∂C/∂z-SNDM 法による半導体ドーパント濃度測定に関する数値シミュレーション

Numerical Simulation Concerning Dopant Concentration Measurements by ∂C/∂z-SNDM

東北大通研　°平永 良臣，長 康雄
RIEC. Tohoku Univ.,　°Yoshiomi Hiranaga, Yasuo Cho
E-mail: hiranaga@riec.tohoku.ac.jp

【はじめに】走査型プローブ顕微鏡によるドーパント濃度プロファイル解析は，半導体デバイスにおける重要な微小領域解析手法として認知されている．中でも，走査型非線形誘電率顕微鏡（SNDM）は，測定感度および空間分解に優れる．これに関して，従来法である∂C/∂V-SNDM に加え，コントラストリバーサルの問題等を回避できる相補的な手法として，∂C/∂z-SNDM を用いる方法を近年提案している．[1,2] 今回の研究では，種々の条件下における∂C/∂z-SNDM 信号強度の数値シミュレーションを行ったのでこれについて報告する．

【方法】導電性探針（球形状で近似）および測定試料（SiO_2/n-Si を仮定）から構成されるモデルにおいて，半導体デバイスシミュレータ Atlas を用いて静電容量のバイアス依存性（*C-V* 特性）を計算した．続いて，探針－試料間距離と静電容量の関係（*C-z* 曲線）を求め，そこから∂C/∂z-SNDM 信号強度を得た．なお本稿では，探針半径（導体球半径）25 nm，酸化層膜厚 1 nm，測定周波数（SNDM プローブ周波数）1 GHz における計算結果を示す．

【結果】得られた *C-V* 特性を Fig. 1 に示す．基本的には平行平板 MOS モデルの場合と類似の特徴を示しているが，正バイアス側において一部，探針電極に特有な挙動も見えている．$V_{bias} = 0$ V においては不純物濃度に対し静電容量が単調に増加している．これは，∂C/∂z 法によってコントラストリバーサルを回避することができることを暗に示している．

Fig. 2 には振動振幅 50 $nm_{pk\text{-}pk}$ に対する∂C/∂z-SNDM 信号強度の不純物濃度依存性の計算結果を示す．同図より，確かに応答信号が不純物濃度に対して単調に増加していることが確認できる．また，基本波信号（1ω 信号）のみならず，高調波信号（2ω，3ω 信号）も検出可能な十分な大きさを有している．高調波信号は寄生容量由来のバックグラウンド信号を低減できるなど，実際上の測定において重要な意味を持つ．

Fig. 2 の結果によれば，10^{16} cm^{-3} 以下においては感度が減少する．しかし，Fig. 1 の結果から，適切な負バイアスを印加しながら測定することで低濃度領域に対する感度向上が可能であることを予測することができる．なお，この負バイアス領域において見られる濃度依存性は主に半導体バルク中の移動度に起因したものであることから，測定周波数によっても得られる特性が大きく変化するものと見られる．

【謝辞】本研究の一部は科学研究費補助金（16H06360）の補助を受けています．

[1] Y. Cho, Jpn. J.Appl. Phys. **56**, 100101 (2017).
[2] Y. Hiranaga, N. Chinone, and Y. Cho, Nanotechnol. **29**, 205709 (2018).

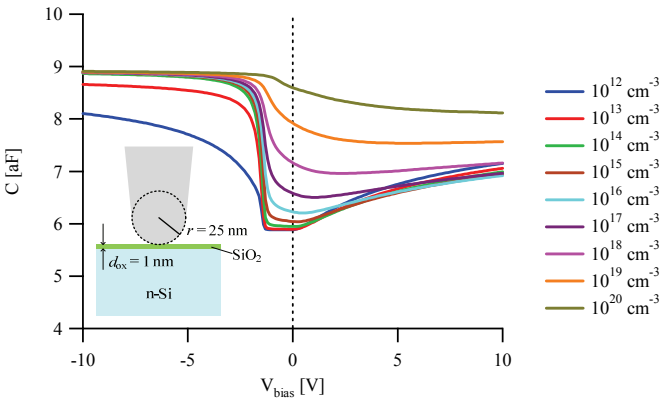

Fig. 1 Simulated *C-V* curves concerning local measurements using a spherical probe tip.

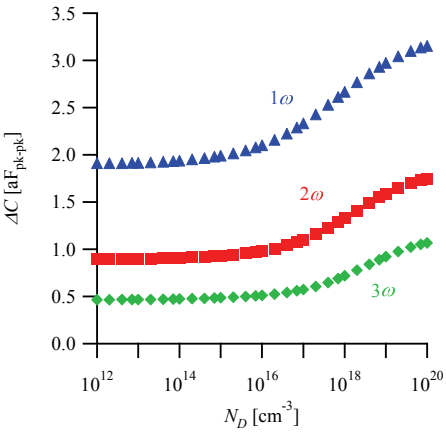

Fig. 2 Simulated ∂C/∂z-SNDM signal intensities as a function of dopant concentration.