

課題番号 P-69

次世代超高性能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・ 2.56×2.56 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、

2015年2月8日～9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、FEM/FIMを用い、真空アーク炭素被膜タンゲステンエミッタ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、曲率半径、膜厚の異なる多数の炭素被覆エミッタの電子放出特性、FIM/FEMを計測した。最初の電界印加から、安定して、炭素被覆による特性向上効果が現れた。閾値電圧の変化、FNプロットの傾きの変化をもとに仕事関数の変化として、炭素膜被覆の効果を評価した。FEM/FIM計測から、パターンと特性に相関があった。

(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・窒化物の仕事関数における、炭素・窒素欠陥と元素置換効果について講演を行った。

遷移金属炭化物・窒化物の炭素欠陥・窒素欠陥が仕事関数へ与える影響の推定。欠陥は仕事関数の表面項には影響を与えない(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)欠陥がバルク項に与える影響は、系統的な金属炭化物・窒化物のビッカース硬度の欠陥依存性(VEC依存性)の実験データを用いて推測することができる。ビッカース硬度のVEC依存性を用いて、炭素の一部が窒素で

置換した遷移金属炭窒化物の仕事関数の推定ができる。ビッカース硬度の VEC 依存性を用いて、遷移金属を合金化した炭化物の仕事関数のバルク項の、合金組成依存性を推定できる。

京都大学の後藤康仁准教授は、窒化ハフニウム薄膜のイオン衝撃による表面清浄化の試みと仕事関数計測について講演を行った。

HfN 薄膜表面をプラズマにさらすことで清浄化する試みを行い、仕事関数の変化を計測した。基板バイアスが低い場合、加熱処理と同様、約 0.7 eV 仕事関数が低下した。基板バイアスが高い場合、短い時間の処理では仕事関数の低下が見られたが、長い時間の処理では仕事関数はやや上昇した。プラズマ処理後の表面を AES 分析した。基板バイアスが低い場合、炭素や酸素が依然として残っている。基板バイアスが高い場合、炭素については除去できているが、酸素は残っている。残留酸素は、もともと薄膜中に存在したというよりは、雰囲気から吸着した水などに由来するものと考えられる。

静岡大学の中本正幸教授、文宗鉦助教は、転写モールド法による極微小電界放出エミッタアレイについて講演を行った。

転写モールド法電界電子放出エミッタ作製技術を用いて、様々なエミッタ材料・デバイス研究に取り組んできましたが、今回、世界最小の基底部長さ 36nm、しかも先端曲率半径が 2.6nm と鋭く、均一形状で、大面積可能なエミッタを試作し、世界最小の電流変動±1.6%を抵抗バラスト層無しで達成しました。従来、電界電子放出エミッタの電流変動は、抵抗バラスト層形成したエミッタで 5-100%、抵抗バラスト層無しのエミッタでは 100%以上にも達し、電子回路を用いて狭い面積を安定化できても、大面積化は技術的・コスト的に不可能でした。エミッタの微小化は様々な研究機関が試み（2001 年、米国 MIT が基底部長さ 100nm の従来の世界最小エミッタを試作）しましたが、不均一で先端が鋭くなく不成功に終わりました。また、電界電子放出特性に関して理論と実験結果が一致しないことが、研究開発のひとつの障害になっていました。しかし、均一で先鋭且つ安定な転写モールド法エミッタにより、理論と実験結果がほぼ一致することが確認できた。

合計 4 名の講演者による研究会を行った。次世代超高性能画像デバイス用低仕事関数電界電子放出源について、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、

低仕事関数材料創成、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, "Stable, ruggedized, and nanometer-order size transfer mold field emitter array in harsh oxygen radical environment", J. Vac. Sci. Technol. B 33, pp.03C107-1-03C107-8 (2014).

出張報告

- (1) 氏名：佐々木 正洋
所属：筑波大学大学院
期間：2015/2/8-9
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：2015/2/8-9
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：2015/2/8-9
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