高調波∂C/∂z-SNDM 信号を用いた半導体キャリア分布観察

Carrier Distribution Imaging Using Higher-Harmonic ∂C/∂z-SNDM Signals

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】測定感度と空間分解に優れる走査型非線形誘電率顕微鏡（SNDM）は，半導体デバイス中のキャリア分布観察に有用な手法である．一方，本手法においては信号強度とキャリア濃度の一価関数性が担保されない，コントラストリバーサルと呼ばれる現象がしばしば問題視されてきた．しかし，従来法である∂C/∂V-SNDM に加え，最近提案している∂C/∂z-SNDM を併用することで，現在はこの問題も回避することができるようになってきている．[1,2]

前回の講演会においてはこの∂C/∂z-SNDM 法に関するシミュレーションの結果を中心に報告し，キャリア濃度と応答信号強度の関係などを明らかにした．その際に，通常の基本波応答を用いた測定に加え，高調波信号もキャリア分布解析に利用可能であることを示した．そこで，今回はこれを受けて行った実験の結果について報告する．また，シミュレーションにおいても，探針プローブの側面の影響に関する知見を得たので，あわせて報告する．

【実験結果】異なる不純物濃度（1×10^{16}-3×10^{18} cm^{-3}）の 5 層のエピタキシャル成長層を有する校正用 Si サンプル（n 型）に対し，∂C/∂V-SNDM ならびに∂C/∂z-SNDM による観察を行った．結果を Fig. 1 に示す．∂C/∂V 像においては，キャリア濃度の増加に対し信号強度が減少する，コントラストリバーサル現象が観察された．一方，∂C/∂z-SNDM においては，1ω-3ω 像のいずれにおいてもキャリア濃度とともに信号強度が単調に増加し，コントラストリバーサルが回避できていることが示された．なお，SNDM の極めて高い静電容量検出感度が，信号強度の相対的に弱い高調波像の鮮明な画像化を可能としているという点についても補足しておきたい．また，∂C/∂V 像においてコントラスト差がやや不鮮明な 1×10^{16} cm^{-3} と 1×10^{17} cm^{-3} の境界が∂C/∂z 像においては明瞭に可視化されていることは，これらの手法における相補性の一端を表している．

【シミュレーション解析】信号強度に対するプローブ側面の寄与を調べるために，球近似モデルおよびプローブモデルによるシミュレーション計算を実施した．結果を Fig. 2 に示す．1ω 信号に対するシミュレーション結果においては，モデルの違いおよびプローブ側面の開き角 θ に依存して信号強度が変化する結果を得た．これは，プローブ側面部が信号強度に影響を与えていることを表している．一方，2ω および 3ω 信号では計算モデルによらずほぼ同一の信号強度曲線がグラフ上に描かれ，プローブ側面からの寄与が大幅に低減されていることが分かった．このことは，高分解能化および定量化に対し，高調波信号による観察が有益であることを示唆している．

【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] K. Hirose, K. Tanahashi, H. Takato, and Y. Cho, Appl. Phys. Lett. **111**, 032101 (2017).

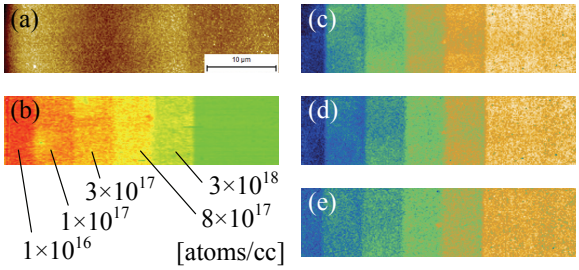

Fig. 1 (a) Topography, (b) ∂C/∂V-SNDM and (c)-(e) ∂C/∂z-SNDM images observed on Si standard sample. Each ∂C/∂z-SNDM image is obtained with (c) 1ω, (d) 2ω and (e) 3ω harmonics, respectively.

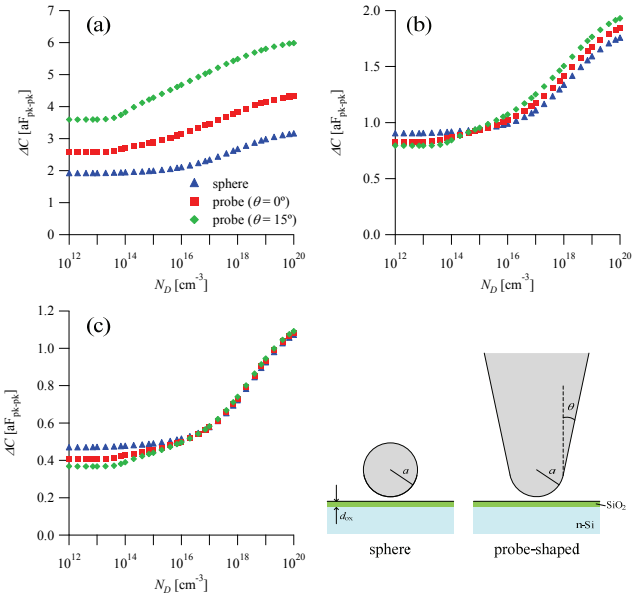

Fig. 2 Simulated ∂C/∂z-SNDM signal intensities as a function of dopant concentration for (a) 1ω, (b) 2ω and (c) 3ω signals.