

電子状態及び電子放出機構解明に基づく極限画像デバイス用 低仕事関数電界電子放出源の研究

[1] 組織

代表者：佐々木 正洋

(筑波大学大学院)

対応者：三村秀典

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

佐々木 正洋 (筑波大学大学院)

中本 正幸 (静岡大学大学院)

後藤 康仁 (京都大学大学院)

吉武道子 (物質・材料研究機構)

文 宗鉉 (静岡大学大学院)

[2] 研究経過

表示・撮像デバイス、表面電子状態、表面局所障壁の理論と評価、仕事関数理論、電界電子放出源等の分野に優れた筑波大学佐々木正洋教授、京都大学後藤康仁准教授、(独)物質・材料研究機構 半導体材料センター吉武道子主席研究員、更に静岡大学電子工学研究所中本正幸教授、文宗鉉助教達を結集し、カーボンナノチューブ、グラフェン等のナノカーボンを含めた種々の電子放射物質のナノメートル～マイクロメートル領域における異元素を導入したエミッタ材料の格子状態、格子変形、拡散状態、電子状態、ならびに電子放出機構のメカニズムの解明により、超高精細・高臨場感画像デバイス、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 $1\mu\text{sec}$ 以下の超高速撮像デバイス、空間分解能 10nm 以下の超高解像度撮像デバイス、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線透過画像デバイスを目指す基礎的知見を得ること。

約8億円の3万V高電圧印・ 256×256 画素電界電子放出源・真空一貫電界電子放出源作製評価

システム等の真空ナノエレクトロニクス研究設備を有する静岡大学電子工学研究所中本研を中心に、局所表面障壁評価装置等を有する筑波大学佐々木研、各種表面状態評価装置を有する(独)物質・材料研究機構吉武研、各種電界電子放出源作製装置を有する京都大学後藤研間で、種々の異元素導入した仕事関数材料の電界電子放出アレイを作製・評価する。更に、カーボンナノチューブ、グラフェン等のナノカーボンを含めた種々の電子放射物質のナノメートル～マイクロメートル領域における異元素を導入したエミッタ材料の格子状態、格子変形、拡散状態、電子状態、ならびに電子放出機構の機構解明、仕事関数材料創成、構造制御技術等に関する詳細な検討・討議と情報交換の機会を提供するため、2014年2月15日～16日の2日間にわたり、研究会を開催し、最新の研究成果の発表と質疑応答を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

筑波大学の佐々木正洋教授は、炭素系材料の電子放出機構の微視的検討について講演を行った。講演では、低電界電子放出の機構を解明するために、STM/FE と FEM/FIM を用い、真空アーク炭素膜、C60膜の微視的性質について述べた。

炭素系材料の電子放出機構を解明するため、炭素系材料を原子スケールで観測した。真空アーク炭素膜は、ナノメートルスケールの多様な電子状態をもつグレインで構成されている。局所FE電流はグレイン毎に異なる。STM計測結果に対応したFIM/FEM像が得られた。電界で脱離することなくC60のFIM/FEM計測が可能を検討した。

(独)物質・材料研究機構の吉武道子主席研究員は、遷移金属炭化物・窒化物の仕事関数の炭素・窒素欠陥依存性について講演を行った。講演では、TaCとHfCの炭素欠陥の仕事関数への影響、フェルミレベル近傍の状態密度に寄与する元素炭化物と窒化物の比較、欠陥がバルク項に与える影響を別の実験値から推定について述べた。

TaCでは仕事関数を増加させ、HfCでは減少させる。特定の遷移金属炭化物において、炭素欠陥が入

ると仕事関数が増加することを予測する方法。第一原理計算から、実用的な金属炭化物・窒化物では、フェルミレベル近傍の状態密度を構成する軌道が金属由来なため、欠陥は仕事関数の表面項には影響を与えず、バルク項（フェルミレベルの位置）に影響する。欠陥がバルク項に与える影響は、系統的な金属炭化物・窒化物の硬度の元素・欠陥依存性の実験データを用いて推測することができる。

京都大学の後藤康仁准教授は、窒化ハフニウム薄膜の仕事関数とその電子放出特性について講演を行った。講演では、高温における HfN-FEA の電子放出特性、HfN 薄膜の仕事関数の温度依存性と加熱温度の上限と仕事関数、HfN-FEA の低温における電子放出特性と低温における特性について述べた。

陰極表面の吸着物質が、陰極の仕事関数に対してどのように影響するかを調べることにより、低仕事関数材料開発の知見を得る。吸着による仕事関数の変化が FEA 動作特性に及ぼす影響を検討し、過酷環境デバイス開発の一助とする。

表面物性評価装置により、高温における HfN 薄膜の仕事関数測定を行った。異なる温度まで加熱することで異なる表面状態を作り、冷却、再加熱の過程で仕事関数を測定することで表面の状態の理解に一步近づいた。高温における HfN-FEA の動作を説明することができそうである。低温電子放出特性評価装置により、低温における HfN-FEA の電子放出特性を測定した。冷却過程において電子放出特性の変化はほとんど見られなかった。長時間運転すると放出電流が徐々に低下した。残留気体分子の吸着によるものを検討する。

静岡大学の中本正幸教授、文宗鉉助教は、過酷環境に適した炭素系電界放出源について講演を行った。

微小電子源を作製し、真空封止工程において、エミッタが、高温大気、及び様々なガス雰囲気にてエミッタ性能の劣化が大きな障害となっている。また、宇宙空間などの苛酷な環境でもエミッタ性能の劣化が大きな障害となっている。高信頼性、均一性、再現性に優れ、高い電流安定性を備えた耐環境性・低仕事関数材料を用いた金型転写モールド法微小電子源を開発し、一般照明用フィールドエミッション

ランプや宇宙・原子力・耐環境用真空ナノデバイスの実現を目指す。

均一性に優れた転写モールド法エミッタを極微小化することにより、電界電子放出特性を向上させ高効率かつ高信頼の極微小低仕事関数材料転写モールドアモルファスカーボンエミッタアレイの苛酷な酸素ラジカル雰囲気下で電界電子放出電流の安定性について検討した。

合計4名の講演者による研究会を行った。種々の電子状態及び電子放出機構解明に基づく極限画像デバイス用低仕事関数電界電子放出源を作製・評価する。更に、カーボンナノチューブ、グラフェン等のナノカーボンを含めた種々の電子放射物質のナノメートル～マイクロメートル領域における異元素を導入したエミッタ材料の格子状態、格子変形、拡散状態、電子状態、ならびに放出機構の機構解明、仕事関数材料創成、構造制御技術等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、エミッタ構造や作製技術とは異なり、エミッタ作製や評価の困難さから電子放出機構の重要な要因である低仕事関数電界電子放出源に関する詳細な研究例は少なかった。しかし、エミッタ材料に関する作製・評価・理論解析をリードしている研究者を結集することにより、次世代極限画像デバイス用低仕事関数電界電子放出源の実現に大きく寄与することが出来る。

[4] 成果資料

(1) M. Nakamoto and J. Moon, Extremely Stable and Harsh-Environment Devices by Transfer Mold Field Emitter Fabrication Method, (Invited Talk) Proceeding of 2013 IEEE 8th Nanotechnology Materials and Devices Conference (NMDC), pp.99-104 (2013).

出張報告（特別教育研究経費を使用した場合）

- (1) 氏名：佐々木 正洋
所属：筑波大学大学院
期間：2014/2/15-16
用務先：静岡大学電子工学研究所
用務内容：研究打ち合わせ及び研究集会参加
主たる対応者：中本正幸

- (2) 氏名：後藤 康仁
所属：京都大学大学院
期間：2014/2/15-16
用務先：静岡大学電子工学研究所
用務内容：研究打ち合わせ及び研究集会参加
主たる対応者：中本正幸

- (3) 氏名：吉武 道子
所属：物質・材料研究機構
期間：2014/2/15-16
用務先：静岡大学電子工学研究所
用務内容：研究打ち合わせ及び研究集会参加
主たる対応者：中本正幸