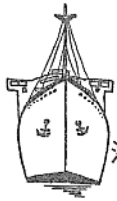


第3回産研国際シンポジウム

—ナノエレクトロニクスの最前線～デバイス、マテリアル、コンピューティング～報告—



海外交流

中島尚男* , 岩崎 裕** , 吉田 博***
朝日 一****, 真嶋 哲朗*****, 田畑 仁*****

The Third Sanken International Symposium
Advanced Nanoelectronics : Devices, Materials and Computing

Key Words : Nanoelectronics, Devices, Materials, Computing

第3回産研国際シンポジウムが3月14日(火)～15日(水), 銀杏会館にて, 「ナノエレクトロニクスの最前線～デバイス, マテリアル, コンピューティング～」“Advanced Nanoelectronics : Devices, Materials, and Computing”のテーマで開催された。Nano Science and Devices, Computational Physics, GaN-related Materials and Devices, Molecular Devices, Oxides Materials and De-

vices, ZnO-related Materials and Devices, III-V Nanostructures and Devices, Advanced Computing/Quantum Computerの8つのセッションと2つのポスターセッションからシンポジウムはなっている。8つの口頭発表のセッションでは22件の世界的に著名な研究者による招待講演, うち外国人招待講演は13件があり, ポスターセッションでは132件, うち海外から12件の発表があった。参加者は277人,



*Hisao NAKASHIMA
1938年7月19日生
1967年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了
現在, 大阪大学産業科学研究所, 教授, 工学博士, 半導体物性
TEL 06-6879-8410
FAX 06-6879-8414
E-Mail nakashima@sanken.osaka-u.ac.jp



****Hajime ASAHU
1948年2月17日生
1971年東京大学工学部物理工学科(博士課程1976年)修了
現在, 大阪大学産業科学研究所, 助教授, 工学博士, 電子材料工学
TEL 06-6879-8407
FAX 06-6879-8409
E-Mail asahi@sanken.osaka-u.ac.jp



**Hiroshi IWASAKI
1945年2月1日生
1972年大阪大学工学研究科電子工学専攻博士課程修了
現在, 大阪大学産業科学研究所, 教授, 工博, 量子分子デバイス
TEL 06-6876-4317
FAX 06-6879-8404
E-Mail iwasaki@sanken.osaka-u.ac.jp



*****Tetsuro MAJIMA
1952年7月25日生
1980年大阪大学大学院工学研究科・石油化学専攻後期課程修了
現在, 大阪大学産業科学研究所, 教授, 附属材料解析センター(併任), 工博, 光化学, 放射線化学
TEL 06-6879-8495
FAX 06-6879-8499
E-Mail majima@sanken.osaka-u.ac.jp



***Hiroshi KATAYAMA-YOSHIDA
1951年4月21日生
1979年大阪大学大学院理学研究科・博士課程修了(理学)
現在, 大阪大学産業科学研究所, 教授, 理学博士, 物質設計
TEL 06-6879-8535
FAX 06-6879-8539
E-Mail hiroshi@sanken.osaka-u.ac.jp



*****Hitoshi TABATA
1964年4月13日生
1988年京都大学・工学部・冶金学科卒業
現在, 大阪大学産業科学研究所, 助教授, 理学博士, 材料科学
TEL 06-6879-8446
FAX 06-6875-2440
E-Mail tabata@sanken.osaka-u.ac.jp

うち海外から25人であり、予想を越える人数であった。詳細はホームページ(<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/~iwasaki/IISANKEN/sympo.htm>), プロシーディングスを御覧いただきたい。

ナノエレクトロニクスはSiLSIの極微細化により、物理的限界が議論され、また極微細構造から新しい物性機能が期待され、それにより新しいデバイスの可能性が議論される様になって提唱されはじめた。これに伴い広い展開を見せはじめ、半導体のみならず超伝導体、誘電体、磁性体の幅広い材料も含め、さらにQuantum Computingの様に新しい計算手法まで考えられる様になった。このことの反映で本シンポジウムもセッション名から分る様に多様な展開となった。

ノーベル賞受賞者のIBM, Zurichのベドノルツ博士も講演の中でナノエレクトロニクスにおける多様性の重要さを協調されておられた。産研のように多様な研究分野を持つ研究所が共通のテーマとして持つのにナノエレクトロニクスは一つの候補であると考へて本シンポジウムのテーマに選んだものである。本シンポジウムでの議論が産研の将来の研究方向に役に立てば非常に幸である。

日本はある意味ではホモジニアスな国である。その中で産研は小さな組織であり、そこで研究し、生活する我々は研究分野が多様であるにもかかわらず、ともすれば同じ様な考え方をする。同じ様な考え方のの人々と議論してもあまり刺激は得られず、あまり役に立たない。この国際シンポジウムは産研の研究者が異なった考え方のの人々と議論する非常に良い機会である。特に若い研究者にとってはこのシンポジウムに参加し議論することは有意義であると思われる。その意味ではもっと若い研究者(今回もある程度招待したが)の招待講演を多くする必要があると感じた。

日頃話しが聞きにくい異なった分野の研究内容が分って有意義であったとの声が多く聞こえたが、テーマをもっと絞って内容の濃い議論ができるシンポジウムも何年かに一回位あっても良いという意見もあった。今後の課題である。

今回も前回と同様にインターネットライブによってシンポジウムの様子を放送した。今回は2台のカメラを駆使したこと等によりスムーズに中継が行われた。休憩中やポスターセッション中の再放送で自分の講演をチェックしたりして好評であった。アク

セスの仕方等をもっと知らせる必要がある。ちなみに615回アクセス(海外30回)があった。以下各セッションの内容について述べる。

セッション1はNano Science and Devicesにあてられ、D. M. Eiglerの冒頭講演“Quantum Mirages”では、電子の波を操る様を近藤効果をフィルターとして見事に画像化した結果は、原子を積み上げることによる“a tremendous range of possible structures and materials”が拓けるナノエレクトロニクスの未来を想像させるものであった。引き続き、河田(阪大工)により、種々の振動分光法をNSOMに組み込んだ近接場光学の新しい展開とそのナノ科学における役割について多くの新しい実験結果を交えて報告された。高橋(NTT)は、“Si Single-Electron Devices”と題して、ULSIプロセスを踏まえたPADOX, V-PADOXと呼ばれる自己形成的酸化膜埋め込みシリコンナノ構造作成法を駆使した単電子素子を用いたメモリやロジックなどの集積回路の作製と動作を紹介した。ポスターセッションは、2日にまたがり、内外招待講演を含む39件の、それぞれ最新の興味ある結果が報告された(プロシーディングスを参照されたい)。

セッション2：計算機物理 近年、コンピュータと計算物理学的手法に大きな進歩があり、原子番号だけを入力パラメータにした第一原理計算による物性予測に基礎をおいたマテリアルデザインの可能性や現実性が議論されるようになってきた。このような背景のもと、計算物理学のセッションでは、赤井(理学研究科)の司会のもとに、A. Zunger(米国エネルギー省代替エネルギー研究所)による、擬ポテンシャル法を用いた半導体量子ドットの電子状態の大規模シミュレーション結果が報告された。第一原理計算に基づいて、強結合モデルのパラメータを現実を反映するように射影し、これらを用いて数100万個の原子からなるピラミッド型の半導体量子ドットについて現実的な電子状態の計算を行い、有効質量近似による解析が非現実的であることを示した。吉田(阪大産研)は、非平衡状態の結晶成長中にアクセプターとドナーを同時にドーピングすることにより、準安定なアクセプター・ドナー複合体を形成し、GaNやZnOを低抵抗p型化することが可能であることを示した。最近、田畑, Jeseephら産研川合グルー

ブによる同時ドーピング法による低抵抗 p 型 ZnO の創製実験とマテリアルデザインとの比較を行った。また、第一原理計算に基づいて ZnO や GaN に遷移金属やホールをドーピングすることにより、透明超強磁性体創製のためのマテリアルデザインについても報告した。K. J. Chang (韓国科学技術高等研究所) は、局所的につぶれた変形を行ったカーボン・ナノチューブについて、グリーン関数法により電流・電圧特性やトランスミッション確率などの輸送現象を計算し報告した。鏡映対称を持つ変形ではバンドギャップが現れ、トランスミッション確率にへこみが生じたり、変形の条件を変えることで共鳴状態や反共鳴状態が生じ、さらにサンドイッチ状に変形したものは量子ドットとして振る舞うことを示した。引き続き行われたポスターセッションにおいても多くの半導体、酸化物、遷移金属、希土類金属やこれらの化合物に関する計算物理学に関する高水準の発表が多くあり、Zunger や Chang も交えて議論が盛り上がり、後日、我が国の計算物理学の水準の高さと層の厚さについてお褒めの言葉を戴いた。

セッション 3 では、GaN-related Materials and Devices に関して招待講演 3 件、ポスター発表 10 件 (招待 6, 一般 4) が行われた。Massies (CNRS, France) からは、GaN 系半導体における MBE の特徴が議論された。高移動度の AlGaIn/GaN 2 次元電子ガス構造の成長、STM その場観察による成長機構の解明、RHEED により制御された量子構造成長による発光波長シフトの機構解明と広い波長域での発光制御された量子ドットの形成が示された。Christen (Magdeburg Univ.) は、サファイヤ基板上に SiO₂ または W のマスクを用いて ELO (Epitaxial Lateral Overgrowth) 成長した GaN に対して高分解能の CL 観察による詳細な歪み分布の評価結果を報告した。朝日 (阪大) は、巨大バンドギャップボーイングを示す GaN リッチの III-V-N 混晶、強く光る多結晶 GaN、更に TI を含む TI-III-V-N 混晶とその新規なデバイス応用の可能性を議論した。その他には、GaN/AlGaIn 紫外検出器、GaN の極性制御、立方晶/六方晶 GaN の形成制御などの報告があった。

セッション 4 では「分子デバイス」に関して招待講演 3 件、招待ポスター発表 8 件、および一般ポスター発表が行われた。いずれの研究も、特徴的機能

を有する分子または分子集団が要素単位となった機能性分子化学の観点からナノエレクトロニクスに迫る興味深い内容であった。最初に Heath (UCLA) は、望みの機能を持った分子を望みの機能を発揮できるように集積させることによって分子エレクトロニクスに基づいたコンピュータを構築することが可能であるという講演で、分子デバイスの見通しが明るいことを示した。続いて、原田 (東北大反応研) は最近合成した置換オレフィンの二重結合回りの光異性化と熱構造変化を巧みに利用した光駆動型キラル分子モーターについて、筒井 (九大総理工) は半導体と同レベルの電子的挙動を示す有機デバイスとして画期的である有機 EL ディスプレイの実用デバイスとしての確実な将来展望を示した。また、海外からの招待ポスター発表者の Park (Harvard) は金電極上の C60 による単一分子トランジスタについて講演した。

セッション 5 では、“Oxides Materials and Devices” と題して、酸化物エレクトロニクスに焦点がおかれた。酸化物セラミックス、特に 3d 遷移金属酸化物は、強い電子相関により磁性、誘電性、超伝導、光機能など多彩な物性を備えた物性の宝庫である。招待講演として、高温超伝導でノーベル物理学賞を受賞したベドノルツ博士 (IBM) と、ユニークなレーザ分子線エピタキシー法の開発者である Blank (Twente 大) から当該分野のレビューがなされた。特にベドノルツ博士自信の最近の研究として、酸化物強誘電体薄膜のシリコン素子上への形成が紹介され、基礎科学だけでなく応用も視野に入れた研究スタイルに触れられたことは大きな収穫であった。この化合物は高温超伝導体と同じペロブスカイト結晶構造をしており、ペロブスカイト化合物の持つ多彩な機能を、改めて認識させられた。

セッション 6 では、ZnO-related Materials and Devices に関して招待講演 2 件、ポスター発表 9 件 (招待 4, 一般 5) が行われた。Cantwell (Eagle-Picher) は、Seeded CVD による高品質 ZnO バルク結晶の成長と評価について報告した。原料輸送プロセスの解析に基づき高精度な成長制御を達成している。47mm 径のバルク結晶を得ており、EPD, X 線回折、ホール測定、PL 測定から高品質であることを示した。川崎 (東工大) は、ZnO 単結晶薄膜での紫外レーザ発振の観測、ZnCdO, MgZnO 混晶によ

るバンドエンジニアリング, ZnO結晶性の飛躍的向上などの最近の進展の例を示し, ZnO Optoelectronics, Oxide Electronicsの展望を議論した. この他には, co-dopingによる p 形ZnOの成長, ZnSe等II-VI系での量子ドットの報告などがあった.

セッション7でははじめにUC SanDiegoのC.W. TuがNovel Optoelectronics Materials: GaInNAs and Ga(In)NPと題して講演があった. その中で1.3および1.55 μm で発光するGaInNAs量子ドットが紹介された. さらにTuのグループではじめて見出された直接遷移のGaNPで強いフォトルミネセンスが観測されたとの報告があり注目をひいた.

2番目はIoffe InstituteのN.N.Ledentsov(Technische Universität Berlin客員教授)による彼等のグループで世界に先駆けて開発した量子ドットレーザに関する講演があり, 1.3 μm で100mwの出力の単一横モードが紹介された. さらに面発光レーザも製作し, しきい電流値が64 μA ときわめて低い値が得られたとの興味深い報告があった. 量子ドットレーザの実用化が間近にせまったとの感があった.

セッション8: Advanced Computing/Quantum Computerでは, 先ずPao(Case Western Reserve大)がAIによるCreative Design of Materials of Processesの有効性・実用性が, 原子番号を与えるだけでイオン化エネルギーなどの物理的性質が精度よく求められるなどの例をあげて紹介された. 引き続き, ナノエレクトロニクスの一つの大きな可能性を秘めた量子コンピュータについて, 北川(阪大基礎工), 中村(NEC), Kane(Maryland大)により, それぞれ核スピン, ジョセフソン素子, 半導体中の不純物核スピンをQubitとして用いた, 最新の顕著な実験結果も含む研究報告が行われた. ポスターは, 理研, NTT, 富士通から, coupled quantum dotsを用いた固体素子量子コンピュータの報告があった. この若い研究分野は, 若い研究者の活躍が印象的であった.

最後に, 多くの講演者自身が講演の冒頭でそのように語っていたように, 参加者にとってシンポジウムでは得るものが多く, 所期の目的の大きな部分は達成されたと思われる. プロシーディングスは, 産研Memoirs特別号(Vol.57, 2000)として出版された(残部がありますので, 希望者は岩崎までご連絡ください).

