

(様式第4号)

実施課題名 NEXAFSを用いた次世代ゲートスタック材料のキャラクタリゼーション
English Characterization of the future gate stack materials by NEXAFS

著者氏名 山元 隆志
English Takashi Yamamoto

著者所属 倅東レリサーチセンター
English Toray Research Center, Inc.

1. 概要

主要な次世代ゲート絶縁膜の NEXAFS 測定を行った。Hf 系酸化物に SiO_2 や GeO_2 が加わった場合も伝導帯下端の構造は Hf 系酸化物の電子状態が主体であることが分かった。数 nm の Ge 酸化膜における欠陥の評価に NEXAFS が適用できる可能性が得られた。

(English)

NEXAFS measurement of the gate dielectrics for next generation was carried out. It was proven that the electric state of the HfO_2 was a main component on the structure of the conduction band minimum, when SiO_2 and GeO_2 were also added to the HfO_2 . The possibility of the NEXAFS could be applied to the analysis of the defect in ultra thin GeOx/ Ge substrate stack was obtained.

2. 背景と研究目的：

次世代半導体技術において、より高性能なゲートスタック構造の実現はリーク電流増大を解決するためにも必須の課題である。そのため、ゲート絶縁膜の高誘電率化(High-k 膜の導入)、空乏層の形成を回避できるメタル電極の採用、より移動度の高いチャンネル材料の導入が検討され、一部は実用化されている。しかしながら、これらの新材料は、実用化を迎えてもなお諸現象に関する物理的理解が十分になされていない。高性能な次世代ゲートスタック構造の実用化を進めるにはより詳細な電子状態の理解が重要である。ここで、O K-edge スペクトルは、O1s から O2p 非占有軌道への励起を計測している。Hf 酸化物において O2p の軌道は Hf5d 軌道と混成しており¹⁾、伝導帯下端の状態を反映したスペクトルが得られるため、O K-edge スペクトルは電子状態を考える上での有力な評価手法の一つである(状態密度: DOS [Density of State] そのものを観測しているわけではない)。そのため、ゲート絶縁膜(High-k 膜や高移動度チャンネル上絶縁膜)を NEXAFS (Near Edge X-ray Absorption Fine Structure) により評価した結果と電気的特性との関係を調べることで、より高性能な次世代ゲートスタック構造を実現することに繋がると期待される。

本研究では、次世代ゲートスタック構造に用いられるゲート絶縁膜の詳細な評価を最終目標とし、そのための 1st-step として、主なゲート絶縁膜の NEXAFS データの取得、キャラクタリゼーションに用いる上での NEXAFS の位置づけの確認を行った後、NEXAFS データを用いて Ge 系チャンネル材料の状態解析を行った。

3. 実験内容：

実験に用いる試料として、従来ゲート絶縁膜として用いられてきた SiO_2 膜、次世代のゲート絶縁膜である HfO_2 膜および La ドープ HfO_2 膜²⁾、さらに、次世代のチャンネル材料として有望視される Ge において界面層として用いられる GeO_2 膜を用いた。 SiO_2 膜と GeO_2 膜は Si と Ge 基板表面を熱酸化することで形成した。 HfO_2 膜および La ドープ HfO_2 膜は厚い SiO_2 膜 (600 nm) / Si 基板上に共スパッター法により成膜した。

NEXAFS 測定については、全電子収量法(試料電流により計測)を用いた。データ解析については、プリエッジ領域でバックグラウンドを求め、ポストエッジ領域で規格化した。

4. 結果、および、考察：

図 1 に SiO_2 膜 (2 nm)、 GeO_2 膜 (2 nm)、 HfO_2 膜 (20 nm) の O K-edge スペクトルを示す。 SiO_2 、

GeO₂、Hf系酸化物のO K-edge スペクトルは、吸収端の位置及びその形状とも大きく異なることが確認された。特に Hf 系は最も低エネルギー側に特徴的なスペクトル形状を示していることから、Hf系酸化物にSiO₂やGeO₂が混在した場合も伝導帯下端の構造はHf系酸化物の電子状態が主体であると推測される。

図2に膜厚:1 nm、2 nmのGeO₂膜のO K-edge スペクトルを示す。O K-edge スペクトルに顕著な違いはみられないが、吸収端の立ち上がり部やその後の肩構造に僅かな違いがみられている。これらの違いはGeO₂膜の化学構造の秩序性(結晶性)の違いを示していると考えられる。ただし、Lucovsky等は、HfO₂/Ge基板の系ではこの立ち上がり部の違いが欠陥と相関を持つことを報告している³⁾。本試料については、膜厚制御の手段として、GeO₂形成時の酸化処理温度を変えている(1 nmの方が2 nmよりも低温形成)。この形成温度の違いによって、GeO₂中の欠陥もしくはGe基板との界面欠陥の生成量が異なっているのであれば、O K-edge スペクトルの立ち上がりの違いがそれを示している可能性が挙げられ、数nmの酸化膜の欠陥の評価にNEXAFSが適用できる可能性を示している。

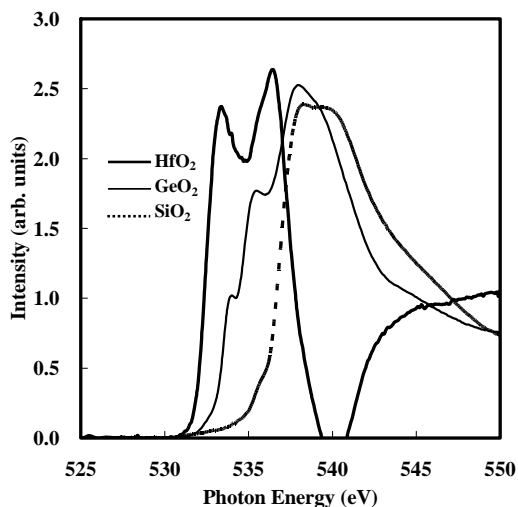


図1. HfO₂, GeO₂, SiO₂のO K-edgeスペクトル

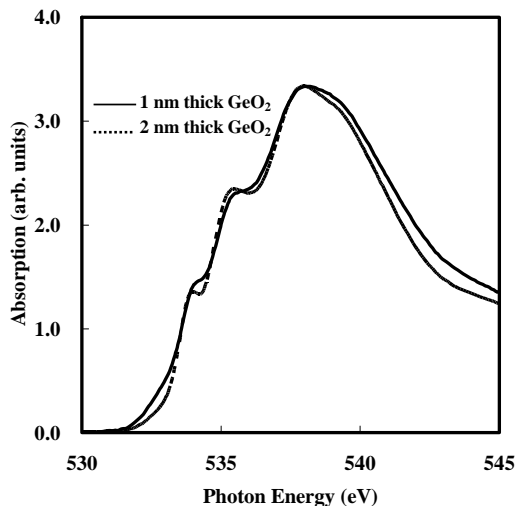


図2. 膜厚:1 nm及び2 nmのGeO₂のO K-edge スペクトル

5. 今後の課題:

NEXAFS評価の有用性は確認できたが、本系における標準データは未だ十分とはいえない。より実用的なHfシリケート系やHigh-k/GeO_xスタック系のデータを充実させる必要があると思われる。また、欠陥との相関については、試料作成条件の変更や他手法の結果と比較するなどして、詳細を確認していくことが必要と思われる。

6. 論文発表状況・特許状況

一部の結果については、11月に開催される国際学会: The second international symposium on Atomically Controlled Fabrication Technologyにて発表予定である。その後、論文としての投稿を予定している。

7. 参考文献

- 1) T. Mizoguchi et al., J. Phys: Condens matter **21** (2009) 104212.
- 2) Y. Yamamoto, et.al., Jpn. J. Appl. Phys., **46** (2007) 7251.
- 3) G. Lucovsky, Appl. Sur. Sci., **255** (2009)6443.

8. キーワード

・High-k膜

トランジスタの「ゲート絶縁膜」の種類の一つであり、高誘電率の材料を用いたもの。Hf系酸化物が主流であり、近年電気特性の改良のためにHf系にLaやAlを添加したものの研究が活発に進められている。

・Geチャネル

Siよりも正孔は約4倍、電子は約2.5倍の移動度を有するため、次世代のチャネル材料として有望視され、研究が活発に進められている。