

走査型非線形誘電率顕微鏡による $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{OH}$ ダイヤモンド(111)の 局所 DLTS/CV 特性同時測定

Combined local DLTS/CV measurement of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{OH}$ -diamond(111) by
scanning nonlinear dielectric microscopy

東北大通研¹, 金沢大ナノマリ研², 東北大 NiChe³

○山末 耕平¹, 松本 翼², 徳田 規夫², 長 康雄³

Tohoku Univ.¹, Kanazawa Univ.²,

○Kohei Yamasue¹, Tsubasa Matsumoto², Norio Tokuda², and Yasuo Cho³

E-mail: yamasue@riec.tohoku.ac.jp

ダイヤモンドは優れた物性からパワーデバイスへの応用が期待されている。OH 終端ダイヤモンド(111)表面に ALD で Al_2O_3 膜を堆積した $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{OH}$ -ダイヤモンド(111)構造は高品質な MOS 界面を実現し、ノーマリオフ動作する反転層型 MOSFET が実証されている [1]。しかしながら、得られるチャネル移動度は十分ではなく、界面品質の改善が課題である。そこで、本研究では $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{OH}$ -ダイヤモンド(111)界面を微視的に調べるため、時間分解走査型非線形誘電率顕微鏡(時間分解 SNDM)を用いたナノスケール観察を行った。時間分解 SNDM は、静電容量を高感度で検出するプローブ顕微鏡であり、微視的な MOS 容量特性を測定できる。本発表では、同一の測定点で微視的な DLTS (Deep level transient spectroscopy) および容量-電圧 (CV) 特性の測定を行い、界面欠陥密度 (D_{it}) や表面ポテンシャルゆらぎを反映する 2 次元分布を同時に得た結果を報告する。

試料は ALD で成膜された Al_2O_3 層 (膜厚 50 nm)、表面を OH 終端した p 型ダイヤモンド(111)エピタキシャル層、オーミック接触形成のための高濃度 p^+ ダイヤモンド層、裏面の金電極層から構成される。ダイヤモンド(111)面は Ni の炭素固溶反応を用いたエッチングにより形成され、水素プラズマエッチング処理により、原子レベルで平坦化されている。測定は導電性カンチレバー (Pt-Ir コート, 先端径 2 μm) を用いて、大気中、室温下で行った。各測定点では、局所 DLTS のための矩形電圧パルス (高さ 7 V, 幅 5 μs) および局所 CV 特性測定のための三角波電圧パルス (1.5 サイクル, 振幅 50 V_{pp}, 1 サイクルの長さ 100 μs) を直流バイアス (2 V_{dc}) とともに 40 μs の間隔を設けて続けて印加した。なお、局所 CV 特性測定では、微分特性を同時に得るため 1 MHz, 5 V_{pp} の正弦波電圧を重ねた。信号雑音比向上のため、各測定点で 160 回の電圧印加を行い、得られた特性の平均を用いた。 D_{it} 像は局所 DLTS による静電容量応答を解析して得た。また、局所 CV 特性を解析し、特徴量となる電圧 V_d , V_a を抽出し各像を得た。 V_d , V_a 像はそれぞれ空乏状態、蓄積状態近傍での局所 CV 特性のゆらぎを 2 次元分布に表したものである。

図 1 に得られた $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{OH}$ -ダイヤモンド(111)の(a) 表面形状像, (b) D_{it} 像, (c) V_d 像, (d) V_a 像を示す。 V_d および V_a のゆらぎはそれぞれ約 0.4 V, 0.6 V であった。これは、空乏状態に比較して蓄積状態で表面ポテンシャルゆらぎが増加したことを意味する。また、 D_{it} 像と V_d 像, V_a 像の相関係数はそれぞれ約 0.6, 0.8 であり、蓄積状態でより高かった。実際、図 1(b), (d) より D_{it} 像にみられる不均一の空間的特徴が V_a 像のそれとよく一致することがわかる。したがって観察結果は、界面欠陥への多数キャリアの捕獲により、空乏状態から蓄積状態に至る過程でゆらぎが増大する様子を可視化したものと理解できる。観察された不均一な界面電荷状態はクーロン散乱を通じて、チャネル移動度低下の原因となり得ることが、デバイス・シミュレーションからわかっている。以上から、SNDM 観察は界面電荷状態の微視的理解とその影響評価に有用である。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 24H00414 の助成を受けています。

参考文献 [1] T. Matsumoto *et al.*, Sci. Rep. 6, 31585 (2016) [2] K. Yamasue and Y. Cho, Microelectron. Reliab. 135, 114588 (2022).

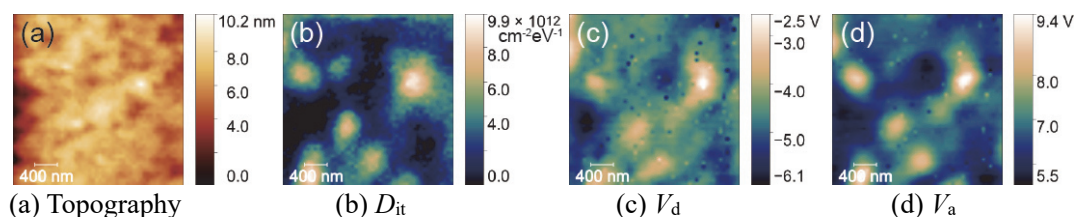


Fig. 1 SNDM images of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{OH}$ -diamond (111)