

超高次非線形誘電率顕微鏡法を用いた局所 DLTS 法の提案と SiO₂/SiC 界面評価への応用

Proposal of local DLTS by super-higher-order scanning nonlinear dielectric microscopy and its application for evaluation of SiO₂/SiC interface

○ 茅根 慎通¹, 小杉 亮治², 田中 保宣³, 原田 信介², 奥村 元², 長 康雄¹

(1. 東北大, 2. 産総研, 3. 内閣府)

○ Norimichi Chinone¹, Ryoji Kosugi², Yasunori Tanaka³, Shinsuke Harada², Hajime Okumura² and Yasuo Cho¹ (1. Tohoku Univ., 2. AIST, 3. Government of Japan)

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

はじめに SiO₂/SiC 界面には多くの界面準位が存在し、デバイスの特性向上の妨げになっている [1]. 界面改善には SiO₂/SiC 界面欠陥に関する巨視的・微視的両方からの知見が有用である. 欠陥の微視的評価技術として走査型容量顕微鏡法を応用した DLTS が過去に提案されているが [2] 詳細な検討まではなされていないようである. 一方前回の秋季応用物理学会において、超高次走査型非線形誘電率顕微鏡法 (SHO-SNDM) を用いた SiO₂/SiC 界面の局所的な DLTS の可能性を示した [3]. そこで本研究では SHO-SNDM による局所 DLTS 法の提案として容量の過渡応答の時定数を抽出する方法を検討した.

原理 SNDM は高感度な静電容量センサ (SNDM プローブ) を用いる走査型プローブ顕微鏡法である. SNDM プローブは、導電性カンチレバー探針が取り付けられた GHz 帯 LC 発振器により構成される. 探針を試料表面に接触させて探針試料間に周期的電圧 $V(t)$ を印加すると C_s が変調される. C_s の時間変化分を $\Delta C_s(t)$ と置くと、フーリエ級数により

$$\Delta C_s(t) = \sum_{n=1}^N \left(C_n^{\cos} \cos n\omega_p t + C_n^{\sin} \sin n\omega_p t \right) \quad (1)$$

と表現される. ここで N は測定系の周波数帯域で決まる高調波の最大次数であり、本研究では $N = 18$ である. この $\Delta C_s(t)$ は SNDM プローブにより周波数変調に変換されるため周波数復調器とロックインアンプを用いて式 (1) 中のフーリエ係数を取得することができる. 本測定では $V(t)$ を周期パルス電圧とし、 $C_n^{\cos}$ 及び $C_n^{\sin}$ を測定することで容量のパルス電圧応答を測定した. さらに $\Delta C_s(t)$ に含まれる過渡応答が通常の DLTS と同様に複数の時定数の応答の和 $\sum_k \Delta C_{\min}(\tau_k) \exp(-t/\tau_k)$ で表現できると仮定して解析を行うことで各時定数の成分の大きさを得た.

実験と解析結果 まず n 型 SiC 基板の Si 面に 45 nm の熱酸化膜を形成した (#1). さらに NO 環境中において 1250°C で 60 分間 POA を施したサンプル (#2) を用意した. 印加した繰り返しパルス電圧の振幅、繰り返し周波数、デューティ比はそれぞれ 1.5 V, 100.2 kHz, 0.05 である. 直流バイアスは -2 V とした. 1.5 $\mu\text{m} \times 1.5 \mu\text{m}$ の領域を探針半径 150 nm のカンチレバー探針を用いてスキャンし 10 $\times$ 10 の解像度で測定を行った. 測定は全て大気中かつ常温で行われた. Fig. 1(a) に得られた $C_n^{\cos}$ 及び $C_n^{\sin}$ を式 (1) に代入して再構成したところ、明瞭な過渡応答を持った波形が得られた. 各測定点について得られた波形を解析し、 $\Delta C_{\min}(\tau)$ を求めた. サンプル #1 と #2 の測定結果を解析して得られた $\Delta C_{\min}$ を式 (1) のピーク値 $\Delta C_s(0)$ で規格化し、Fig. 1 に重ねて示した. まずサンプル #1 と #2 の $\Delta C_{\min}$ を比較してみると、サンプル #2 から得られた $\Delta C_{\min}$ の方が非常に小さいことが分かる. この結果は POA により界面準位密度が著しく減少することと矛盾しない. また、サンプル #1 の結果に注目すると、解析結果にバラつきがあるものの 0.4 μs 以下と 1 μs 以上の時定数を持つ成分に分解されたことが分かる.

まとめ SHO-SNDM で得られた容量の過渡応答を解析し時定数を分離する手法を検討した. SiO₂/SiC 界面の局所的評価に有効であると期待される.

謝辞 本研究の一部は、SIP/次世代パワーエレクトロニクス及び科学研究費補助金基盤研究 S(23226008)、日本学術振興会特別研究員制度の補助を受けている.

参考文献 [1] Gang Liu *et al.*: Appl. Phys. Rev. **2** (2015) 021307.

[2] A. L. Tóth *et al.*: Mat. Sci. in Semiconductor Processing **4** (2001) 89.

[3] 茅根慎通ら: 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会 16a-1A-4.

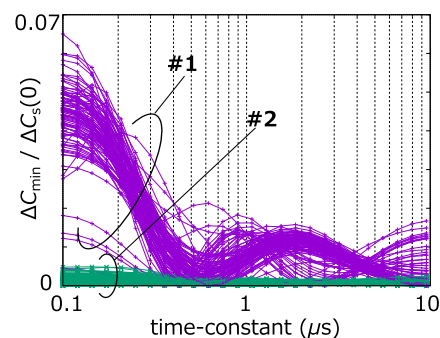


Fig. 1: Spectrums obtained by analyzing the transient capacitance responses.