

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 特定領域研究
研究期間： 2007 ～ 2011
課題番号： 19054007
研究課題名（和文） カーボンナノチューブフィールドエミッションデバイスの研究と開発

研究課題名（英文） Research and development of carbon nanotube field emission devices

研究代表者

齋藤 弥八 (SAITO YAHACHI)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号： 90144203

研究分野： 結晶物理

科研費の分科・細目： 応用物理学・工学基礎、薄膜・表面界面物性（4902）

キーワード： カーボンナノチューブ、電界放出、電子源、電界放出顕微鏡、分子吸着、金属被覆、電界増強因子、走査電子顕微鏡

1. 研究計画の概要

カーボンナノチューブ(CNT)は、極微の細線構造、高い電気伝導性、大電流密度耐性、化学的安定性、機械的強靱性など、電界放出素材として優れた物理化学的性質を有する。このような既存材料に無い顕著な物性を利用して、高性能で低消費電力の次世代ナノ電子源の基礎特性解明とデバイスへの応用を図り、新しい真空ナノエレクトロニクスの開拓を目的とする。研究の具体的内容は以下の通りである。

(1) CNT エミッタの有する高機能（高い放出電流密度、高い可干渉性）を追求し、CNT の直径、先端および表面構造と電子放出特性（安定性、寿命、可干渉性）の関係を解明する。

(2) 電界放出電子顕微鏡、ナノフォーカス X 線源を実現する単一 CNT からなるポイントエミッタを開発する。

(3) CNT 膜からなる面状電界放出電子源（サーフェスエミッタ）の低電圧駆動と電子放出均一性の改善を図り、高輝度で低消費電力の発光型ディスプレイ、電子線発生装置など真空電子デバイスへの応用可能性を示す。

2. 研究の進捗状況

(1) CNTポイントエミッタの電子放出特性の向上：

透過電子顕微鏡 (TEM) 内で単一のCNTの根

元をPtナノ粒子により電極基板に直接溶接することに成功し、電氣的接合の改善と放出電流の増大を示した。また、CNTポイントエミッタの電子光学特性を測定し、従来の単結晶タングステン冷陰極を超える高い輝度と電子線収束性を有することを明らかにした。

(2) 電界放出顕微鏡法 (FEM) による CNT 表面上の吸着分子および金属クラスターの動的観察：

メタン分子およびAl原子クラスターのFEM観察において原子分解能を示唆する像を得ることに成功し、CNT 表面上での吸着子のダイナミクスを原子レベルで直接観察する新手法への研究展開の萌芽を得た。

(3) CNT表面への金属被覆による電子放出特性の改善：

CNTエミッタへのTi蒸着により、Tiの平均膜厚がゼロから0.9nmからまでは放出電流が増加するが、平均膜厚が0.9nmを超えると放出電流が減少することが明らかになった。Fowler-Nordheim理論に基づく解析から、放出電流の増加は主に電子放出面積の増大によるものであり、膜厚が0.9nmから7.2nmまでの放出電流の減少は、電界増強因子の減少によるためとの知見を得た。

(4) CNT サーフェスエミッタの特性評価とディスプレイおよび電離真空計への応用：
サーフェスエミッタの電子放出サイト密度

の電極間距離依存性を明らかにし、電子放出の空間的均一性向上への指針を得た。高輝度カラー文字表示ディスプレイの試作と電離真空計用冷電子源としての動作を実証した。

(5) CNTポイントエミッタの電子源基礎特性の解明と走査電子顕微鏡実機への搭載：電子線誘起堆積法により一本のCNTをタングステン針先端に固定する時に、電子ビームの照射時のみW(CO)₆を導入することで、CNT先端部分への余分の堆積層の形成を抑制した。このエミッタを実機の電界放出型走査電子顕微鏡に装着し、放出電流の時間変動の測定と二次電子像の観察を行った。放出電流の変動率については、85分間で3%以下、2分間で2%以下と測定され、実用レベルの安定性が得られた。二次電子像においては、ノイズの少ない像を得ることができた。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

CNTポイントエミッタの作製と基礎特性の評価に関しては、当初の計画と目標を十分達成している。またサーフェスエミッタについては、文字表示ディスプレイの試作および電離真空計への試験使用に成功したが、駆動電圧の低減、エミッションの均一化に関する取り組みが遅れている。

4. 今後の研究の推進方策

CNTポイントエミッタについては、これを超高真空走査電子顕微鏡に搭載し、その電子光学的特性評価を行い、次世代高性能小型FE-SEMの実証、および実用のための課題の抽出を行う。さらに、CNT電界放出電子源の特徴である高輝度性によって得られる極微(1nmオーダー)収束電子ビームを使った小型ナノフォーカスX線源の開発と試験を行う。サーフェスエミッタについては、CNT膜の表面密度制御、CNT成長領域のパターニング、CNTの表面コーティングによる、低電圧駆動と電子放出の均一性の改善を行う。また、CNTエミッタの動的過程を追い、その長寿命化の指針を得るため、TEMその場観察法により、単一CNTからの電界放出現象および電子輸送現象をその

場観察し、長寿命で安定なエミッタの構造および表面修飾法を開発する。

なお、サーフェスエミッタの開発は、ポイントエミッタに比べて、研究の進捗が遅れているので、これを挽回して研究を推進するために、化学気相成長法によるCNT膜の成長と電子放出測定に長年取り組み実績のある佐藤英樹准教授(三重大学大学院工学研究科)を新たに研究分担者に加える。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

- 1) H. Liu, H. Nakahara, S. Uemura and Y. Saito: “Ionization Vacuum Gauge with a Carbon Nanotube Field Electron Emitter Combined with a Shield Electrode”, *Vacuum* **84** (2010) 713-717 査読有り
- 2) H. Nakahara, Y. Kusano, T. Kono and Y. Saito: “Evaluations of Carbon Nanotube Field Emitters for Electron Microscopy”, *Appl. Surface Sci.* **256** (2009)1214-1217 査読有り
- 3) Y. Saito: “Atomic Detail Observation of Adsorbed Molecules and Metal Clusters on Carbon Nanotube Electron Emitter”, *Coord. Chem. Rev.* **253** (2009) 2912-2919 査読有り
- 4) J. Yotani, S. Uemura, T. Nagasako, H. Kurachi, T. Ezaki, T. Maesoba, T. Nakao, M. Ito, A. Sakurai, H. Shimoda, H. Yamada and Y. Saito: “Practical CNT-FED structure for high-luminance character displays”, *J. Information Display* **16** (2008) 273-279 査読有り
- 5) K. Asaka, H. Nakahara and Y. Saito: “Nanowelding of a multiwalled carbon nanotube to metal surface and its electron field emission properties”, *Appl. Phys. Lett.* **92** (2008) 023114-1-3 査読有り

[学会発表] (計 72 件)

[図書] (計 1 件)

[その他]

研究室ホームページ

<http://www.surf.nuqe.nagoya-u.ac.jp/>