

課題番号 P-16

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：中本 正幸

(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 (静岡大学電子工学研究所)

後藤 康仁 (京都大学大学院)

吉武道子 (物質・材料研究機構)

[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を目的として研究を行った。

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、2013年1月30日～31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尖鋭幾何形状に因らない炭素膜からの電界電子放出について研究を行った。研究では、真空アーク炭素膜の作製、STMを用いた微視的計測、FIM/FEMを用いた微視的計測、トリプルジャンクションの機構について明らかにした。

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、真空アーク炭素膜の微視的性質を計測した。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。鈍化したW tipからのFE電流は炭素被覆により大幅に増大、カーボンナノチューブのような尖鋭ナノ突起構造はない。低電界電子放出の機構としてトリプルジャンクションの可能性を検討した。

(独)物質・材料研究機構の吉武道子主席研究員は、MIM型トンネル電子面放出エミッタの可能性の探索について研究を行った。研究では、電子源の種類とMIM型の特長、MIM型エミッタ用極薄エピタキシャル、アルミナ膜の作製とキャラクタライゼーション、電気特性について明らかにした。

電界放出源の一つのMIMタイプの特長は、面放出・高い平行性、ならびに放出電子の前方に対向電極が不要である。

MIM型トンネル電子面放出エミッタの実現のためには、電子トラップの少ない、原子レベルで平坦なアルミナ膜が必要である。平坦な膜を成長させる方法は、合金の選択酸化で酸素が吸着した場所で反応し、層状成長することで平坦面ができる。しかし、

一般的に Al を蒸着して酸化をさせると、Al-O 結合が強いため、酸化時に Al が凝集して、三次元成長し、凹凸の激しい表面が形成されてしまう。

そのため、Cu-9at%Al(111)を超高真空中で酸化して成長させたエピタキシャルアルミナ膜を使用した。利点として、原子的に平坦な均一な膜が作製でき、大気中放置でも安定、チャージアップしない、絶縁破壊をしない、高密度の電流を流せる、ならびに純 Cu を基板とするよりも低電圧で動作ができる。しかし、格子不整合に因る欠陥が問題である。

京都大学の後藤康仁准教授は遷移金属窒化物薄膜の超高真空中における仕事関数評価について研究を行った。研究では、表面物性評価装置の現状、真空排気、仕事関数測定、ならびに表面の元素分析について明らかにした。

電界放出陰極の高性能化のため、低仕事関数陰極の開発を行った。しかし、低仕事関数材料は、一般的には反応性が高い。化学的に安定な低仕事関数材料として遷移金属窒化物の仕事関数を見極めるため、陰極表面の吸着物質が、仕事関数に対してどのように影響するかを調べることで、低仕事関数材料開発の知見を得ようとした。

吸着物質の同定と仕事関数測定を同時に行う表面物性評価装置を開発を行った。仕事関数測定では、試料の加熱、冷却、加熱のサイクルで、過去の測定と同様な結果を得た。表面元素分析では、表面組成の大きな変化は認められず、今後の詳しい解析が必要となる。加熱による表面清浄化は難しいので、予備室におけるプラズマ処理の導入を検討する。加熱による変化が何に由来するのかについては引き続き検討する。

静岡大学電子工学研究所の中本正幸教授、文宗鉉助教は転写モールド法を用いた耐環境性低仕事関数電界放出電流源について研究を行った。

微小電子源を作製する際の真空封止工程において、エミッタが、高温度大気、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。苛酷な酸素ラジカル雰囲気下で、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エミッタ材料の異元素を導入した場合の仕事関数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、次世代超高性能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) Masayuki Nakmoto and Jonghyun Moon, "Extremely environment-hard and low work function transfer-mold field emitter arrays", Appl. Surf. Sci. (in press, 2013).

「様式3」

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：2013/1/30-31
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：2013/1/30-31
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：2013/1/30-31
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