

InAs/high- k /low- k 構造における電子輸送

Electron transport in InAs/high- k /low- k structures

北陸先端大 ○ 宇井利昌*, 森涼介, Son Phuong Le, 大槻圭生, 大島義文, 鈴木寿一**

Japan Advanced Institute of Science and Technology

○ T. Ui*, R. Mori, S. P. Le, K. Ohtsuki, Y. Oshima, and T. Suzuki**

E-mail: *s1440003@jaist.ac.jp, **tosikazu@jaist.ac.jp

[はじめに] 低誘電率 (low- k) フレキシブル基板 (FS) 上に InAs 薄膜を貼付けた InAs/low- k 構造は高い電子移動度を示す [1] もの、貼付界面のゆらぎに起因する電子散乱 [2] と大きい低周波ノイズ [3] という問題を有している。この問題の解決のためには、InAs 表面上 high- k 絶縁体の成膜によって得た InAs/high- k を low- k FS に貼り付けた InAs/high- k /low- k 構造が有効であると考えられる。この構造では、low- k FS による低寄生容量を保ちつつ、絶縁体成膜によって得た InAs/high- k 界面の平坦性により、界面ゆらぎの抑制が期待できる。そこで、high- k 絶縁膜として $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlN}$ を用いた InAs/high- k /low- k (InAs/ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlN}/\text{FS}$) 構造を作製し、InAs の電子輸送特性を調べた。

[実験と結果] MBE 成長による InAs デバイス層/AlAs 犠牲層/InAs バッファ層/GaAs(001) から犠牲層選択エッチングによって切離した InAs デバイス層を、中間支持体 (レジストコートサファイア基板) 上に貼付けた。中間支持体上 InAs 表面に、トリメチルアルミニウム- H_2O を用いた原子層堆積による Al_2O_3 (~ 50 nm)、AlN ターゲットを用いた ECR スパッタ堆積による AlN (~ 30 nm) を成膜した後、InAs/ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlN}$ を中間支持体から切離し、FS(ラバーコート PET) 上に貼付け、InAs/high- k /low- k 構造を得た。比較のため、InAs/low- k 構造も作製した。その後、図 1 に示す Hall-bar デバイスを作製し、InAs をウェットエッチングで薄層化しつつ、室温における Hall 測定を行った。

図 2 に電子移動度 μ とシート電子密度 n_s の InAs 膜厚 d 依存性を示す。 $\lesssim 15$ nm において、InAs/low- k 構造は界面ゆらぎ散乱により $\mu \propto d^\gamma$ ($\gamma \simeq 5.6$) という移動度低下を示すのに対して、InAs/high- k /low- k 構造では $\lesssim 10$ nm においてもこの挙動が見られず、界面ゆらぎ散乱の抑制が確認された。ただし、 $\gtrsim 15$ nm において、InAs/high- k /low- k 構造の μ は InAs/low- k 構造に比べて低く、InAs/high- k 界面近傍におけるクーロン散乱体の存在が示唆された。また、InAs/high- k /low- k 構造は InAs/low- k 構造と比較してかなり高い n_s を示した。このことを理解するために InAs/ Al_2O_3 界面を電子エネルギー損失分光法 (EELS) で調べたところ、界面近傍の Al_2O_3 においてイオン化した酸素欠損ドナーに特有のスペクトル [4] が観測された。これにより、酸素欠損ドナーが変調ドーピングによって n_s を増大させるとともに、イオン化した酸素欠損ドナーがクーロン散乱体となっていることが示唆された。

この変調ドーピングの機構について、Poisson/Schrödinger 計算を行った。図 3 に 300 K における InAs/ Al_2O_3 のバンドプロファイルと電子分布の計算例を示す。ここで、 Al_2O_3 のドナー密度 $1.6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、ドナー準位 $E_c - E_D = 2.6 \text{ eV}$ を仮

定した。界面近傍の InAs に電子が蓄積されていることがわかる。計算によって得られた Al_2O_3 の空乏層長 $\simeq 1.3 \text{ nm}$ は EELS の結果と一致し、また、図 2 の黒線で示す n_s の d 依存性も実験結果とよい一致を示しており、変調ドーピング機構の妥当性が確認された。

[まとめ] InAs/high- k /low- k (InAs/ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlN}/\text{FS}$) 構造を作製し、電子輸送特性を調べた結果、界面ゆらぎ散乱の抑制が確認された。一方で、InAs/high- k 界面近傍におけるクーロン散乱体の存在が示唆され、また、シート電子密度の増大が観測された。これらは、 Al_2O_3 中の酸素欠損ドナーから InAs への変調ドーピングで説明される。

参考文献

- [1] H. Takita *et al.* APL **97**, 012102 (2010).
- [2] C. T. Nguyen *et al.* APL **100**, 232103 (2012).
- [3] S. P. Le *et al.* APL **107**, 192103 (2015).
- [4] S. Nigo *et al.* JAP **112**, 033711 (2012).

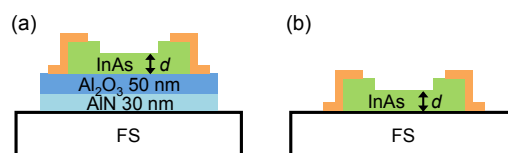


図 1: (a) InAs/high- k /low- k 構造と (b) InAs/low- k 構造を用いた Hall-bar デバイス。

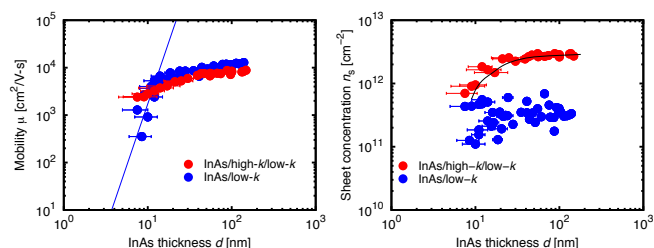


図 2: 電子移動度 μ とシート電子密度 n_s の InAs 膜厚 d 依存性。青線は $\mu \propto d^\gamma$ ($\gamma \simeq 5.2$)、黒線は Poisson/Schrödinger 計算により得られた n_s である。

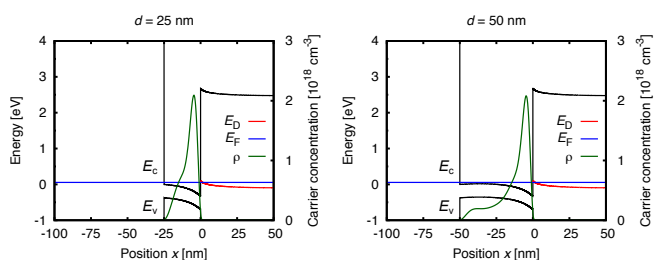


図 3: 300 K における InAs/ Al_2O_3 のバンドプロファイルと電子分布の計算例。ここで、 E_c は伝導帯下端、 E_v は価電子帯上端、 E_D はドナー準位、 E_F はフェルミ準位、 ρ は電子密度である。