

平成 22 年 5 月 25 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760212
 研究課題名（和文）
 3次元アトムプローブ法による High-k ゲート絶縁膜構造および界面解析
 研究課題名（英文）
 High-k gate dielectrics investigated by laser-assisted three dimensional atom probe tomography
 研究代表者
 井上 耕治 (INOUE KOJI)
 京都大学・工学研究科・講師
 研究者番号：50344718

研究成果の概要（和文）：

レーザー 3次元アトムプローブを用いて、MOS 構造におけるドーパントの 3次元空間分布や high-k ゲート酸化膜構造について調べた。MOS 構造や high-k ゲート酸化膜構造の 3次元アトムマップを得ることができた。ドーパントの種類による違い（ドーパントの偏析の有無やゲート酸化膜への侵入の有無）について明らかにした。high-k ゲート酸化膜構造については傾斜構造を得ることができたが、今後詳細について検討していく。

研究成果の概要（英文）：

The dopant distributions and high-k gate dielectrics in metal-oxide-semiconductor field effect transistor structure were analyzed by three dimensional atom probe tomography. The remarkable difference of dopant distribution between n-MOSFET and p-MOSFET was clearly observed. Further investigations are needed for the high-k gate dielectrics structures obtained by three dimensional atom probe tomography.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：アトムプローブ、MOSFET、High-k、ドーパント、微細化

1. 研究開始当初の背景

今日の情報化社会において、その情報機器の基盤である半導体デバイスのさらなる技術発展が望まれているが、デバイスの微細化・集積化が進み、ドーパント分布に由来する素子特性ばらつきや、SiO₂ ゲート絶縁膜厚を

1nm 以下まで薄くすることで生じるゲートリーク電流の増加等で、集積化を足止めするに至っている。そのため、ドーパント分布や SiO₂ ゲート絶縁膜に代わる High-k ゲート絶縁膜を調べることは重要である。

2. 研究の目的

3次元アトムプローブ法は、実空間中で原子の3次元位置と種類をほぼ原子レベルの分解能で再現する測定法であり、極微細領域観察を得意とする。従来の電界パルス方式では伝導性のある金属材料しか測定できないが、レーザーパルス方式によって電界蒸発（試料先端に高電圧を印加することで試料最表面の原子がイオン化し試料から離脱する現象）をアシストすることで、半導体材料の測定が可能になる。そこで、レーザーパルス型局所電極型3次元アトムプローブ(LEAP:Local Electrode Atom Probe)を用いて原子マップを得て、ドーパント分布やゲート絶縁膜を調べることで、従来の電子顕微鏡(TEM)等の測定手法では観察困難なドーパント分布やゲート絶縁膜の3次元原子マップ観察を行い、不純物元素の偏析等を明らかにしようとした。

3. 研究の方法

リフレクトロンを導入して質量分解能を向上させた、レーザーパルス型局所電極型3次元アトムプローブ(図1)を用いて、ドーパント分布やゲート絶縁膜の3次元原子マップ観察を行った。3次元アトムプローブの試料形状は先端径が約100nm程度以下の針状で、観測したい部分を針の先端領域にもってくる必要がある。アトムプローブ針状試料は収束イオンビーム装置(FIB)を使って作製した。

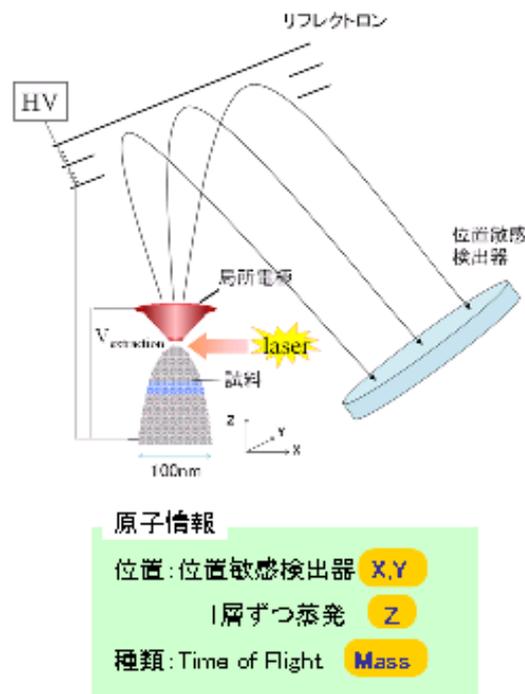


図1：エネルギー補償レーザーパルス型局所

電極3次元アトムプローブ(Laser-LEAP)の模式図。

図2に加工例を示す。まず、表面に保護膜兼マーキングとしてPtをデポジションする(図2(a))。次に、マーキングの周囲を削り、試料片をピックアップ針に接合してリフトアウトする(図2(b))。次に、拾い上げた試料を、直径2 μ m程度のシリコンのポストに乗せ、ポストと接合してから切り離す(図2(c))。最後にドーナツ型の加工枠を用いて針状試料に加工する(図2(d))。

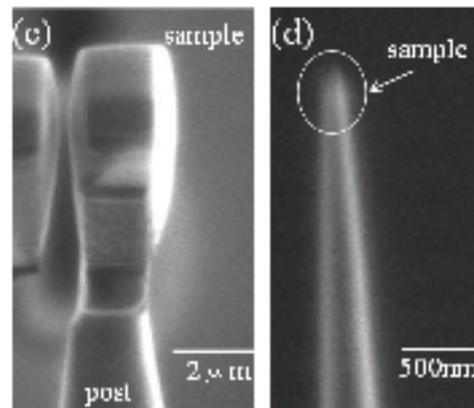
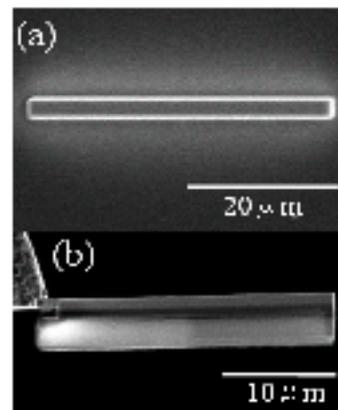


図2：アトムプローブ針状試料の作製方法の例。

4. 研究成果

レーザーパルス型局所電極型3次元アトムプローブを用いて、実デバイス構造やHigh-kゲート絶縁膜構造のアトムマップを得ることができた。ドーパント分布においては、多結晶Siゲート電極のP原子が粒界やゲート酸化膜界面に偏析していることを見出した。一方、p-MOSFETにおいては、多結晶Siゲート電極中のB原子は粒界・界面偏析せずゲート酸化膜内へ侵入することを明らかにした(図3、図4)。High-kゲート絶縁膜構造につ

いてはハフニウム酸化膜の傾斜構造が観測できたが今後詳しく調べていく必要がある。

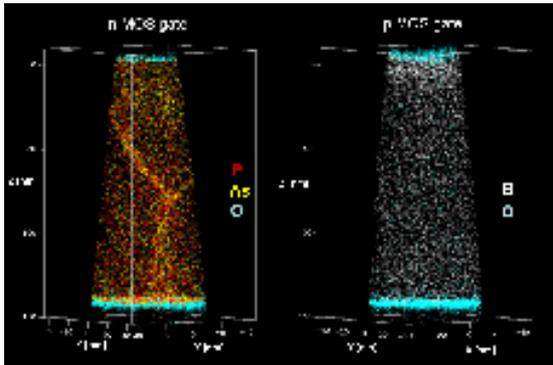


図3 : poly-Si ゲート電極中のドーパント原子(P, As, B)の3次元アトムマップ(Si原子は表示していない)。図中の上側の酸化膜は自然酸化膜、下側の酸化膜がゲート酸化膜である。n-MOSの濃く見える部分が粒界である。

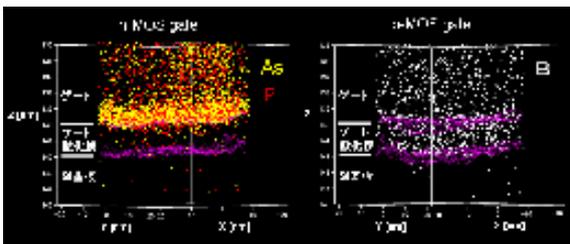


図4 : 図3のアトムマップのゲート酸化膜近傍の拡大図(ゲート酸化膜界面をワイヤーフレーム表示)。

5. 主な発表論文等

(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3件)

(1) K. Inoue, F. Yano, A. Nishida, H. Takamizawa, T. Tsunomura, Y. Nagai and M. Hasegawa: "Dopant distributions in n-MOSFET structure observed by atom probe tomography", Ultramicroscopy, 査読有、109 (2009) 1479-1484.

(2) K. Inoue, F. Yano, A. Nishida, H. Takamizawa, T. Tsunomura, Y. Nagai and M. Hasegawa: "Dopant distribution in gate electrode of n- and p-type metal-oxide-semiconductor field effect transistor by laser-assisted atom probe", Appl. Phys. Lett. 査読有, 95 (2009) 043502-1~3.

(3) K. Inoue, F. Yano, A. Nishida, T. Tsunomura, T. Toyama, Y. Nagai and M. Hasegawa: "Three dimensional characterization of dopant distribution in polycrystalline silicon by atom probe microscopy", Appl. Phys. Lett. 査読有, 93 (2008) 133507-1~3.

[学会発表] (計12件)

(1) 井上耕治 レーザー3次元アトムプローブによるMOS構造中ドーパントの不均一分布の解明 日本物理学会第65回年次大会 2010年3月20日 岡山大学

(2) 高見澤悠、井上耕治、矢野史子、角村貴昭、西田彰男、外山健、永井康介、長谷川雅幸 レーザー3次元アトムプローブによるゲートパターンを有するMOS構造のドーパント分布解析 2010年春季第57回応用物理学会関連連合講演会 2010年3月20日 東海大学

(3) 井上耕治 3次元アトムプローブによるMOSトランジスタ中のドーパント分布解析 応用物理学会シリコンテクノロジー分科会研究集会 2010年3月12日 学習院大学

(4) 高見澤悠、井上耕治、矢野史子、西田彰男、永井康介、長谷川雅幸 3次元アトムプローブによるMOSトランジスタ中のドーパント分布解析 第29回LSIテストシンポジウム 2009年11月13日千里ライフサイエンスセンター

(5) 井上耕治 3次元アトムプローブによるMOSFET中のドーパント分布解析 第19回:格子欠陥フォーラム「半導体格子欠陥の最前線」2009年9月24日九州大学応用物理学研究所

(6) 北本克征、加藤淳、宮城貴大、井上耕治、外山健、永井康介 三次元アトムプローブによる45nmノードデバイスの観察 第70回(2009年秋季)応用物理学会 2009年9月10日 富山大学

(7) 高見澤悠、井上耕治、矢野史子、角村貴昭、西田彰男、外山健、永井康介、長谷川雅幸 レーザー3次元アトムプローブによるMOSFET構造チャンネル中のドーパント濃度分布解析 第70回(2009年秋季)応用物理学会 2009年9月10日 富山大学

(8) 井上耕治 3次元アトムプローブによるMOSFET中のドーパント分布解析 電子情報技術産業協会(JEITA)-半導体技術ロードマップ専門委員会(STRJ)-故障解析TF第36回会合 2009年6月19日 キャンパスプラザ京都

(9) 井上耕治、矢野史子、西田彰男、高見澤悠、永井康介、長谷川雅幸 レーザ3次元アトムプローブによるMOSFET構造 Poly-Si ゲ

ート中のドーパント分布解析 2009 年春季第
56 回応用物理学会関連連合講演会 2009 年
4 月 2 日 筑波大学

(10) 井上耕治、矢野史子、西田彰男、高見
澤悠、永井康介、長谷川雅幸 レーザ
3 次元アトムプローブによる MOSFET 構造
Poly-Si ゲート中のドーパント分布解析
2009 年春季第 56 回応用物理学会関連連合講
演会 2009 年 3 月 30~4 月 2 日 筑波大
学

(11) 井上耕治、矢野史子、西田彰男、外山
健、永井康介、長谷川雅幸 ポリ Si ゲート中
の不純物原子の粒界偏析の 3 次元観察 日本
物理学会 2008 年秋季大会 2008 年 9 月 20~
23 日 岩手大学

(12) 井上耕治、矢野史子、西田彰男、角村
貴昭、外山健、永井康介、長谷川雅幸 3 次元
アトムプローブによる n-type と p-type MOS
の不純物原子分布の比較 2008 年秋季第 69 回
応用物理学会学術講演会 2008 年 9 月 2~5
日 中部大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 耕治 (INOUE KOJI)
京都大学・工学研究科・講師
研究者番号 : 50344718

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し