走査型非線形誘電率ポテンショメトリによる自発分極誘起電位の選択的測定

Selective measurement of spontaneous polarization induced potentials by scanning nonlinear dielectric potentiometry

東北大通研　○山末 耕平，長 康雄
Tohoku Univ. ○Kohei Yamasue and Yasuo Cho
E-mail: yamasue@riec.tohoku.ac.jp

走査型非線形誘電率顕微鏡（SNDM）に基づくナノスケール電位測定法として，走査型非線形誘電率ポテンショメトリ（SNDP）が提案されている [1]．SNDP は自発分極や永久双極子モーメントが誘起する電位を測定しようとする手法である．本稿では，SNDP の電位測定法としての特徴を理解するため，KPFM との比較を含めた理論的検討を行う．SNDM では，探針直下の高電場によって誘起される探針-試料表面間容量の変化を検出する．この容量変化は非線形効果に起因し，特に 2 次の非線形効果は，探針直下に自発分極が存在することを意味する．2 次の非線形効果は，最低次の非線形誘電率 ε_3 で特徴付けられ，ε_3 は自発分極の向きに依存してその符号を変える．SNDM では，この性質を利用し，ε_3 に比例する量を測定することで，自発分極の有無と向きに関する 2 次元像を得ている．しかしながら，像から自発分極や永久双極子モーメントに関する定量的な情報を得ることは容易ではない．一方，SNDP は外部電圧により試料に分極を誘起し，実効的に自発分極を打ち消すことで，自発分極の誘起する電位を定量的に求めようとする手法である．これは ε_3 をゼロにするように，試料への印加電圧 V_0 をフィードバック制御することで可能となる．以下では，SNDP による電位測定の特徴として，試料の比誘電率 ε_r が十分大きい場合に，SNDP が自発分極の誘起する電位を測定することを示す．また，探針が試料表面に十分近づくとき，SNDP は単極電荷の影響を受けず，自発分極の誘起する電位のみに敏感であることを示す．図 1 に示すように，導電性探針，試料電極および試料からなる閉回路を平行平板容量でモデル化する場合を考える．試料の厚みを d，比誘電率を ε_r とし，一様な自発分極 P_s を持つものとする．このとき試料の内蔵電位差は $\Delta V_s = P_s d/\varepsilon_0$ である．KPFM では，ギャップ部の電位差はゼロとなり，結果として印加電圧は内蔵電位差に等しい（$V_0 = -\Delta V_s$）．電位の補償後も，試料の分極はゼロにならないことに注意する．一方，SNDP では，試料の分極をゼロにするように電圧を印加する．このため KPFM より余分な電荷が電極に誘起され，必要な電圧は簡単な計算から $V_0 = -\varepsilon_r/(\varepsilon_r - 1)\Delta V_s$ であることがわかる．$\varepsilon_r \gg 1$ のとき，$V_0 \approx -\Delta V_s$ であるから，V_0 は内蔵電位そのものに合致する．次に単極電荷の影響を検討するため，図 2 のように常誘電体表面に単極電荷 Q が存在する場合を考える．このとき，Q はギャップに電場を誘起すると同時に，試料にも分極を誘起する．この誘起分極 P は，見かけ上，自発分極と区別できないが，探針を試料表面に近づけるとき $P \to 0$ になることが言える．これは，探針が表面に近づくと，Q から出る電気力線のうち探針表面で終端されるものの本数が増加するためである．これは，等価回路で考えると，距離が近づくにしたがい，Q から探針側をみた容量 Q_t が試料電極側をみた容量 Q_s に比較して大きくなることからも容易に理解できる．一方，距離が小さくなったとしても，ギャップ中の電場はゼロにはならないため，KPFM は単極電荷の影響を受けることも理解できる．

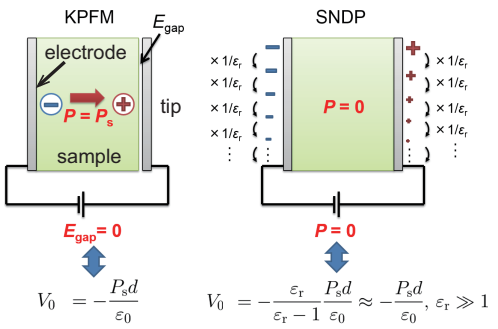

Fig. 1: Comparison of KPFM and SNDP

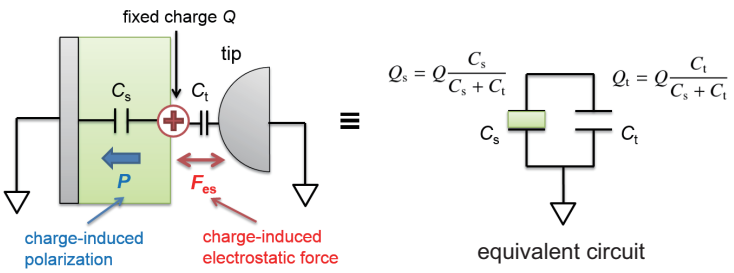

Fig. 2: Influence of a monopole charge on SNDP

謝辞　本研究の一部は科学研究費補助金 基盤研究 S（23226008）の補助を受けています．

参考文献 [1] K. Yamasue and Y. Cho (submitted).

© 2015年 応用物理学会