

研究種目：学術創成研究費

研究期間：2006～2010

課題番号：18GS0204

研究課題名(和文) レーザー補助広角3次元アトムプローブの開発と実デバイスの3次元原子レベル解析

研究課題名(英文) Development of laser-assisted wide angle three-dimensional atom probe and its application to atomic level characterization of true electronic devices

研究代表者 尾張 真則 (OWARI MASANORI)

東京大学・環境安全研究センター・教授

研究者番号：70160950

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・ナノ構造科学

キーワード：ナノ構造化学，表面・界面ナノ構造

1. 研究計画の概要

電子デバイスは高度情報化社会を根底で支えているきわめて重要なハードウェアであり、その集積化は目覚ましい速さで進んでいる。現在デバイスを構成する材料の加工寸法はすでに μm を下回っており、その製造・評価を支える微小部分分析技術としてこれまで用いられてきたマイクロビーム分析法はその限界的性能を要求されている。2010年代にはひとつのFETが数10nmの大きさにまで微細化されると予想され、電気的特性を支配するドーパントの位置や濃度を特定する3次元原子レベル解析手法の開発が急務である。

本研究は、原子1個1個の検出、その原子の種類同定、その原子が試料の中で占めていた3次元原子位置の特定が可能な3次元アトムプローブ(3DAP)法について、適用可能な試料の材質と形状・大きさの制約を克服することにより、今後10年以内に電子デバイスの特定微小部位の解析に必要な定量的3次元元素イメージングを実現しようとするものである。この目的のためにはいくつかの問題点を解決する必要がある。主な問題点は、3DAPは金属または導電性の高い針状試料に対してのみ適用可能であること、分析可能範囲が極端に狭いこと、試料破壊が頻発すること、金属以外の試料からは多原子クラスターイオンが発生することである。また、デバイス中の狙った特定部位の分析を目的とするため、試料形状が針状に限られるアトムプローブに適した試料作成法の開発が必要である。

本研究では、上記した従来の問題を解決し、電子デバイス分析のための3DAPを開発する。

2. 研究の進捗状況

(1) レーザー補助直接投影型3DAP装置の設計・製作

本研究ではエネルギー補償機能を持たない直接投影型の広角イオン光学系を採用した。この3DAP装置の基本性能は、検出可能な試料先端からのイオンの放出角度が約60度、検出範囲が直径100nm以上、飛行時間型質量分析の分解能は検出器の傾きを補正することにより半値全幅で約300である。

(2) 微小引出電極の最適化

本研究では、3DAP装置に微小引出電極を採用し試料先端付近に強い放射状電界を形成させた。純金属試料に対する3DAP測定から試料と電極の最適な条件を明らかにした。電極の有無によって、試料への印加電圧を3分の1程度に抑えることが可能となった。

(3) アトムプローブにおけるレーザーイオン化機構の解明

アトムプローブにおけるレーザートリガーは、現象としては既に知られているが、その機構に関しては未だ理解が十分なされていない。本研究では、レーザーの波長、強度及び偏光方向を変化させ3DAP測定を行った。その結果、電界蒸発電圧においてレーザー偏光方向と強度の相互作用がないことが明らかになった。この結果は本研究によって初めて明らかにされ、レーザーイオン化はレーザーによる電界変調だけでは起こらない可能性が高いことを示した。

(4) 3次元原子配列再構築アルゴリズムの開発

3DAPによる原子配列イメージングは、検出された原子1個1個をそのイオンの放出方向と質量(元素)の情報に基づき積み上げて

いくことでなされる。この手続きは分析前後の表面構造特に先端曲率半径が既知であることが前提である。これまでに、これらを仮定した3次元原子配列再構築アルゴリズムを開発し、3次元配列の可視化に至っている。

(5)FIB 加工による実デバイスからのサンプリング方法の確立

集束イオンビーム (FIB) 加工による 3DAP 試料作製は既に試みられているが、FIB による試料への加工用イオンの打ち込みが問題となっている。従来の試料作製法は試料先端方向から加工を行うため、分析したい部位つまりは試料先端に打ち込みが生じている。本研究では、試料後方から FIB を照射することにより試料先端に FIB を照射しないように工夫した。この方法によりイオン打ち込みは従来法に比べ 1/10 以下に低減できた。

3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

当初計画していた研究内容・研究項目において、3次元原子配列再構築アルゴリズムの開発についてはやや遅れているが、それ以外については順調に、項目によっては計画以上に進んでいる。

レーザー補助直接投影型 3DAP 装置の設計・製作については、当初計画していた装置とはやや異なるが、装置性能は当初予定していたものより高く、本研究目的を達成できる装置開発が行われている。微小引出電極の最適化については、平成 21 年度まで研究を継続する計画であったが、すでに最適化はほぼ完了している。また、レーザーイオン化機構の解明についても、レーザーの波長、強度及び偏光方向を変化させ 3DAP 測定を行い、レーザーイオン化機構の解明に向けて多くの知見を得ており、平成 21 年度には成果が見込まれる。FIB 加工による実デバイスからのサンプリング方法の確立については、平成 20 年度までに概ね確立しており、実デバイスへ適用が可能となっている。

3次元原子配列再構築アルゴリズムの開発については、当初の計画よりやや遅れているものの、試料の3次元配列の可視化に至っている。また、現在の問題点を把握しており、その解決方法について既に取り組み、今後の努力により研究目的は達成できると考えられる。

上記した現在までの研究進捗状況を総合的に判断して、当初の研究目的に向けて順調に進展しており、予定通りの成果が見込まれる。

4. 今後の研究の推進方策

レーザー補助直接投影型 3DAP 装置の設計・製作については、試料冷却、電界イオン顕微鏡 (FIM) の導入、測定の自動化を計画

している。レーザーイオン化機構の解明では、導電性の低い試料に対してレーザーの波長、強度及び偏光方向を変化させた実験を行う予定である。3次元原子配列再構築アルゴリズムの開発では、既に作製した FIM 装置で試料の先端曲率半径を測定し、3次元原子配列再構築アルゴリズムの精度向上を実現する。また、本研究の目的である試料先端の形状が不明で、不検出イオンを考慮した3次元原子配列再構築アルゴリズムを開発する。FIB 加工による実デバイスからのサンプリング方法の確立では、現在までに試料先端方向からの FIB 加工ではなく、試料先端に対して後方から FIB を照射することにより、加工用イオン打ち込みを防ぐ方法を開発した。今後は、この方法を実デバイスに適用し、3DAP 測定によって開発したサンプリング方法の評価を行う予定である。

5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(計 17 件)

N. Mayama, S. Mikami, S. Ito, T. Kaneko, T. Iwata, M. Taniguchi, M. Owari : e-JSSNT, 7, 70-73 (2009) 査読あり

N. Mayama, C. Yamashita, T. Kaito, M. Nojima, M. Owari : Surf. Interface Anal. 40, 1610-1613 (2008) 査読あり

T. Kaneko, S. Ito, C. Yamashita, N. Mayama, T. Iwata, M. Nojima, M. Owari : Surf. Interface Anal. 40, 1688-1691 (2008) 査読あり

S. Ito, T. Kaneko, C. Yamashita, T. Kaito, T. Adachi, T. Iwata, N. Mayama, M. Nojima, M. Taniguchi, M. Owari : Surf. Interface Anal. 40, 1696-1700 (2008) 査読あり

〔学会発表〕(計 27 件)

〔図書〕(計 1 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

名称：アトムプローブ用針状試料の加工方法及び集束イオンビーム装置

発明者：尾張真則，皆藤孝，野島雅

権利者：同上

種類：特許（発明）

番号：2007-279319

出願年月日：2007年10月26日

国内外の別：国内

名称：試料及び電極ホルダユニット、位置調整台、並びに試料及び電極の装置への組付方法

発明者：尾張真則，野島雅，谷口昌宏，間山憲仁，足立達哉

権利者：同上

種類：特許（発明）

番号：2007-279318

出願年月日：2007年10月26日

国内外の別：国内