

平成 22 年 4 月 20 日現在

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2007～2010

課題番号：19206008

研究課題名 (和文) ナノビーム誘起堆積プロセスによる可干渉電子源の創製

研究課題名 (英文) Fabrication of Electron Source with Electron-Wave Interference by Nano Beam Induced Deposition Process

研究代表者

高井 幹夫 (TAKAI MIKIO)

大阪大学・極限量子科学研究センター・教授

研究者番号：90142306

研究代表者の専門分野：ビーム応用

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

キーワード：ビーム応用

## 1. 研究計画の概要

本研究の目的は、電子およびイオンビームをその限界まで集束し、局所的な物理・化学反応を用いる「ナノビーム誘起堆積プロセス技術」を開発し、この技術により可干渉電子線を放出できる真空ナノエレクトロニクスのための電界放出電子源を創製することである。このためにはナノビーム誘起堆積プロセスで作製した固体中の電子のコヒーレンスと、真空中に電界放出された電子のコヒーレンスの関係を明らかにし、コヒーレンスの良い電子線を放出する可干渉電子源を実現する条件を明らかにする。

固体中では様々な散乱によって電子のコヒーレンスが失われるため、可干渉電子線を得るには、ナノメートルオーダーまで接近した2つの放出サイトをもつ電子源を実現する必要がある。このようなナノ間隙エミッタの実現は、従来の半導体プロセスでは不可能であり、マスクレスナノビームプロセスによる電子源のナノメートル精度の加工が必要となる。さらに、堆積金属中の電子のコヒーレンス長、電子源の電子放出特性、電子放出サイトを明らかにし電子の干渉長のプロセス条件や温度に対する依存性の評価を行い、室温でコヒーレント電子線を安定に放出する可干渉電子源を創製する。

## 2. 研究の進捗状況

(1) 低エネルギー低損傷ナノビームプロセスの完成

15keVのエネルギーの電子ビームまたは集束イオンビーム(FIB)を有機Ptガス雰囲気中でタングステンチップ上に照射することによりエミッタ部を形成後、酸素プラズマアッシングまたはアニール処理によりナノ間隙エミッタを作成する技術を完成した。このエミッタからの電子放出により、干渉縞のあるエミッションパターンを観測した。

(2) ビーム誘起堆積技術で作成されたエミッタのナノメートル3次元分析

イオンナノプローブにより電子ビーム堆積させたPt層の3次元分析を行い、Pt分布を3次元可視化した。TEM観察を併用し、Ptナノ結晶粒径制御をアニールプロセスにより行った。

(3) ビーム誘起堆積で作成されたエミッタの電気伝導特性の評価

堆積Pt層の電気伝導度と電子のコヒーレンスを低温計測し、400 以上のアニールにより、抵抗が3桁下がることと、電子のコヒーレンス長が40 nm程度になることを明らかにした。

(4) エミッションパターン評価装置の開発

極低温から室温までの温度で電子放出計測が可能で、フィールドエミッションマイクロスコープ(FEM)とフィールドイオンマイクロスコープ(FIM)機能を持ち、電子のナノ間隙放出サイトを特定可能な装置を完成した。

(5) ナノ間隙電子源から放出される電子線のスクリーン上でのパターン観察

エミッタを7K程度に冷却し、その時のFEM・FIMエミッションパターンの評価を行う装置を用いて、電子放出サイトの特定とプロセス条件や先端形状および電子放出サイトが、コヒーレンスに与える影響を明らかにし

た。さらに、得られた固体中の電子のコヒーレンス長と、放出された電子のコヒーレンスの関係を明らかにした。

### 3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

FEM/FIM 装置が完成し、エミッションパターン観測による電子放出サイトとコヒーレンスに与える影響およびプロセス条件を明らかにできたため。

### 4. 今後の研究の推進方策

当初の計画に従い、ゲート付きの可干渉電子源の作成を行い、素子の応用への可能性を探る。

### 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5件)

K. Murakami, F. Wakaya, and M. Takai, "Observation of Fringe-Like Electron-Emission Pattern in Field Emission from Pt Field Emitter Fabricated by Electron-Beam-Induced Deposition", *Journal of Vacuum Science & Technology B* **25**, (4), 1310 - 1314 (2007). 査読有

K. Murakami, S. Nishihara, N. Matsubara, S. Ichikawa, F. Wakaya, and M. Takai, "Superposition of Fringelike-Electron-Emission Pattern from Radical-Oxygen-Gas Exposed Pt Field Emitter Fabricated by Electron-Beam-Induced Deposition", *J. Vac. Sci. Technol. B* **27**, 721 - 724 (2009) 査読有

K. Murakami, T. Matsuo, F. Wakaya, and M. Takai, "Electron wave interference induced by electrons emitted from Pt field emitter fabricated by focused-ion-beam-induced deposition", *J. Vac. Sci. Technol.* **B28** in press (2010). 査読有

K. Murakami, N. Matsubara, S. Ichikawa, F. Wakaya, and M. Takai, "In situ transmission electron microscopy observation of electron-beam-deposited Pt field emitter during field emission and field evaporation", *J. Vac. Sci. Technol.* **B28** in press (2010). 査読有

Katsuhisa Murakami, Naoki Matsubara, Satoshi Ichikawa, Toshiya Kisa, Takahito Nakayama, Kunio Takamoto, Fujio Wakaya, Mikio Takai, Silke Petersen, Brigitte Amon, and Heiner Ryssel, "Transmission-Electron-Microscopy Observation of Pt Pillar Fabricated by Electron-Beam-Induced Deposition",

*Japanese Journal of Applied Physics* **48** in press (2009) 査読有

[学会発表](計7件)

K. Murakami, S. Abe, S. Nishihara, S. Abo, F. Wakaya, and M. Takai, "Effect of radical oxygen gas exposure on Pt field emitter fabricated by electron-beam induced deposition", *The 20th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC2007)*, July 8 - 12, 2007, Chicago, Illinois, USA.

K. Murakami, S. Nishihara, N. Matsubara, S. Abo, F. Wakaya, and M. Takai, "Observation of Fringelike Electron-Emission-Pattern From Radical-Oxygen-Gas Exposed Pt Field Emitter Fabricated by Electron-Beam-Induced Deposition", *The 21st International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC2008)*, July 13 - 17, 2008, Wroclaw, Poland.

F. Wakaya, T. Nakayama, K. Takamoto, T. Takeuchi, N. Matsubara, K. Murakami, S. Ichikawa, S. Abo, M. Takai, "Electron Coherence Length in Electron-Beam-Deposited Pt", *The 34th International Conference on Micro and Nanoengineering 2008 (MNE2008)*, September 15 -18, 2008, Athens, Greece.

K. Murakami, N. Matsubara, S. Ichikawa, T. Nakayama, K. Takamoto F. Wakaya, M. Takai, S. Petersen, and H. Ryssel, "Transmission-electron-microscope observation of Pt pillar fabricated by electron-beam-induced deposition", *The 21st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC08)*, October 27 - 30, 2008, Fukuoka, Japan.

K. Murakami, T. Matsuo, F. Wakaya, and M. Takai, "Electron-wave interference induced by electrons emitted from Pt field emitter fabricated by focused-ion-beam-induced deposition", *The 22nd International Vacuum Nanoelectronics Conference 2009 (IVNC2009)*, July 20-24, 2009, Hamamatsu, Japan.

[産業財産権]

出願状況(計1件)

名称: 電子波干渉ナノメートル電子源の作成法とこれを用いた素子

発明者: 高井幹夫

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2006-085322

出願年月日: 2006年3月27日

国内外の別: 国内

[その他]

<http://www.nano.cqst.osaka-u.ac.jp>