AlGaN/GaN HEMT デバイスにおける局所圧電格子変形の 放射光ナノビーム X 線回折オペランド計測

Operand observation of local piezoelectric lattice deformation in AlGaN/GaN HEMT devices by synchrotron radiation nanobeam X-ray diffraction

阪大院基礎 1^{-1} 、北大量子集積エレクトロニクス研究センター²、JASRI³

○(M1)嶋田 章宏¹,塩見 春奈¹,藤平 哲也¹,林 侑介¹,金木 奨太²,橋詰 保²,

今井 康彦³,隅谷 和嗣³,木村 滋³,酒井 朗¹

Grad. Sch. of Eng. Sci., Osaka Univ.¹, RCIQE, Hokkaido Univ.², JASRI³

A. Shimada¹, H. Shiomi¹, T. Tohei¹, Y. Hayashi¹, S. Kaneki², T. Hashizume²,

Y. Imai³, K. Sumitani³, S. Kimura³, A, Sakai¹

E-mail: sakai@ee.esosaka-u.ac.jp

【背景】AlGaN/GaN HEMT デバイスにおいては、ゲート電圧印加に伴い逆圧電効果が生じ、それによって結晶中に誘起される格子欠陥がデバイス性能を劣化させることが知られている。こうした欠陥導入のダイナミクスは未だ不明な点も多く、欠陥抑制のためには、圧電特性の理解と制御が不可欠である。本研究では、SPring-8 BL13XUのナノビームX線回折(nanoXRD)光学系を用いた、デバイス動作下における局所圧電応答格子変形のオペランド計測を行い、AlGaN/GaN HEMT デバイスにおける局所格子歪のゲートおよびドレイン電圧印加条件依存性を精密かつ定量的に評価した。

【実験方法】図1に試料とした AlGaN/GaN HEMT デバイスの構造(Al₂O₃(30 nm)/Al_{0.2}Ga_{0.8}N(20 nm)/GaN)を示す。試料に照射する放射光 X 線は、ビームサイズが縦 330 nm×横 860 nm であり、1 周期が 4.789 µs で、幅 1.815 µs の X 線パルス列であるトレイン部と、幅 60 ps のシングルバンチ部から構成される。入射X線パルスのトレイン部と、試料のゲートおよびドレイン電極に印加する電圧パルスを同期させ、かつ印加電圧パルスの位相を変化させるポンププローブ法を用いて、トランジスタ動作下における局所圧電格子変形の評価を行った。ゲート電圧をパルス電圧、ドレイン電圧を直流もしくはパルス電圧として、印加電圧を系統的に変化させた条件の下で、ゲート電極直下 AlGaN バリア層の対称(0004)面に対するω-20マッピングを取得し、同層の格子面間隔のゲート・ドレイン電圧依存性を測定した。

【結果】各電圧印加下における AlGaN(0004)面回折の 20 プロファイルから、ガウシアンフィッ ティングによってピーク値を抽出し、それより算出した c 面格子間隔を図 2 に示す。ゲートに印 加する負電圧の値が増加するにつれて格子面間隔が増大しており、デバイス動作下での逆圧電効 果による AlGaN 層の局所格子変形が観測される。ゲート電圧に依存する格子面間隔の値は、ド レイン電圧の波形の違いに依存して異なり、パルスで印加したときの方が直流電圧に比べて、格 子面間隔が大きくなる傾向が見られた。図 3 はこうした格子面間隔の増加量とパルス電圧に起因 するドレイン電流の過渡成分の値の関係を示しており、両者には良い相関があることが見いださ れた。このことから、逆圧電効果に加えて、過渡電流に起因するジュール熱が熱膨張を引き起こ し、局所格子変形に寄与している可能性が示唆される。

<謝辞:本研究は JSPS 科研費 JP16H06423、JP16H06421の助成を得て行われた。



Fig. 1. Schematic of an AlGaN/GaN HEMT device sample used for the present characterization.



Fig. 2. Lattice spacing of *c*-plane of the AlGaN layer as a function of gate voltage (V_g) for pulse- and dc-drain voltages (V_d) . Inset shows a timing chart of incident X-ray and applied voltage.



Fig. 3. Difference of *c*-plane lattice spacings Δc between the cases of pulse-V_d and dc-V_d versus difference of integrated I_d overshoot (ΔI_d _overshoot). Inset shows I_d waveforms induced by the V_d application.