

二重バイアス変調静電引力顕微鏡による Cu(In,Ga)Se₂上での局所的容量測定

Local capacitance measurements on Cu(In,Ga)Se₂ by dual bias modulation electrostatic force microscopy

○ 福澤 亮太¹, 峯元 高志³, 高橋 琢二^{1,2} (1. 東大生研, 2. 東大ナノ量子機構 3. 立命館大理工)

○ Ryota Fukuzawa¹, Takashi Minemoto³, and Takuji Takahashi^{1,2}

(1. IIS & 2. NanoQuine, The University of Tokyo, 3. Coll. of Sci. and Eng., Ritsumeikan Univ.)

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

我々は、これまでに、可変周波数での局所的な静電容量解析が可能な二重バイアス変調静電引力顕微鏡 (DEFM) の開発に取り組んできた [1,2]. 本研究では、このような DEFM を用いて CIGS 上で $\partial C/\partial V$ (静電容量の電圧微分) 測定を行った結果を元にして、結晶粒界 (GB) 及び結晶粒内 (GI) での表面近傍のバンドギャップ内準位に関して考察を行った。

まず初めに、二重バイアスとして (201 kHz, 100 kHz) の周波数の交流電圧を印加した下で、CIGS の表面形状像および $\partial C/\partial V$ を表す DEFM 像の取得を行った。Fig. 1(a), (b) に、同一領域での表面形状像、および DEFM 像を示す。これらの図から、結晶粒界近傍において DEFM 信号が低下していることが確認された。これは、この周波数では、表面/界面準位などのバンドギャップ内の深い準位が充放電に寄与できるため、外部電圧によって空乏層容量が変調されにくくなっていることを示していると考えている。一方、このような深い準位は、印加バイアス周波数が十分高くなると応答しなくなることが予想される。そこで、高周波数と考えられる (2001 kHz, 1000 kHz) の交流電圧を印加した DEFM 測定も行った。Fig. 1(a) 上の二点 A, B (それぞれ、GB, GI に対応) において、二つの組のバイアス条件で DEFM 信号 (すなわち、 $\partial C/\partial V$ 信号) の直流電圧依存性 (DEFM スペクトル) を計測した結果を、それぞれ、Fig. 1(c), (d) に示す。これらの図から、GB 上、GI 上のいずれにおいても、低周波数測定では DEFM 信号のピーク (C-V 曲線の変曲点に相当) を与える電圧値が高周波数測定時と比べて負側にシフトしていることがわかる。これは、低周波数では、同程度の表面空乏化を生じさせるために負側により大きな試料電圧値が必要であることを意味している。CIGS は p 型半導体であることから、この現象は、深い準位によるフェルミレベルのピンニング効果が表れていることを意味すると考えられる。さらに、GI に比べて GB の方がピーク位置のシフト量が多いことから、GB には GI と比べて深い準位が高密度に存在していると考えられることができる。

同様の測定を、CIGS 上に CdS を一度堆積し、その後 CdS 層をエッチング除去した試料上でも行ったところ、低周波数での DEFM スペクトルのピーク位置の負電圧側へのシフトは同様に見られたが、特に GB 上でのシフト量が Fig. 1(c) の結果と比べて減少するという結果が得られている。これは、Cd の CIGS 層への拡散が GB 内に存在する表面近傍の深い準位を不活性化する効果をもたらすことを示唆している。

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

[2] R. Fukuzawa and T. Takahashi, ICSPM27, S6-1 (2019).

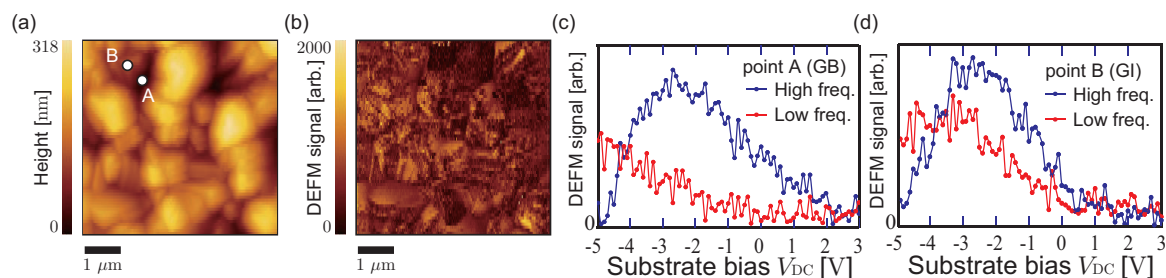


Fig.1 CIGS 上における (a) 表面形状像, (b) DEFM 像, (c) および (d) DEFM スペクトル