

ゲート酸化膜／シリコン界面遷移層の検出

服部 健雄¹, 野平 博司¹, ムスタファ・ビン・セマン¹,
白石 貴義¹, 高田 恭孝², 高橋 健介¹
¹武蔵工業大学工学部, ²理化学研究所放射光物性研究室

Si (100) 面上に形成したSiのエピタキシャル層を用意する。この上に乾燥酸素中300°Cで膜厚約0.3 nmのプレオキサイドを形成する。これを通して乾燥酸素中900°Cで形成した酸化膜表面の凹凸は、Si (100) 面上の1原子ステップの高さの0.135 nm以下と極めて平坦となる。図1に、1050 eVで測定した膜厚1.9 nmのシリコン酸化膜のSi 2p光電子スペクトル[1]を、130 eVにおいてHimpselらが測定した膜厚1.4 nmの酸化膜についてSi 2p光電子スペクトル[2]と対比させて示す。ここに、前者は乾燥酸素ガス中300°Cにおいて形成した膜厚約0.3 nmのプレオキサイドを介して1 Torrの乾燥酸素中900°Cにおいて我々が形成した熱酸化膜、後者は0.1 Torrの乾燥酸素中850°CにおいてHimpselらが形成した熱酸化膜である。我々が測定したSiの中間酸化状態、いわゆるサブオキサイドの内、Si¹⁺のSi 2p光電子スペクトルをHimpselらが130 eVにおいて測定したSi 2p光電子スペクトル上に重ねて黒く塗りつぶして示す。ここに、光子・エネルギーの違いによる光電子の脱出深さの違いを考慮した。この図によれば、Himpselらが形成したSiO₂/Si界面には、我々の観測したサブオキサイド量の2.5倍が存在しており、界面がかなり荒れていたことがわかる。

シリコン酸窒化膜は、酸化膜に比べてホットキャリア耐性やp⁺-poly-Si電極からのボロン突き抜け抑制効果が優れていることから、酸化膜に代わるゲート絶縁膜として有望視されている。しかし、酸窒化膜/Si界面に導入される窒素原子量が適量でないと界面の粗さ

が増大してキャリア移動度の減少してしまう。したがって、酸窒化膜/Si界面近傍における窒素原子量の深さ方向変化を明らかにすることは重要である。これまでに、我々はX線光電子分光法を用いて、酸窒化膜/Si界面構造について以下のような知見を得た。酸窒化膜中の窒素原子は主に酸窒化膜/Si界面に存在し、その窒素原子は、界面に局在する2個のシリコン原子、3個の酸素原子と結合した1個のシリコン原子と結合している。また、励

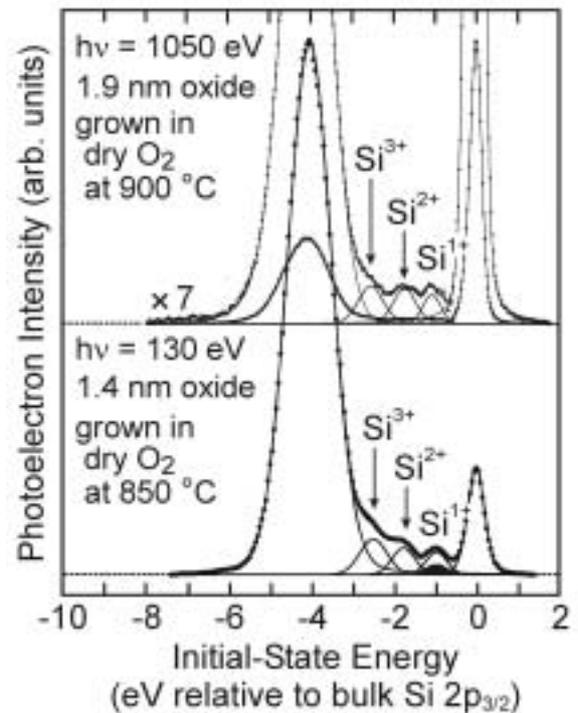


図1 300°Cで形成したプレオキサイドを介して1 Torrの乾燥酸素中900°CでSi(100)面上に形成した膜厚1.9 nmのシリコン酸化膜についてのSi 2p光電子スペクトルおよび0.1 Torrの乾燥酸素中850°CでSi(100)面上に形成した膜厚1.4 nmのシリコン酸化膜についてのSi 2p光電子スペクトル

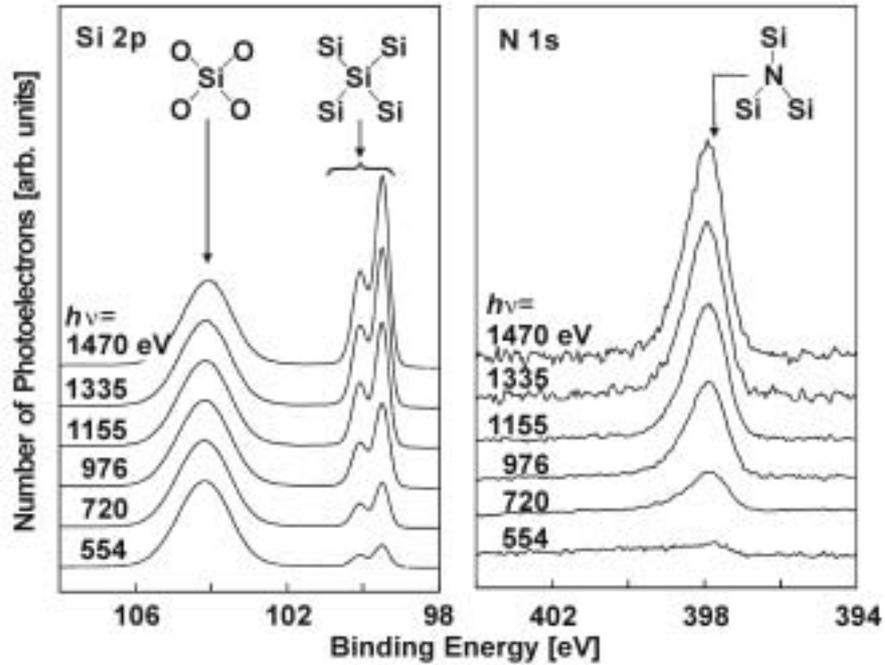


図2 最大窒素濃度 3 at. %の酸化窒素膜のSi 2p・N 1s光電子スペクトルの光子・エネルギー依存性

起源にAlK α 線を用いて測定した角度分解Si 2pとN 1s光電子スペクトルに最大エントロピー法を適用して、酸化窒素膜/Si界面近傍における窒素原子の深さ方向変化を検討した結果、最大窒素濃度 3 at. %では、窒素原子は酸化窒素膜/Si界面に局在し、最大窒素濃度 6 at. %では窒素原子は酸化窒素膜/Si界面に加えて界面近傍の酸化膜中に分布することを明らかにした。今回、このようにして決定した酸化窒素膜中の窒素原子量の深さ方向変化の妥当性を、放射光の光子・エネルギーを変化させて検出深さを変化させ、それに伴うSi 2p、N 1s光電子スペクトルの変化を測定することにより明らかにした[3]。

測定に用いた試料は、CZ p-Si (100) 基板上に形成したwet酸化膜を900℃においてNO処理することにより形成した2種類の酸化窒素膜で、SIMSにより明らかにした最大窒素濃度は酸化窒素膜/Si界面においてそれぞれ 3 at. %および6 at. %であった。また、SiO₂膜と仮定したときの酸化窒素膜の膜厚を2.7nmにほぼ等しくなるようにした。こうして形成した酸化窒素膜を、光子・エネルギーを550、

714、970、1150、1330、1465eVと変化させ、内殻準位Si 2pとN 1sからの光電子スペクトルを光電子の脱出角度70°において測定した。図2に、脱出角70°で測定した最大窒素濃度 3 at. %の酸化窒素膜のSi 2p・N 1s光電子スペクトルの光子・エネルギー依存性を示す。N 1s光電子スペクトル強度もBulk-SiからのSi 2p光電子スペクトルと同様に増加する。これは、窒素原子が酸化窒素膜/Si界面近傍に局在していることを示唆している。

図2に示すようなSi 2p・N 1s光電子スペクトルを2種類の酸化窒素膜について測定し、その解析から酸化窒素膜/Si界面近傍における窒素原子量の深さ方向変化を検討した。図3は、励起源にAlK α 線を用いて測定した角度分解Si 2p・N 1s光電子スペクトルに最大エントロピー法を適用して得られた酸化窒素膜/Si界面近傍における窒素原子量の深さ方向変化を2種類の酸化窒素膜について示す。

図4に、2種類の酸化窒素膜についての図2に示すような光電子スペクトルの解析から求まる、酸化膜からのSi 2p光電子スペクトル強度で規格化した窒素原子からのN 1s光電

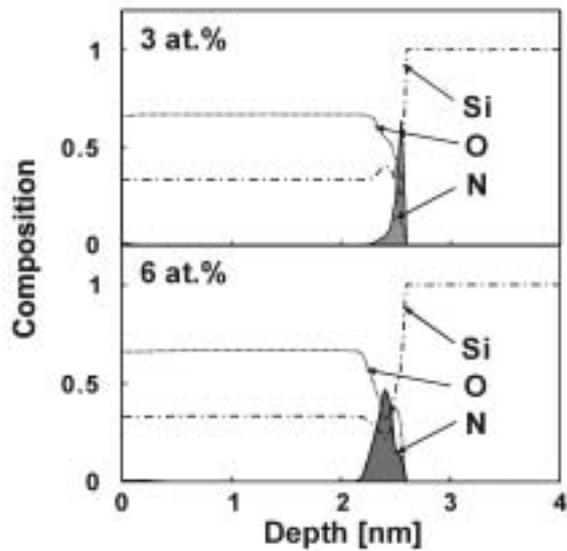


図3 $\text{AlK}\alpha$ 線励起角度分解Si 2pとN 1s光電子スペクトルに最大エントロピー法を適用して得られた窒素原子量の深さ方向変化

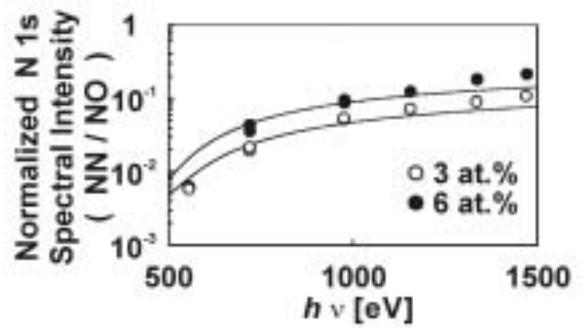


図4 酸化膜からの2p光電子スペクトル強度NOで規格化したN 1s光電子スペクトル強度NNの光子エネルギー依存性

子スペクトル強度 (NN / NO) の励起エネルギー依存性を示す。実線は、図3に示した酸化膜 / Si界面近傍における窒素原子量の深さ方向変化から計算した結果である [3]。

図4において、測定結果と計算結果が比較的よく一致していることから、図3に示す酸化膜 / シリコン界面近傍における窒素原子量の深さ方向変化が妥当であることが明らかになった。

<参考文献>

- [1] T.Hattori et al.,to be published in Appl. Surf. Sci.
- [2] F. J. Himpsel et al.,Phys. Rev. B **38** (1988) 6084.
- [3] K.Nishizaki et al.,to be published in Appl. Surf. Sci.