の運営委員長は荒川泰彦東大教授、実行委員長は

朝日一阪大教授、論文委員長松本功氏(太陽日酸 EMC)であった。実行委員会は若手研究者を中心に構成され、運営されていたのは印象的であった。さがけ佐藤領域の片山研究者もその中の 1 人として活躍していた。

本シンポジウムの参加登録者は 246 名、内 90 名が大学院学生である。講演は、プレナリーが 1 件、招待講演 11 件で、一般講演は 141 件であった。一般講演はポスター+3 分のショート講演という形で行われた。

このほか、特別企画が 3 件あり、初日には「窒化物半導体研究におけるシミュレーションの役割」というランブセッションがあり、2 日目には、パネルディスカッション「世界的な技術を生み出すため」が行われ、最終日に、特別セッション「超高効率・低コストを目指す太陽電池」というシンポジウムが行われた。

招待講演から

招待講演者のほとんどが何らかの形で JST の戦略創造事業に関係していることが印象的であった。

プレナリー：革新的次世代デバイスをめざすナノサイエンス：佐藤勝昭 (農工大) [JST・さがけ研究総括]

Si-CMOS はこれまで Moore の法則に従って微細化・大規模集積化が進んだが、22 nm スケールを超えると非常に困難になる。ITRS のロードマップでは、More Moore, More than Moore および Beyond CMOS という展開になっており、Beyond CMOS のために Energizing Research Materials (ERM) という項目で議論されている。この中にはスピントロニクス、ナノカーボン、量子ドット、分子エレクトロニクス、強相関等があるが、最も注目されているのがスピントロニクスである。スピンのナノという場を得て、磁気→電気および電気→磁気の変換にコイルがいなくなった。さらに dissipation free に情報を伝える手段としてスピン流の概念が注目されている。

カーボンナノチューブの量子伝導とバイオセンサー応用：松本和彦（阪大） [JST-CREST-NTVL 梶村領域 研究代表者]

CNT を使った FET は、ゲート電圧が低いときは SHT(単正孔トランジスタ)として動作し明瞭な Coulomb diamond が見られるが、ゲート電圧が高いときは RTT(共鳴トンネルトランジスタ)として動作させることができる。この CNT トランジスタをバイオセンサーとして用いることができ、抗体の高感度検出が可能になった。

C-MOS プラットフォーム上の III-V MOS トランジスタ技術：高木信一（東大）

シリコン CMOS の高性能化は限界を迎えつつあり、その解決のため、III-V 族の n-MOSFET と Ge の p-MOSFET の組み合わせが真剣に検討されている。これまで III-V 族では MOS トランジスタの作製が難しかったのであるが、原子層堆積(ALD)-Al₂O₃ を InGaAs のゲート絶縁物として用いることによる界面制御が進展して、実用化の可能性が開けてきた。

[さきがけ佐藤領域のメンバーである高木研の竹中研究者との仕事がリファーされていた。]

鉄系超伝導物質の発見と現状：細野秀雄（東工大） [JST-ERATO/SORST 総括責任者]

話は、ありふれた材料を使って透明酸化物半導体を作るために、ナノサイズのケージを 3 次元的に接続した構造を考え、12CaO・7Al₂O₃ という物質を発見したことから始まり、透明な磁性半導体を探索する過程で、LaTMPnO における遷移金属 TM イオンの d 電子数と磁性の関係を見出し、そのなかで LaFeAsO 系の超伝導体が見出されたことを熱っぽく語った。T_c=55K の壁を変えられるかという私の質問に対し、Fe で出たということは、何でも超伝導になり得ることを意味しており、Mn をはじめとする他の物質群に挑戦したい。今こそ化学の出番であると語った。

量子ドットの物理と量子コンピュータへの展開：樽茶清悟（東大） [JST-ERATO 総括責任者]

量子演算の基礎となる spin qubit を実現するために、量子ドット(QD)中のスピンをどのように操作し、どのように検出するかが重要である。この講演では、QD に静磁界と交流磁界を加えることによって生じる単電子スピン共鳴(SESr)に焦点をあて、マルチ qubit の発生を抑えるために電圧誘起 SESr が行われるが、その過程で最近講演者が見出したダブル QD における 2 つの独立したスピン qubit の実現が紹介された。また、スピン qubit の問題として、QD 中の核スピンのゆらぎによって 10ns という短時間に dephasing が起きることをあげ、その解決法について述べた。

化合物半導体ヘテロ構造によるナノメカニクス素子：山口浩司(NTT) [JST-CREST 菅野卓雄領域 平山プロジェクト共同研究者]

従来の MEMS は Si の微細加工を使って作製されているが、III-V 族混晶においてはひずみ層ヘテロエピ技術が利用できるため、MEMS の機械的特性をチューニングすることができる。ひずみ半導体で梁構造の共鳴素子を作ることによって、ひずみを入れない場合より 1 桁高い Q 値を実現した。また、化合物半導体が極性、従って圧電性を持つことを利用した新しい機能性が考えられる。また、光子・キャリア相互作用によって共鳴特性が制御できることなど、光 MEMS の話題も紹介された。

プラズモニック・メタマテリアルとメタフォトニクスへの展開：田中拓男（理研） [JST さきがけ伊藤宏昌領域 研究者]

メタマテリアルは、cloaking（透明マント）など派手な話題が多いが、この講演ではもっと地道なアプローチとして、微細構造を 3 次元的に配列する技術を確立することによって、比透磁率をモディファイして、比誘電率の

みでは実現がむずかしい光学 **metaphotonics** の実現をめざしている。田中は、銀イオンを含む水溶液から 2 光子還元法を用いて銀を析出させることによって導電率の高いメタマテリアルの作製に成功している。



対岸の聖田町を望む

パネルディスカッション

「世界的な技術を生み出すために」

このパネル討論は、松本功論文委員長が発案で行われ、自らモデレータとなって議論を進めた。

パネラーは、山川洋幸 (ULVAC 専務取締役)、赤坂洋一 (ウィンドターフ社長/元アプライドマテリアルズジャパン社長)、金沢洋平 (日興シティグループ証券アナリスト) である。

山川氏は、生産現場の立場から、世界的な技術を生み出すために ULVAC がやっていることとして、①独創的な商品開発、②開発者が、研究レベルから商品レベルまで一貫して取り組むアルバックソリューション、③選択と集中をしない (継続する)、④全開発担当者が現場に立つ、⑤全員で議論する、という 5 項目をあげ、自立した研究開発の人材として、①研究開発が好き、②幅広く興味を持つ、③人と違ったことが言えるが、人と同じことも言える、④粘る力をもつ、⑤実験は大胆なポジティブ仮説を立てて実行、解析は細心に、原理原則に則って、⑥失敗を観察し学ぶことができる、という 6 点を挙げました。

印象に残ったのは、「発表のためにきれいなパワーポイントを作る時間があれば、1点でもデータをとる心構えが大切」とか「選択と集中はすべきでない。選択しようとする、評価が必要になる。評価のための時間とお金があれば、研究に回したほうがよい。」という言葉であった。

赤坂氏は、アプライドマテリアルジャパンの社長の経験から、米国のアプライドの考え方を中心に、技術を生み出すための基本である人材、環境、カネについて述べた。米国の人材に対する考え方の一端を示す例として、アプライド前社長 Dan Maydan の言葉 "Only paranoia can survive" を挙げた。パラノイアというと日本ではオタクというネガティブなイメージが強いが、米国ではポジティブな評価を受けている。パラノイア待望論のように偶然を期待するようなものでなく「パラノイアを作る」という必然的な仕掛けが要る。

技術者・技術集団は若者に夢ややる気や喜びを与えること

人材：画一的でなく多様性を認め個性を認め尊重する教育が重要である。目指すのは世界のトップレベルと意識させる。このためには指導者もその意識を持たねばならない。自分の輝かしい未来をイメージさせるもの、自分の尊敬できる者、あるいは、成功した体現者がいること。

環境：①開発者のもつ夢のあるビジョン・ミッション、②世界一を目指すか否か、③技術者が尊敬される社会環境、④異業種交流・情報交換・WS・人材移動・プロジェクトの 4 点が重要。

金沢氏からは、証券アナリストの立場から、「日本に製造業を残すために」と題した話があった。まず、世界経済の現状、なぜ金融危機が起きたかについて、日本が超円安超低金利政策をとったことによって円キャリー取引が行われ投機的な動きが起きたので、日本にも責任の一端があるという話をした。

日本に製造業が残るのか

半導体・液晶は台湾・韓国に負けた。アジア勢にコストで勝てるか。LED・OLED・太陽電池で負けないためには、環境作りが重要である。アジア勢と日本の製造業を取り巻く環境を比較すると、アジア勢は、①償却方法・費用負担等会計処理が異なる、②投資減税、地方税負担なく、国/自治体誘致盛ん、③電力・ガス等インフラが安い、④資金調達容易さ、⑤生産量の規模が大きい。

日本に製造業を残すには、利益を出す仕掛けが必要

日本は次のことをする必要はある。

①1-2年の加速償却を認める、②官需・内需創出・規制緩和、③投資減税の拡大、④減税処理後の戻し入れ処理の適用、⑤固定資産の減損の損失計上、などである。これは、先端産業のみに適用すべきで、不動産・金融に適用すべきでない。

これを受けて会場の聴衆とパネラーの間でやりとりが行われたが、博士出身者の待遇改善問題が中心となり、議論がやや発散したのは残念であった。



三上山（野洲）を望む

特別セッション

「超高効率・低コストを目指す太陽電池」

このセッションは、近藤道雄（産総研）によるチュートリアル講演「太陽光発電、現状と将来展望；低炭素社会に向けて」のあと、高本達也（シャープ）による「III-V 多接合型太陽電池」、岡田至崇（東大）による「マルチバンド量子ドット太陽電池」、宮島晋介（東工大）による「薄膜 Si 系太陽電池の現状と課題」、宮坂 力（桐蔭横浜大）による「プリンタブル・フレキシブル色素増感光電変換素子」の 4 件の招待講演があった。以下には、近藤氏のチュートリアル講演のみを紹介しておく。

近藤道雄「太陽光発電、現状と将来展望；低炭素社会に向けて」

- ・ 世界のエネルギー需要はますます増え、化石燃料は減少の一途を辿る。将来の需給ギャップを埋めるのは、太陽光しかない。太陽電池のエネルギーペイバックタイムは約 2 年になっている。
- ・ 発電効率が上がれば発電単価も安くなる。もし変換効率が 40% になると kW あたり 7 円になるであろう。
- ・ 太陽電池の生産量は、以前は日本がトップを走っていたが、現在では発電量換算で世界の 1/10 に過ぎない。
- ・ 太陽電池の種類は、2005 年には上位 7 社が全部シリコン結晶系であって薄膜は入っていなかったが、2008 年には、First Solar による CdTe 薄膜太陽電池が世界 2 位になった。日本の会社は、いまやシャープと京セラの 2 社しか入っていない。CdTe は効率は高くないが低コストということで売れた。
- ・ コストは発電量を増やすと下がるが、シリコンに比べ CdTe では 1/10 の規模で同じコストに達する。さらに効率の高い電池が出ればさらに小規模でも同じコストが達成できる。
- ・ **結晶シリコン系**
 - 海外では大規模な太陽光発電所が増加しているので CdTe が普及しているが、日本では住宅の屋根が中心材で結晶シリコン系が主となる。
 - UCSB の M.Green によると、シリコン太陽電池の理論的最大変換効率は、1 層で 31%、2 層タンデムでは 44%、3 層タンデムでは 49% である。現状の結晶シリコンは 25%、集光型では 39% となっている。
 - 技術方向性は、結晶シリコンの原料を節約するため薄くする、リボン・球状などを使う。
 - 多結晶シリコンは日本が得意とする技術：表面に凹凸→吸収が効率的、粒界欠陥のパシベーション課題。
 - 電極：メタルとシリコンが触れないよう a-Si を介して接触：サンヨーの HIT 技術により 22.3% 達成。
 - 背面型：電極金属グリッドによる影を減らせる。しかし、拡散距離が長くなるので高品質化が課題。
- ・ **薄膜シリコン系**
 - 変換効率が結晶系の 1/2、2020 年目標は 18%。
 - アモルファスシリコン(a-Si:H)はバンドギャップが 1.7eV と高いので単接合では 9%、赤外部を捨てている→多接合技術で赤外部を有効利用→2 接合で 12%、3 接合で 15% が得られている。低温成膜なので多接合が容易。ナローギャップに微結晶シリコン(mc-Si:H)を利用。
 - SiGe 混晶化により吸収係数は 10 倍に増大。

・ CIGS 系

- 小面積セルで変換効率 20%出ている。昭和シェル・ホンダ：モジュールでは 14%。
- 元素戦略の問題：In を減らす。Se を S に代える。
- 大面積セル：従来、セレン化法→14%が上限。蒸着法 20%出るが小面積→AIST では、蒸着法による大面積化・量産化を目指す。サブモジュールで 15.9%、フレキシブルモジュールで 17.7%達成
- 塗布焼結法も商品化（ナノソーラー）

・ CdTe 系

- $E_g=1.45V$ と理想的。近接昇華法で低コスト生産可能→1 \$ /W
- 毒性：ガラス封止で火災でも飛散しない。使用量は NiCd 電池より圧倒的に少ない。販路は管理された場所に限り、しかるべき回収を行う。
- 他の薄膜系は CdTe に跡形もなくやられた。

・ 有機系

- 有機系には色素増感 (DS) 型と誘起薄膜 (Org) 型がある。
- DS 型の効率は 11.1% (シャープ)、12.3%(Grazel)：塗って焼くだけ。溶液必要→封止・固体化課題。
- Org 型の効率は 6.5%程度：低分子系と高分子系：キャリア拡散長短く膜厚が薄くしかできない。

・ 展望

- 住宅屋根→Si にまさるものない。コスト→CdTe に代表される薄膜系。ローエンド（使い捨て）→有機という棲み分けがなされるのではないか。

終わりに

琵琶湖という風光明媚な場所で開催された EMS-28 は、充実した招待講演と若々しいポスター発表で電子材料分野の研究者にとって大変刺激的な会合であった。予稿集は英語であるが、発表は日本語で行われるというのも、情報交換がスムーズに行えてよかった。

特にナイトセッションでは、若手とベテランが遅くまで酒を酌み交わしながら、研究についての議論を闘わせる姿があり、若手研究者とベテラン研究者の交流の場として大変有意義であった。

この会議に参加する機会を与えていただいたオーガナイザに深く感謝したい。



浮御堂のある海門山満月寺山門（大津市堅田）



琵琶湖につきだして湖上に浮かぶ浮御堂

鎖（じょう）あけて月さしいれよ浮御堂（芭蕉）