

SNDM を用いたナノスケール線形誘電率マッピング

Linear Dielectric Permittivity Mapping with Nanoscale Resolution Using SNDM

H28助自69

代表研究者 平 永 良 臣 東北大学 電気通信研究所 助教
Yoshiomi Hiranaga Assistant Professor, Research Institute of Electrical Communication,
Tohoku University

A nanoscale linear permittivity imaging method based on scanning nonlinear dielectric microscopy (SNDM) was developed. A $\partial C/\partial z$ -mode SNDM ($\partial C/\partial z$ -SNDM) method proposed in this report applies a probe-height modulation technique to suppress disturbances derived from stray capacitance and improve stability in measurements. This method can observe a local permittivity distribution with an extremely low noise level (~ 0.02 aF) by virtue of a high-sensitive probe. A cross section of multilayer oxide films was visualized using $\partial C/\partial z$ -SNDM as a demonstration. Numerical simulations of the response signals were conducted to gain more insight on this method. The signal profiles in the vicinity of a boundary of different dielectrics were calculated using a simple conductive sphere model. Additionally, beneficial points of harmonic response imaging were also discussed from the viewpoints of spatial resolution and quantitiveness.

研究目的

電子デバイスの微細化・高性能化が進む中、微細加工のプロセスダメージや材料のサイズ効果などの問題が顕在化しており、材料やデバイスの微視的な物性の評価技術の重要性はますます高まっていると言える。これを可能とする手法としてプローブ顕微鏡が広く用いられており、特に電荷や電流の空間分布をナノスケールで観察する手法としてプローブ顕微鏡は極めて有効である。しかし、誘電率に関しては、十分に高い空間分解能と感度で観察する現実的な手法が現在のところ皆無である。走査型容量顕微鏡 (SCM) は静電容量の空間分布を可視化する事ができる顕微鏡であるが、通常の測定では電界に対する容量変化 (非線形容量変化) が測られることがほとんどである。計測

対象よりもはるかに大きい寄生容量や測定感度の問題があるため、静電容量の絶対値すなわち誘電率を測定するためにこの手法が用いられることはあまり多くない。

一方、走査型非線形誘電率顕微鏡 (SNDM) も局所的静電容量を可視化できるプローブ顕微鏡の一つである。SNDMはSCMより高い容量検出感度 ($\sim 10^{-22}$ F) を有する。例えば先端半径20 nm程度の探針を用いた場合、 1×10^{-18} F以下の静電容量を検出する必要があるが、SNDMの感度はこれを行うのに十分である。しかしながら、SNDMに関しても、通常測られるのは $\partial C/\partial V$ に対応する信号 (非線形誘電率) である。線形の誘電率の測定に関する報告もわずかにあるが、従来法では寄生容量の影響を受けやすく、実際の応用事例は極めて少ない。そこで本研究ではSNDMの高い容量検出

感度を生かしつつ、寄生容量の影響を大幅に低減して線形誘電率の分布をナノスケールで精度よく測定することが可能な新たな手法($\partial C/\partial z$ -SNDM)の開発を行う。

概 要

ナノスケール領域における誘電率イメージングは、微細化・高性能化が進む電子デバイスの発展と相まって、その重要性が今後ますます高まる評価技術の一つとなるものと考えられる。そこで本研究では 10^{-22} Fオーダという非常に高い静電容量検出感度を有する走査型非線形誘電率顕微鏡(SNDM)を用いて、線形誘電率のイメージングを可能とする手法($\partial C/\partial z$ -SNDM法)の開発を行った。

本提案手法ではカンチレバーを一定振幅で励振し、その際に生じる静電容量の変化を検出する。これにより、寄生容量の影響を抑制し、高い検出感度と空間分解能で測定サンプル表面の誘電率の局所分布を観察することが可能である。

本手法の有用性を示すために、誘電率の異なる4種類の酸化膜を積層したサンプルの断面観察を行い、その結果、明瞭な誘電率像を得た。さらに、高調波信号によるイメージングを行うことで、空間分解能および定量性の向上が可能となることも明らかにした。これらの実験結果の妥当性はシミュレーションによっても確かめられた。測定結果及び静電容量の理論計算結果から見積もられた本測定法におけるノイズレベルは 0.02 aFと非常に低い値であることが示された。本手法が有する高い静電容量検出感度は、多様な測定対象へ展開を可能とするための重要な基盤の一つとなっている。

－以下割愛－