

## 二重バイアス変調静電引力顕微鏡による直接貼り合わせ p-n 接合の断面解析

### Cross-sectional investigation of direct bonded p-n junction by dual bias modulation electrostatic force microscopy

○ 福澤 亮太<sup>1</sup>, 梁 劍波<sup>3</sup>, 重川 直輝<sup>3</sup>, 高橋 琢二<sup>1,2</sup>(1. 東大生研, 2. 東大ナノ量子機構, 3. 大阪市大工)

○ Ryota Fukuzawa<sup>1</sup>, Jianbo Liang, 3, Naoteru Shigekawa<sup>3</sup>, and Takuji Takahashi<sup>1,2</sup>

(1. IIS & 2. NanoQuine, The University of Tokyo, 3. Grad. School of Eng., Osaka City University)

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

原子間力顕微鏡による静電引力検出に基づいた p-n 接合断面の解析には、ケルビンプローブフォース顕微鏡法 (KFM) や走査型容量原子間力顕微鏡法 (SCFM) が用いられてきた。これらの測定では、1 ~ 100 kHz 程度の交流バイアスを印加して測定が行われるが、この周波数帯では、交流バイアスに自由キャリアだけでなく半導体/自然酸化膜界面に存在する準位 (界面準位) も応答することが知られている。一方で、我々が開発してきた可変周波数での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法 (DEFM)[1] では、界面状態とバルク状態を含むような低周波測定だけでなく、バルク状態のみに依存するような高周波測定を行うことができる。今回、急峻な p-n 接合が形成されていると期待される直接貼り合わせ p-n 接合 [2] 上で、DEFM による断面解析を行ったので報告する。

今回測定に用いた試料は、p 型および n 型シリコン基板の直接張り合わせによって p-n 接合が形成された試料であり、形状像からおおまかな接合位置が同定可能である。DEFM では、異なる二つの角周波数  $\omega_1, \omega_2$  の交流バイアスを同時に印加した際に探針-試料間に作用する静電引力のうち、角周波数  $\omega_2 - 2\omega_1$  の成分から  $\partial^2 C / \partial z \partial V$  ( $C$ : 探針-試料間の合成静電容量,  $z$ : 探針-試料間距離,  $V$ : 探針-試料間電圧) が評価される。低周波測定として  $(\omega_1/2\pi, \omega_2/2\pi) = (10, 21)$  kHz, 高周波測定として  $(\omega_1/2\pi, \omega_2/2\pi) = (1000, 2001)$  kHz の交流バイアスを印加し、カンチレバー振動の周波数シフト信号から 1 kHz ( $= (\omega_2 - 2\omega_1)/2\pi$ ) 成分をロックイン検出することで得られた DEFM ( $\partial^2 C / \partial z \partial V$ ) 像を Fig. 1 に示す。交流バイアスの変調電圧 ( $V_1, V_2$ ) は (3.0, 1.5) V<sub>pp</sub> とした。

Fig. 1(b) より、高周波測定では p, n 領域のそれぞれで DEFM 信号がほぼ一定値となっており、画像から見積もられる空乏層幅もキャリア密度から計算された値とほぼ一致していることから、バルク内部に近い状態が評価できていると考えられる。低周波測定 (Fig. 1(a)) では、特に p-n 接合界面から離れた領域において、信号強度が高周波測定より低かった。これは、Si と表面自然酸化膜の界面の準位によるフェルミ準位ピンニングの影響によるものと考えられる。また、低周波測定では p-n 接合界面からの距離に依存して信号強度が変化していることが確認された。この原因として、直接貼り合わせ界面に存在する界面準位の影響を考えており、今後、詳細な検討を進める。

本研究の一部は JSPS 科研費 JP17H02783 の助成を受けて行われた。

[1] R. Fukuzawa and T. Takahashi, *Review of Scientific Instruments*, **910**, 023702 (2020).

[2] 重川 直輝, 梁 劍波, 電子情報通信学会論文誌, **J103-C**, 341-348 (2020).

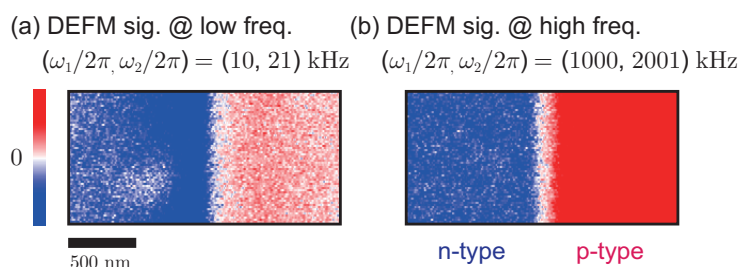


Fig.1 直接貼り合わせ Si p-n 接合断面上での DEFM ( $\partial^2 C / \partial z \partial V$ ) 像