

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S 処理前の前処理が Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/InGaAs MOS 界面に与える影響

東京大学 院・工

°尹尚希, 加藤公彦, 横山千晶, 安大煥, 竹中充, 高木信一

The University of Tokyo, School of Engineering

°S. -H. Yoon, K. Kato, C. Yokoyama, D. -H. Ahn, M. Takenaka and S. Takagi

E-mail: kittle1357@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】InGaAs は高い電子移動度を持つため、将来の MOSFET のチャンネル材料として注目を集めている。しかし、InGaAs MOS 界面は欠陥が多いことが知られているため、優れた MOS 界面特性の実現が重要な課題である。InGaAs MOS 界面の界面準位密度 ( $D_{it}$ ) を低減する方法として酸化膜を堆積する前の(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S による表面処理がある。(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S 処理 (S 処理) は、表面酸化物を除去し、S パッシベーションすることで表面の酸化を防ぐ効果があることが知られている [1]。本研究では、(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S で表面処理をする前に行うウェット表面処理が MOS 界面特性に大きな影響を与えることを見出したので報告する。

【研究内容】S 処理前の前処理が MOS 界面特性に与える効果を調べるため、InGaAs MOS キャパシタを製作した。S 処理前に使われた表面処理は①表面処理なし、② NH<sub>4</sub>OH、③ HCl、④ BHF である。この後(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S で処理をし、ゲート絶縁膜である 3.2 nm の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を ALD により堆積した。ゲート電極には W を用いた。最後に 350°C、1 分間の PMA を行った。Fig. 1 に各表面処理に対して S 処理前後の 1 MHz での C-V 特性から Terman 法を用いて  $D_{it}$  を求めた結果を示す。何も表面処理していない状態で S 処理をすると界面特性が悪くなるのが分かる。さらに、S 処理前の処理は NH<sub>4</sub>OH より、HCl や BHF の処理の方が良い界面特性が得られる。これらの結果から、S 処理は界面準位を低下させるだけでなく、増加させる作用もあるということが分かる。

S 処理前の表面処理が S 処理の効果を変化させる理由を調べるために XPS 測定を行った。In 3d と Ga 2p のスペクトルでは表面処理による違いは見えなかった。一方、As 2p スペクトル (Fig. 2) でも、S 処理前の表面処理に関わらず S 処理後のヒ素酸化物量はほぼ一致した。Fig. 3 に S 処理後のヒ素酸化物量と界面準位の関係を示す。その結果、InGaAs MOS 界面の界面準位はヒ素酸化物の量だけでは説明できないことがわかる。一方、Fig. 2 に見られるように、未処理で S 処理を施した場合は、ヒ素酸化物が多い状態で S 処理が行われ、HCl と BHF 処理後に S 処理を施した場合、HCl や BHF 処理によってヒ素酸化物がある程度除去された後で S 処理が行われる。Fig. 4 に S 処理前のヒ素酸化物量と S 処理後の界面準位の関係を示す。S 処理後の  $D_{it}$  は、S 処理前のヒ素酸化物量と良い相関を持つ事から、S 処理後の  $D_{it}$  は S 処理前のヒ素酸化物に影響を受けているものと考えられる。

また、表面上の S パッシベーション量との関係を調べるため、S 2p スペクトルの測定を行った。S 2p は、Ga 3s とスペクトルが被っているため、S 処理前後の Ga 2p スペクトルが良く一致する事実に基づき、各 S 2p スペクトルから S 処理前の Ga 3s スペクトルを引いた結果を真の S 2p スペクトルと

解釈した (Fig. 5)。界面準位が多い表面処理なしの後で S 処理をした場合 S ピークが高い一方、界面準位が少ない HCl や BHF 処理をした後で S 処理をした場合には S ピークが小さくなるのが分かる。結果的に、Fig. 6 に見られる様に、S 処理後の残留 S 原子量が多いと界面準位が増加すると言える。本実験から、ヒ素酸化物を十分除去されていない状態での S 処理は、残留 S 原子に関連した界面準位の発生に繋がるということが明らかとなった。

【結論】Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/InGaAs MOS 界面に対する S 処理は界面準位低減の効果もあるが、S 処理前にあるヒ素酸化物と S 原子の相互作用によって界面準位が増える効果も存在する。従って、S 処理前に適切な前処理でヒ素酸化物を除去した後に S 処理を行うことにより、優れた界面特性を得ることができる。

【謝辞】本研究は、JST・CREST ( Grant 番号 JPMJCR1332 ) 及び科学研究費補助金 ( 17H06148 ) の支援により実施した。InGaAs エピ基板を提供頂いた住友化学の横山正史氏、山本武継氏に感謝する。

【参考文献】[1] E. O' Connor et al., Appl. Phys. Lett. 92, 22902 (2008).

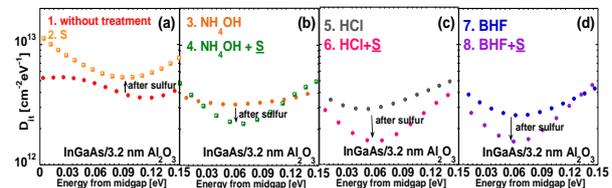
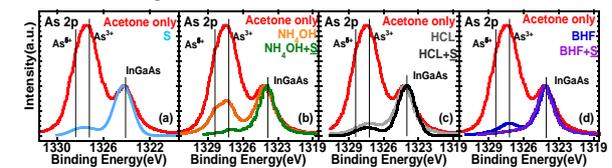
Fig.1  $D_{it}$  before and after sulfur treatment

Fig.2 As 2p spectra before and after sulfur treatment

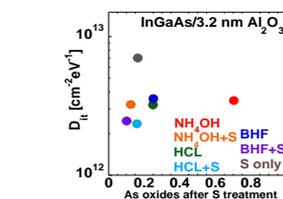
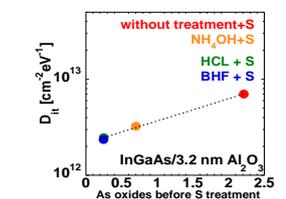
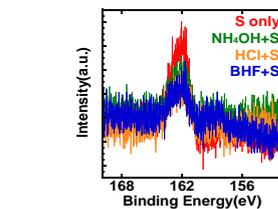
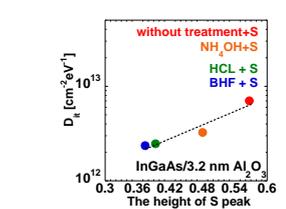
Fig.3  $D_{it}$  - As oxides after sulfur treatmentFig.4  $D_{it}$  - As oxides before sulfur treatment

Fig.5 separated S spectra

Fig.6  $D_{it}$  - the peak of S peak