

(111)面チャネルの薄膜化による InAs-OI nMOSFET のサブバンド制御手法の提案と極薄膜(111) InAs-OI 基板の実現

Proposal of subband engineering in InAs-OI nMOSFETs by channel thickness scaling of (111)-oriented channel and fabrication of UTB (111) InAs-OI substrates

○隅田 圭¹, 吉津 遼平², ト・プサートポン ガディット^{1,2}, 竹中 充^{1,2}, 高木 信一^{1,2} (東大院工¹, 東大工²)

○K. Sumita¹, R. Yoshizu², K. Toprasertpong^{1,2}, M. Takenaka^{1,2}, S. Takagi^{1,2}

(U. Tokyo, School of Engineering¹, Faculty of Engineering²), sumita@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

【背景】III-V nMOSFETsは低温プロセスでの実現が可能であることから、将来の3次元集積CMOS構造への応用が期待される[1]。しかしながら、III-V nMOSFETsには次に挙げる3つの本質的な課題が性能を大きく制限している。1点目は、DOSが極めて小さい為半導体容量が小さい点である[2]。2点目に、チャネルを薄膜化によって移動度が膜厚揺らぎ散乱によって大幅に劣化してしまう[3]。これら2つの欠点は、 Γ 点の有効質量が非常に軽いことに起因する為、極めて本質的である。3点目に、伝導帯内にある多量の界面準位が表面ポテンシャルをピンニングし、結果的に誘起できるキャリア量が制限されてしまう[4]。本研究では、L点の有効質量の異方性を用いることによって前半の2つの問題を克服できること、InAsチャネルを用いることで伝導帯内の界面準位をInGaAsに比べて低減できること、およびL点伝導の実現の為に極薄膜(111) InAs-OI構造が極めて有望であることを提案する。またsmart cutとdigital etchingを組み合わせることで、極薄膜・平坦な(111) InAs-OI基板が作製できたことを報告する。

【提案】InAsチャネルにおけるL点伝導のコンセプトをFig. 1に示す。また各valleyでの有効質量をTable 1に示す。初めに半導体容量の観点では、 Γ 点のDOSの等価CETは2.2 nmであるのに対し、 L_1 点を含めるとDOSの向上により0.4 nmとなり、これはSiと同等の十分高い半導体容量である。さらに L_1 点の m_z が非常に重い為、式(1)に表せるように、膜厚揺らぎ散乱が支配的な領域では高い移動度が期待される。一方、バルクでの Γ 点とL点のエネルギー差 $E_{L-\Gamma}$ は0.7 eVと非常に大きく、L点伝導の為に非常に強い量子化が必要である。計算の結果、(100) InAs-OIや(111) AlSb/InAs/AlSb QWでは $E_{L-\Gamma}$ を覆すほどの大きな量子効果は得られなかったが、Fig. 2に示すように4 nm以下の(111) InAs-OIでは電子がL点に占有することが確かめられた。この結果より、強い閉じ込め(ΔE_c)と大きな有効質量差(Δm_z)の両方がL点伝導には不可欠であり、UTB (111) InAs-OI構造がL点伝導を実現する唯一の構造である。他にも(111)面を用いる利点として、InAs-OI基板の作製にsmart cut法を用いた場合に(100)面よりも格段に平坦な表面が得られること[5]、(111)面の界面準位は(100)面よりも少ないことがある[6]。最後に、界面準位の観点でInAsチャネルのInGaAsに対する優位性について議論する。In組成が低いほど $E_{L-\Gamma}$ は小さくなるのでL点伝導に有利であるが、In組成が0.6以下のInGaAsでは、表面ポテンシャルがL点のエネルギーより低い位置でピンニングされることが報告されている[4]。従ってInGaAsでのL点伝導の実現は界面準位の大幅な低減が不可欠な課題である。一方でInAsは電荷中性レベルが伝導帯の深い位置に存在することから、伝導帯内の界面準位が低いことが期待出来る。よって界面準位を考慮すると、 $E_{L-\Gamma}$ は大きいもののInAsがL点伝導を実現する上で最も有力な候補となる。

【実験】UTB InAs-OI構造の実現の為に、極平坦な表面の実現が不可欠である。Smart cut法によって作製したInAs-OI基板[5]の、各プロセス後の表面荒さを図4にまとめる。ウェット処理では表面荒さが大幅に劣化するのに対し、本研究ではdigital etchingを適用することで極めて膜厚制御性に優れた形で非常に均一なUTB InAs-OI構造を実現した。最終的にRMSを0.1nmに保ちつつ、InAs膜厚を3 nmまで薄膜化することに成功し、この構造は本提案のL点伝導チャネルへの応用が期待される。

【謝辞】本研究は、科学研究費補助金(17H06148)の支援により実施した。【参考文献】[1] V. Deshpande *et al.*, TED **64**, 4503 (2017). [2] S. Takagi *et al.*, TED **55**, 21 (2008). [3] H. Sakaki *et al.*, APL **51**, 1934 (1987). [4] N. Taoka *et al.*, IEDM, p.610 (2011). [5] K. Sumita *et al.*, JAP **128**, 015705 (2020). [6] J. Wu *et al.*, APL **100**, 132905 (2012).

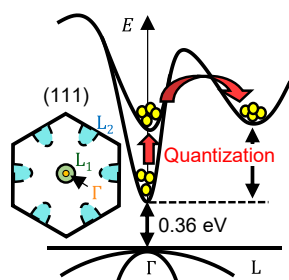


Fig. 1 Concept of L valley transition of InAs

Table 1 Effective mass of (111) InAs

		m_x	m_y	m_z
(111) InAs	Γ	0.023	0.023	0.023
	L_1	0.094	0.094	1.54
	L_2		1.38	0.10

(1) $\mu_{fluctuation} \propto \frac{m_z^2}{m_x} T_B^6$
(T_B : thickness)

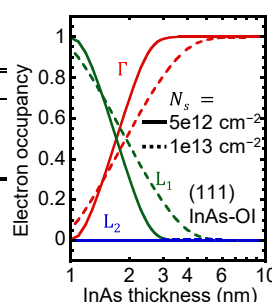


Fig. 2 Electron occupancy of (111) InAs-OI

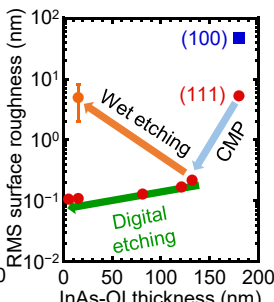


Fig. 3 RMS of InAs-OI