

電子線ホログラフィーによる InGaZnO₄/SiO₂ 界面の電荷分布の直接観察In-situ electron holography of carrier accumulation at InGaZnO₄/SiO₂ interface

ルネサスエレ, °五十嵐信行, 西藤哲史, 竹田裕, 井上尚也, 砂村潤, 竹内潔, 羽根正巳

°N. Ikarashi, M. Saitoh, H. Takeda, N. Inoue, H. Sunamura, K. Takeuchi, and M. Hane

Renesas Electronics Corp., E-mail: nobuyuki.ikarashi.xz@renesas.com

[はじめに] InGaZnO₄等の酸化物半導体を用いたデバイスが注目されている[1,2]。酸化物半導体/絶縁膜界面の電子状態はデバイス特性を決定する物性の一つであるが、界面電子状態の直接的物理分析の報告は殆ど無い。

本講演では InGaZnO₄/SiO₂ 界面での電荷の蓄積・空乏の定量的直接観察について報告する。

[実験] Si 基板上に InGaZnO₄ 薄膜をスパッタによって形成し、その表面に SiO₂ を堆積した。ここから TEM 観察用の断面試料を作製した。試料に電圧を印加するための探針を備えた TEM 試料ホルダーを用いた。図 1(a)は、ホログラフィー観察時の試料と探針の模式図である。試料表面に、探針を接触させ、電圧 V_p を印加した[3]。

電子線ホログラフィーでは、試料中のポテンシャル分布 V(x)の直接観察が可能である[3]。電荷分布をρ(x)、誘電率をεとすると、ポアソン方程式 $\partial^2 / \partial x^2 V(x) = -\rho(x) / \epsilon$ から、試料中の電荷分布の計測が可能である。

[結果と考察]図 1(b)-(d)は、探針電圧 V_p が 0, ±10 V の時のポテンシャル分布の観察例である。V_p = 0 V の場合(図 1 (c)), InGaZnO₄ 膜の観察像にポテンシャルの等高線は観測されず、InGaZnO₄ 層にポテンシャルの勾配が無い事を示している。一

方、V_p が±10 V の観察像では、InGaZnO₄ 層には V_p に起因するポテンシャル勾配が観察される。

図 2(a)は、図 1(b)の破線に沿った電荷密度の実測値である。電荷密度は、破線に沿ったポテンシャル分布を式(1)を用いて導出した。横軸の零点は InGaZnO₄ と SiO₂ の界面に設定した。V_p>0 の場合には、InGaZnO₄ 表面に負電荷の蓄積が観察され、V_p の増加と共に、電荷密度が増加した。V_p<0 の場合には、電荷の蓄積は観察されなかった。図 2(b)は、InGaZnO₄ 層のドナー密度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ と仮定して計算した InGaZnO₄/SiO₂ 界面の電荷の深さ方向分布の計算結果であり、計算結果は、実測値を良く再現している。以上の結果から、本実験で用いた InGaZnO₄ のドナー密度を約 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ と推定する事が可能である。

[結論]電子線ホログラフィーを用い InGaZnO₄/絶縁膜界面における電荷の蓄積や空乏の実測について報告した。本計測手法は界面電荷密度の定量計測が可能であり、InGaZnO₄ の物性解析・デバイス開発加速に応用可能である。

[参考文献] [1] K. Nomura et al., Nature 488, 432 (2004). [2] H. Sunamura et al. VLSI Symp. 2013 T250, [3] N. Ikarashi et al., Appl. Phys. Lett. 100, 143508 (2012).

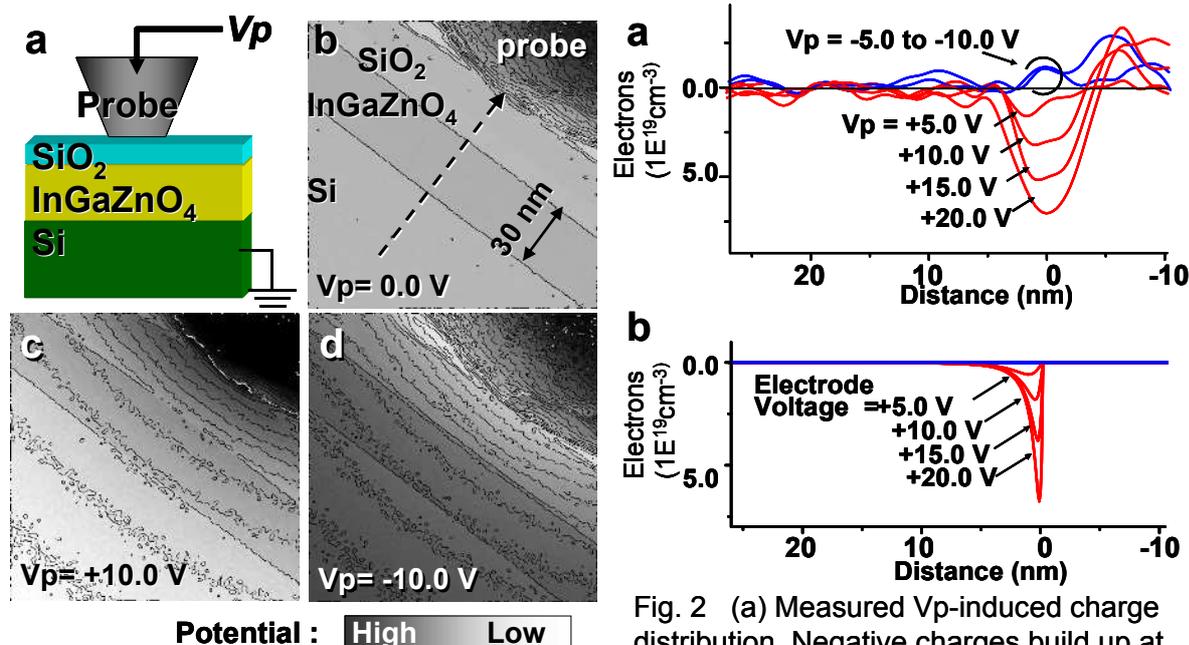


Fig. 1 (a) An electrode probe was brought into contact with the cross-sectional specimen during holography. (b) - (d) Potential contour maps for V_p = 0.0, ±10.0 V.

Fig. 2 (a) Measured V_p-induced charge distribution. Negative charges build up at the InGaZnO₄/SiO₂ interface when V_p is positive, while no charge accumulation is observed when V_p is negative. (b) Calculated V_p-induced charge distribution.