

ナノメーターオーダーの電子放射の制御による 極限画像科学の研究

[1] 組織

代表者：高井 幹夫

(大阪大学)

対応者：中本 正幸

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

中本 正幸(静岡大学電子工学研究所)

後藤 康仁(京都大学大学院)

佐々木 正洋(筑波大学大学院)

若家 富士男(大阪大学極限量子化学
センター)

浅野 種正(九州大学大学院)

中根 英章(室蘭工業大学)

三村 秀則(静岡大学電子工学研究所)

南日 康夫(富山県新世紀産業機構)

横尾 邦義(東北大学名誉教授)

石川 順三(中部大学)

尾浦 憲治郎(大阪大学超高压電子顕微鏡
センター)

大島 忠平(早稲田大学)

岡野 健(国際基督教大学)

越田 信義(東京農工大学大学院)

齋藤 弥八(名古屋大学大学院)

嶋脇 秀隆(八戸工業大学)

杉野 隆(大阪大学大学院)

畑 浩一(三重大学大学院)

Jong Min Kim (Samsung Advanced)

[2] 研究経過

画像分野、学際分野およびこれらの融合分野における基礎・技術・システムなどに関する国内外の優れた研究者を集結し、電子放射の制御と高性能化を目指したナノメートル領域での新材料創成、構造制御技術と評価技術、およびこの領域で新たに発現する現象および機構解明により、物質の極短時間変化過程の可視化を可能にする時間分解能 $1\mu\text{sec}$ 以下の超高速撮像、空間分解能 10nm 以下の超高速解像度撮像、原子・分子を識別した透視画像の可視化を可能にするテラヘルツ、X線透過画像、高臨場感画像等を実現する基礎的知見を得ることを目的として

研究を行った。

日常的な共同研究に加え、電子放射の制御と高性能化を目指したナノメートル領域での新材料創成、構造技術制御・機構解明に関する最新の研究成果の発表と情報交換の機会を提供するため、1年に4回研究会を行っているが、今回の研究会を3月2日～3日の2日間にわたり、研究者を招請した第7回真空ナノエレクトロニクスシンポジウムとして、日本学術振興会真空ナノエレクトロニクス第158委員会と共同で開催した。また3月4日には韓国から研究者を招請した第2回日韓真空ナノエレクトロニクスワークショップを開催し、最新の研究成果の口頭発表と質疑応答を行った。

[3] 成果

(3 - 1) 研究成果

大阪大学の中山喜萬教授はカーボンナノチューブ(CNT)の曲げ変形と延伸変形について講演を行った。講演では、CNTの塑性加工について、これまで理論的、実験的に研究されてきたことについて述べた。理論的にはCNTの塑性変形は熱力学的な現象であるがCNTが直線の場合、ある一定以上の引っ張り歪が、また弾性曲げ変形のある場合では一定の曲率以上の変形が必要である。また、低温ではある一定以上の歪がかかるとCNTは破壊し、十分な温度が与えられると、歪の大きいところで歪エネルギーを低減し塑性変形を起こす。実験的に実証された塑性曲げ変形は、直線状のCNTに弾性的に曲げを与えて、ある一定以上の電流を流すことにより導入されたものである。曲げ角は20度から30度の範囲にあり閾値電流の絶対値はCNTの昇華に必要な電流値よりも極めて小さい。閾値電流はCNTの直径に大きく依存し、太いほど小さくなる。塑性曲げ変形は昇華に必要な電流値に近いところで、元の直線に戻ることも述べた。つまり、一方向の形状記憶現象である。CNTの一端が拘束されず自由であればボンドスイッチに必要なエネルギーが与えられると直線になる。座屈曲げ弾性変形を与えた状態で通電すると、エル状に塑性曲げ変形を形成する。一定の温度範囲・曲げ角範囲で、向かい合う炭素ネット

ワーク間に橋渡しする結合が形成され、それが移動し側壁に吸収される形で座屈が解消する。

塑性変形に深い理解は、ナノデバイスの構築だけでなく、マクロな応用においても、CNT の適切な加工を可能にする。CNT の今後の進展に期待が出来る。

中部大学の石川順三教授は、真空ナノエレクトロニクスの研究の経歴を紹介した後、微小電子電源陰極材料の評価方法 S-K チャートについて説明を行った。S-K チャートは横軸に F-N プロットの切片、縦軸に F-N プロットの傾きをとったチャートで、志保と関数と構造因子の評価、仕事関数と安定性（雑音電力）の関係など実際の応用例を紹介した。続いて、高輝度・高安定を目指した遷移金属窒化物・炭化物陰極材料の開発について述べた。これらの材料は化学的安定性、高い融点、良好な電気伝導性、高いスパッタリング耐性といった点から微小電子源の陰極材料として有望であることを述べた。遷移金属窒化物の陰極材料では HfN が耐酸化の点では期待でき、HfN のフィールドエミッタアレイ (FEA) の特性を示した。炭素系陰極材料ではダイヤモンド薄膜やレーザー照射した CNT の電子放出特性について報告した。次に、シリコンエミッタを炭化処理した Si:C-FEA について炭化処理方法や作製プロセス、およびその動作電流や寿命について報告があった。

名古屋大学の齋藤弥八教授は CNT 電子エミッタへのチタンと金の堆積の効果について講演を行った。まず、チタンを堆積することでエミッタの電流増加、安定性の向上が期待される。放出電流のチタンの膜厚依存性の実験では、チタン膜厚が 0.9nm までは放出電流は増大するが、それ以上になると放出電流は減少していく結果となった。これはチタン膜厚が 0.9nm までは電子放出面積の増大により放出電流が増加するが、0.9nm 以上の場合、電界増強因子の現象のため放出電流が減少するとの報告があった。次に金の堆積について報告があった。金を堆積した CNT の電流 電圧測定を行うと、CNT 上の金粒子の形状が島状から球状、さらには消失することが分かった。これは電流が流れることにより、抵抗加熱のため金粒子が蒸発したためと考えられる。金粒子が蒸発する電流密度は 10^7A/cm^2 であることも分かった。

民間企業からはパイオニア株式会社の根岸伸安氏が 2/3 インチ 640x480 画素の HEED 冷陰極 HARP 撮像板の開発について講演を行った。HARP 撮像板を用いたイメージセンサの背景およびピクセルサイズが 2003 年には $90 \mu\text{m}$ であったが 2009 年には $13.75 \mu\text{m}$ まで小さくなってきているとの報告があった。

静岡大学の根尾陽一郎准教授は有機分子を経由した電界放射顕微鏡において非常に特徴的なクローバーリーフパターンの起源究明について講演を行った。これまでとは異なったアプローチにより起源究明を試みた結果、電界放射顕微鏡においてクローバーリーフパターンを投影する放射サイトの実像を FIM によりはじめて明かし、形成のための必要条件を明確化することに成功した。形成に必要な条件として、吸着分子の最外電子が結合であること、タングステン上に安定した物理吸着をすること、電流注入により吸着状態が変化することを満たす必要がある、といったことを明らかにしたと報告があった。合計 18 名（招待講演 3 名、一般講演 15 名）の講演者によりシンポジウムを行い、日韓真空ナノエレクトロニクスワークショップでは Korea University の Prof. C. J. Lee が CNT ポイントエミッタの電界電子放出特性について講演を行った。CNT 平面エミッタだけでなく CNT ポイントエミッタも様々な電界放出アプリケーションへの良いフィールドエミッタであると報告した。点エミッタの高いエミッション特性が X 線源や電子ビーム源として現実的に応用できると発表した。

産業技術総合研究所の長尾昌義博士は同研究所における真空ナノエレクトロニクスに関する主な研究アノード電圧 1.5kV で 1700cd/cm^2 の輝度「超高輝度フィールドエミッションディスプレイ (FED)」₁、「大面積フィールドエミッタ用の薄膜曲げ方法」₂、集束電極を積層した「マイクロレンズ一体型フィールドエミッタ」の紹介を行った。

合計 7 名の講演者によるワークショップを行った。電子放射の制御と高性能化を目指したナノメートル領域での新材料創成、構造技術制御・機構解明に関する最新の研究成果の発表と情報交換を行うことが出来た。

(3-2) 波及効果と発展性など

従来、必ずしも画像科学分野で注目されてこなかった様々な先端異分野をリードしている国内外の研究者を集結することにより、極限画像科学実現に大きく寄与することが期待される。

[4] 成果資料

(本プロジェクトで研究された研究成果が掲載されている主要論文リスト掲載してください。)

(1) Y. Nakayama, K. Hirahara, and Y. Yamagichi: Proc. Of 81st Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics, Karlsruhe, (2010).