

二重バイアス変調方式静電引力顕微鏡による 空乏層容量の周波数応答測定

Frequency response of depletion capacitance in electrostatic force microscopy with dual bias modulation

○ 福澤 亮太¹, 高橋 琢二^{1,2} (1. 東大生研, 2. 東大ナノ量子機構)

○ Ryota Fukuzawa¹ and Takuji Takahashi^{1,2}

(1.IIS & 2.NanoQuine, The University of Tokyo.)

E-mail:fkryota@iis.u-tokyo.ac.jp

静電引力顕微鏡 (EFM) を用いた $\partial C/\partial V$ 測定 (C :短針-試料間の合成容量, V :印加電圧) は, 交流バイアス (角周波数: ω) を印加したときにカンチレバーに加わる静電引力のうち, 角周波数 3ω 成分をロックイン検出することで実現される [1]. その際に, 3ω の値をカンチレバーの共振周波数に合わせることで検出感度を向上させることができるが, 一方で, 測定周波数を自由に選べないため, $\partial C/\partial V$ の周波数特性を測定することは困難であった. そこで我々は, 短針-試料間に角周波数 ω_1, ω_2 の交流電圧を同時に印加した際にカンチレバーに誘起される静電引力のうち, 角周波数 $|\omega_2 - 2\omega_1|$ で応答する力 $F_{\omega_2 - 2\omega_1}$ を測定する二重バイアス変調方式静電引力顕微鏡法 (DEFM) を提案し, 可変周波数での $\partial C/\partial V$ 測定に取り組んできた [2]. 今回, 我々は, DEFM の正当性検証のために一般的な MOS 構造に対して DEFM 測定を行ったので, その結果について報告する.

被測定試料は $\text{SiO}_2/n\text{-Si}$ からなる MOS 構造で, 数百 kHz の交流周波数まで応答する界面準位が高密度に存在することを通常の C - V 測定で確認している. この試料に対して, 静電引力の直流電圧依存性 (静電引力スペクトル) を測定することで $\partial C/\partial V$ - V (C - V 曲線の電圧微分に相当) 特性の観測を行なった (Fig. 1). カンチレバーには導電性コートカンチレバー (一次共振: $f_{1r} = 63$ kHz, 二次共振: $f_{2r} = 375$ kHz) を用いた.

まず低周波測定として, 短針-試料間に, 直流試料電圧 V_{DC} および周波数 $f = 125$ kHz ($3f = f_{2r}$) の交流電圧 (8 V_{p-p}) を印加し, V_{DC} を掃引することで $F_{3\omega}$ スペクトル取得した. 次に高周波測定として, 直流試料電圧 V_{DC} および二つの異なる周波数 (f_1, f_2) = (500 kHz, 1375 kHz) $\{|f_2 - 2f_1| = f_{2r}\}$ の交流電圧 (2 V_{p-p}, 4 V_{p-p}) を同時に印加し, V_{DC} を掃引することで $F_{\omega_2 - 2\omega_1}$ スペクトルを取得した. 両者のスペクトルを比べてみると, ピーク値を与える電圧が低周波測定では正電圧側にシフトしていることがわかる. ここで, 正電圧側で試料表面が空乏化することを考えると,

この結果は, 高周波数では十分空乏化し容量が大きく低下しているような正電圧領域においても, 界面準位が応答できる低周波測定では, 界面準位へ蓄積, もしくは界面準位から放出される電荷によって空乏層に掛かる電界が打ち消されてしまい, 十分な空乏化に必要な正電圧が大きくなることを意味するものと考えている. また, この結果は, 通常の C - V 測定の結果とも矛盾していない. 以上より, DEFM により空乏層容量の周波数応答が観測できていることが確認された. 我々が提案している二重バイアス変調方式により, EFM においても $\partial C/\partial V$ の周波数応答の測定が可能になり, 従来の C - V 測定に類似した界面・欠陥準位の評価が可能になると期待される.

本研究で測定した試料は, 東大生研 小林正治准教授, 多川友作氏より提供していただいた.

[1] K. Kobayashi, et al., *Appl. Phys. Lett.* **81**, 2629 (2002).

[2] 福澤, 高橋, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 18p-143-8 (2018).

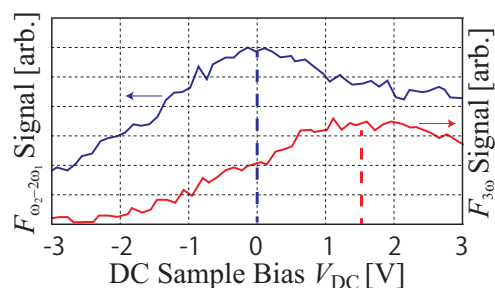


Fig.1 静電引力スペクトル (青: 高周波測定, 赤: 低周波測定)