



出張報告

ホテル 11 階より比叡山と東山連峰を望む

JST-DFG workshop on Nanoelectronics (JST-DFG 日独合同ナノエレクトロニクスワークショップ)

戦略的国際事業の一環として行っている日独合同ナノエレクトロニクスワークショップが、2009 年 1 月 21 日から 24 日までの 3 日間にわたり、京都市のからすま京都ホテルで開催された。オーガナイザは日本側が佐藤勝昭農工大名誉教授、横山直樹富士通研究所フェローの 2 名、ドイツ側が Claudia Felser マインツ大（正確にはヨハネスグーテンベルグ大）教授である。

プログラムは、開会式、基調講演と 5 つのセッションから構成された。

開会式においては国際部大久保部長がこのワークショップ開催の経緯を述べた後、日独双方から挨拶があった。

基調講演では、CDRS の田中一宣上席フェローが「Overview of Emerging Nanotechnology (最新ナノテクノロジーの概観)」というタイトルで、エレクトロニクス発展におけるナノエレクトロニクスの重要性を強調し、More Moore, More than Moore, Beyond CMOS それぞれにおける要素技術の新展開とそれを支える国家の政策などについて熱弁をふるった。とくに、米国における NNI (National Nanotechnology Initiative) が進めている 4 つの先端的研究センター建設の構想をはじめ中国・韓国・台湾などのナノテクノロジーへの支援の大きさを紹介し、日本が遅れをとっている現状を指摘した。



セッション 1 「次世代電子デバイスのためのナノサイエンスとナノ材料」(モデレータ：佐藤勝昭)

東北大多元研の秩父重英教授は、「非極性窒化アルミニウム・インジウム・ガリウム薄膜と量子井戸における結晶成長と光物性」と題して、最近話題の非極性 m 面基板への III-V 族窒化物のエピタキシャル成長と光学的評価を概説し、これを用いることによって発光デバイスの効率がいかに改善されるかについて述べた。実際にこれを



用いた紫色レーザーの実物も紹介した。

バイロイト大の Anna Koehler 教授は「有機金属および有機半導体における三重項エネルギー伝達」と題し、はじめに有機材料における光物性のチュートリアルな解説をしたのち、有機 EL の発光効率が改善のためには、スピン三重項状態へのエネルギー伝達メカニズムを利用することが有効であることを述べ、三重項励起子の拡散のメカニズムを明らかにする基礎研究を紹介した。



阪大基礎工の鈴木義茂教授は、「磁気トンネル接合素子におけるスピントランスファー現象—トンネル磁気抵抗効果とスピントルク効果の相互作用」と題して、酸化マグネシウム単結晶障壁層をもつ磁気トンネル素子における巨大トンネル磁気抵抗とスピン注入磁化反転の機構を組み合わせた負性抵抗素子が増幅作用を示すことを明らかにした。また、最近、Nature Nanotechnology に掲載された、電界制御の磁化反転というホットな話題を紹介した。その機構について会場から多くの質問があった。



エルランゲン大の **Marcus Halik** 教授は、「自己組織化単分子層—分子スケールの有機エレクトロニクス」と題し、単分子層有機薄膜を用いたトランジスタ(SAMFET)の優位性について熱っぽく語った。ゲート絶縁物に有機物超薄膜(2.5nm)を用いることによって非常に大きなゲート容量($1 \mu\text{F}/\text{cm}^2$)と低動作電圧(2V 以下)を到達でき、14MV/cm のゲート電界でもリーク電流が $10^{-9}\text{A}/\text{cm}^2$ という小さな値である。フレキシブル基板上に有機 CMOS も作製できる可能性に言及した。



京大化研の**小野輝男**教授は、「ナノ磁性体における電流誘起磁化ダイナミクス：基礎から応用まで」と題して、はじめに、電流注入による磁壁移動についての以前の研究とこれを用いた **Race-track memory** の可能性を紹介したあと、最近の成果である円形ドットにおいてボルテックス芯の反転を交流的に制御できることをシミュレーションと実験の両方から示し、これを用いて記録デバイスの可能性を論じた。

セッション1の最後は、スツットガルト大の **Martin Dressel** 教授の「分子レベルでの物質設計—低次元系における物理研究のための有機固体」である。ここでは、代表的な低次元系有機物ファミリーである一連の **BEDT-TTF** を取り上げ、モット転移点付近の電子相関物性が温度・圧力などを変えることによって大きく変化することを光スペクトルを通して論じた。低次元系では **Drude** 型の金属的な光スペクトルと、電荷移動型のスペクトルが共存すること、バンドフィリングの制御で超伝導まで実現できるなど、基礎的に興味深い研究成果を紹介した。



セッション2 「ナノエレクトロニクスデバイス技術」 (モデレータ：横山直樹)



産総研次世代半導体研究センターの**金山敏彦**博士は、「CMOS トランジスタにおける原子レベルの材料プロセスとナノスケールの評価」と題し、CMOS の限界を突破するための諸技術：高移動度のためのひずみチャンネル、ハイ k 誘電体/金属ゲート、金属ソース/ドレインなどが導入されている状況を概説したのち、今後必要となる技術として、ヘテロ界面における原子レベルのプロセスの重要性を指摘した。その上で、走査トンネル顕微鏡などのプローブ顕微鏡を活用した原子レベルのキャラクタリゼーションが課題になることを指摘した。

アウスブルグ大の **Jochen Mannhart** 教授は、「酸化物界面における 2 次元電子ガス」と題して、酸化物の界面に生じる 2 次元電子ガスについて論じた。この電子ガスは、界面での酸化物の電子構造の再構成に起因しており、酸化物界面においてはバルクとは全く異なった電子状態が存在することを述べた。また、この電子ガスをデバイスに利用するための提案を行った。



京大工学部の**野田進**教授は、「フォトニック結晶によるフォトンの操作—ナノキャビティのダイナミック制御」と題して、はじめにフォトニック結晶を用いて、フォトンの閉じこめが実現できること、その状態からフォトンを取り出すことができることなどを述べた後、最近の研究成果として、交流電流の印加によってキャリアの制御を行い、フォトンの閉じこめや取り出しを自由自在に操れる技術を開発したことを紹介した。

マインツ大の **Carsten Soennichen** 准教授は、「プラズモンナノオプティクスー光学デバイスのための貴金属および半導体ナノ粒子」と題して、金属微粒子のサイズ形状を化学的にコントロールすることによって、様々な色を発色出来ることを示したのち、ナノ粒子のプラズマ現象が生物学的環境のラベルに使えることなどを述べた。



東北大ナノメカニクス専攻の**田中秀治**准教授 (CDRS 特任フェロー) は「先端 LSI 上への高性能 MEMS 形成のためのプロセス技術」と題して、More than Moore としての MEMS 一体型 LSI の作製について述べた。はじめに従来型のオールシリコンプロセスでの MEMS には疲労現象などの欠陥があることを述べ、その解決のために、シリコン貼り合わせプロセスへの有機物の導入を提案し、RF-MEMS や BAW デバイスへの

適用例を示し、有効性をアピールした。

マインツのマックスプランク研究所の **Frederic Laquai** 氏は、「超高速光スペクトロスコープによるコンジュゲートポリマーの光物性」と題して、誘起材料の励起状態のダイナミクスを理解には、フェムト秒という非常に短い時間スケールからミリ秒以上の長い時間スケールまでの時間分解蛍光スペクトルの研究が重要であることを述べ、梯子形状の一連のポリマーにおける ASE (増幅された自然放出) の機構について論じた。



セッション3 「再生可能エネルギーのためのナノ材料」 (モデレータ: Ingrid Mertig 教授)

ベルリン自由大学の **Sabine Schlecht** 教授は、「ナノ粉末熱電材料: ナノ構造による熱電変換性能指数の改善」と題して講演した。熱電変換性能指数は、電気抵抗率に比例し、熱伝導率に反比例するので、ナノ粉体を用いることによって、電気抵抗を増加し、熱伝導を下げる事が出来れば性能指数が改善されるはずであるとの考えから、二元、三元のアンチモン化物、テルル化物のナノ粉体で実証した。

京大エネルギー理工学研究所の **吉川暹**教授は、「超階層ナノ構造をもつ有機太陽電池」について述べた。有機薄膜太陽電池の高効率化には、「超階層ナノ構造素子」の構築により、バルクヘテロ接合の理論限界を超える 10%以上の効率をめざすことが目標となる。その際、特に電子輸送層 (ETL), 活性層 (LAL), ホール輸送層 (HTL) など 1 次元構造をもつ新規ナノ材料の開発が不可欠であり、その積層技術・自己組織化技術などの技術開発とともにナノテクノロジーがキーとなるものと述べた。



ウルム大の **Peter Bäuerle** 教授は、「有機太陽電池用チオフェン系材料ー第3世代の光発電材料」と題して、有機太陽電池実現のためのさまざまな試みについて概説し、現在では共役系高分子 P3HT とフラレーン誘導体 PCBM のブレンド膜からなる素子で、4-7%の効率が得られていることを紹介した。低分子系ヘテロ接合太陽電池に、低バンドギャップのオリゴチオフェンを用いることで5%近い効率のタンデムセルができていること、色素増感太陽電池に機能性樹

枝状オリゴチオフェンを組み込むことで 8.3%の効率と長寿命が得られていることなどを述べ、実用が近いことをアピールした。



東京農工大の直井勝彦教授は、「設計されたナノ材料を用いた最先端スーパーキャパシタ」というタイトルで、急速充放電が可能で安全性の高い大容量スーパーキャパシタを紹介した。実物のキャパシタを回覧しながら、2次電池と比べての有効性と欠点を述べ、リチウム電池とキャパシタの組合せについても触れた。電気2重層の形成のされ方、ナノ材料の役割等について、会場から熱心な質疑が行われた。



本ワークショップのドイツ側オーガナイザであるマインツ大の **Claudia Felser** 教授は、「多機能応用に向けての半導体性およびハーフメタル性ホイスラー合金」と題して、ハーフホイスラー合金の熱電応用、強磁性ハーフメタル・ホイスラーの磁気抵抗素子への応用、フェリ磁性ホイスラーのスピントルク応用などについて、構造と機能の関係に焦点を当てながら講演した。

セッション4「測定とキャラクタリゼーション」(モデレータ: Claudia Felser 教授)

筑波大数理物質科学研究科の重川秀美教授は「レーザとSTMの組合せによるナノスケールのキャリアダイナミクスのイメージング」と題し、JSTのCRESTの助成を受けて進めてきた走査プローブ顕微鏡と量子光学の2つの先端技術を融合することで、時間と空間の両領域で極限的な分解能をあわせ持ち、ナノスケールでの新たな物性研究を可能にする新しい極限計測・制御技術を紹介した。



フンボルト大学の研究員 **Norbert Koch** 博士は、「孤立したC60分子へのソフトな金属電極」と題して、界面にHATCNという有機電子受容体を利用することによってフラーレンと銀の強固で電子的に優れた接触を形成できることなど、分子エレクトロニクスにおいて重要な電極形成へのアプローチを述べた。

群馬大工学部の保坂純男教授は、「照射・集光モード近接場顕微鏡とアパーチャーレス三角錐カンチレバーを用いたラマン分光」というタイトルで、光磁気ディスクの記録微小磁区のSNOM観察のほか、シリコンデバイス構造における微小領域のラマンシフトのSNOM(近接場顕微鏡)による観察を報告した。



ミュンスター大の **Harald Fuchs** 教授は「原子スケールで物質を探る」と題して、さまざまな走査プローブ顕微鏡を利用した原子スケールでの物性評価について論じた。当初はイメージングできるかが最大の課題でしたが、最近の関心事は、バイオに移っており、タンパク質分子のフォルディング、アンフォルディングの情報を直接見ようということに利用されている。

物質材料研究機構(NIMS)の宝野和博博士は「3次元アトムプローブによる原子観察を用いた材料設計」と題して講演した。ディスプレイウム添加なしに室温で大きな磁気エネルギー積をもつネオジム永久磁石の開発は元素戦略・希少金属代替上重要な研究である。宝野氏は、独自に開発した3次元アトムプローブ技術を用いて、元素の3次元分布状況を明らかにし、開発上の指針を明確にした。



ドレスデンの固体物理研究所の **Sabine Wurmehl** 博士は、「化学量論組成ターゲットからスパッタされた Co_2FeSi 薄膜の組成ずれの核磁気共鳴による解明」と題する講演を行った。 Co_2FeSi はスピントロニクス電極として高いスピン偏極率が期待される材料であるが、実際には期待される性能が得られていない。**Wurmeil** 氏は、 Co_2FeSi における Co の局所的環境を ^{59}Co の NMR を用いて測定し、この原因が化学量論組成のずれにあることを解明、今後の改善の指針を得た。



セッション5 「理論的および計算物理的アプローチ」(モデレータ：佐藤勝昭)

阪大基礎工の **赤井久純** 教授は、「ナノ材料の計算科学による設計とスピントロニクスへの応用」と題し、阪大で開発している材料設計のための計算機エンジン **CMD** について紹介した。このエンジンでは、ナノスケールの第1原理計算とマクロスケールの物性との間にあるサブミクロン領域の物理を計算機科学で設計しようとするものである。講演ではこれを用いた例として、複雑な構造をもつ巨大磁気抵抗素子とハーフメタル反強磁性体を取り上げた。



マルチンルーテル大の **Ingrid Mertig** 教授は、「フェロイック材料とその新奇的な機能性」と題し、第1原理計算に基づいて、酸化物フェロイック材料の界面ひずみや界面結合などの物性を明らかにした。特に、ペロブスカイト構造の ATiO_3 ($A=\text{Pb}, \text{Ba}$) (001) 基板の TiO_2 面上に形成した鉄薄膜の磁性の異常な膜厚依存性を構造変化と磁性の関係という観点から論じた。



物質・材料研究機構(NIMS) 計算材料科学研究センターの **大野隆央** 博士は、「ナノ構造材料の量子的シミュレーション」というタイトルで、半導体表面への原子の吸着とその拡散、さらには、不純物がもたらす電子準位について地球シミュレータを用いた大規模な第1原理計算を行った結果について報告し、ナノスケールからマクロスケールへの橋渡しについて論じた。



ミュンヘンのルードウィヒ・マクシミリアン大の **Hubert Ebert** 教授は、「スピントロニクス材料の輸送特性に対するスピン軌道相互作用の効果」と題して、スピン密度汎関数法に相対論的取り扱いを取り込んだ理論を適用して電気伝導の異方性、特に、トンネル磁気抵抗効果の異方性を論じた。特に、 $\text{Fe}/\text{GaAs}/\text{Au}$ において大きな磁気異方性が得られることを示し、注目された。



Hubert

東大理工工学専攻の **押山淳** 教授は、「窒化物半導体のカチオン空孔：固有磁性の可能性」と題し、窒化物においてはカチオン空孔が生成したとき局在した磁性中心になりうること、ガドリニウムを含む窒化物半導体においては、空孔のスピンが揃って、ガドリニウム1原子あたり1000ボーア磁子もの大きな磁性をもたらすこ



とを見出し、実験で観測された磁性増強を説明し、聴衆に驚きと感銘を与えた。

マインツのマックスプランク研究所の **Dennis Andrienko** 博士は、「有機半導体における構造と物性の関係：理論家のアプローチ」と題して、有機分子における化学構造、モルフォロジーが電気伝導性にどのように影響するかを論じた。結論としてはモルフォロジーがホッピングレートを決めること、隣接分子との方位関係が重要であることなどを述べた。



閉会式では、横山直樹オーガナイザの挨拶のあとドイツ側からの感謝のメッセージがあった。

Social Program について

1/20 17:00 ウェルカムレセプション

関西空港からの電車が人身事故で遅延するなど、終了間際に到着される方もあり、食物が豊富な割に参加者が少なく少し寂しかった。



1/21 19:00 ザ・ガーデン・オリエンタルでのディナー



会議初日のディナーは、日本画の大家竹内栖鳳の私邸を利用したイタリアン創作料理レストラン「ザ・ガーデン・オリエンタル」行われた。八坂の塔をすぐそばに見る景勝の地であるが、生憎の雨

で駐車場からレストランまでの足下が悪かったのは残念である。味については個人差があるので評価を控えたいが、国籍不明の料理という印象であった。



1/22 18:30 美濃吉での懐石料理ディナー



2日目のディナーは京懐石で有名な美濃吉の烏丸四条店であった。烏丸通錦小路上にあるビルの地下、ホテルから10分足らずで歩いていける場所にあった。懐石料理は、日本人にはなじみの伝統的な味であるがドイツ側出席者のうち女性には好評のようであったが、男性陣は食わず嫌いもある風に見えた。英文での説明があればよかったのにと考えた。狭い空間であったので、日独の会話がはずみ、親密さは増したと思う。

1/23 13:30～ ローム社見学

ローム社の見学には当初20名くらいの参加を見込んでいたが、観光に出かける方が多かったので10名足らずの寂しい見学会となった。はじめに会社の概要や研究開発の内容について丁寧な説明があり、見学コースに沿ってであるが、クリーンルームまで含め、研究設備や研究成果などについて丁寧な説明があった。



楽しいワークショップでした。勉強になりました。最終日、ドイツの第4回のWSで会いましょうと言って、お別れしました。



ホテルのすぐ裏の「室町通仏光寺通り下ル」付近の京町屋風景。