

Multi-pulse 変調を用いた光熱モード AFM による 非発光再結合の変調周波数依存性測定

Investigation of modulation frequency dependence of non-radiative recombination by PT-AFM using multi-pulse modulation

○山田 綾果¹、高橋琢二^{1,2}(1. 東大生研、2. 東大ナノ量子機構)

○Ayaka Yamada¹ and Takuji Takahashi^{1,2} (1.IIS & 2.NanoQuine, The University of Tokyo)

E-mail: ayaka-y@iis.u-tokyo.ac.jp

太陽電池のような半導体デバイスでは、光励起キャリアの非発光再結合は損失に直結する。このような非発光再結合現象を局所的に観測する手法として、我々は光熱モード原子間力顕微鏡 (PT-AFM) [1]を提案し、多結晶太陽電池材料に適用してきた。従来は、図 1(a)のように単純な励起光のオン・オフ変調 (周期 $1/f_s$) を行って、それに同期した熱膨張と収縮の差分を光熱信号 (PT 信号) として抽出してきた。一方、変調周波数を変えることで、熱膨張の時定数、すなわち、非発光再結合の時定数、などの議論が可能になると考えられるが、従来手法では測定系自体の周波数応答に影響されてしまい、正確な変調周波数依存性が測定できなかった。そこで、以前に我々が提案した photo-assisted KFM[2]で用いたものと同様の multi-pulse 変調法 (図 1(b)) を導入することにより、PT 信号の可変周波数測定の実現を目指した。ここでは、 f_s は一定とした上で、光照射期間を更に細かなパルス群 (周期 $1/f_p$) に分割し、 f_p を変えた時のこの区間での平均熱膨張量を元にして周波数依存性を議論する。

本測定では、自己検知型カンチレバーを用いたタッピングモード AFM を使用し、PLL によって検出されるカンチレバー振動の位相から f_s に同期する変化分をロックインアンプにて抽出して、それを PT 信号としている。試料には CdS/Cu(In,Ga)(S,Se)₂ を用い、界面不活性化効果があると期待される Cs 処理を施したものと、未処理のものの 2 種類を用意した。これらの試料での PT 信号の f_p 依存性を図 2 に示す。1~100 kHz の間では、周波数の増加に伴って PT 信号も増大しており、熱膨張の時定数が収縮の時定数よりも短く、また、その値は $1/f_p$ に対しても同等もしくはそれ以下であることを示している。一方、1 MHz 近くでは、未処理の試料ではさらに PT 信号が増大しているのに対して、Cs 処理を施した試料で PT 信号が減少している。これらの結果は、未処理試料では表面から浅い位置にある界面準位を介した非発光再結合による熱発生が生じており、これが短い時定数での熱膨張として観測されているのに対して、Cs 処理試料ではこれが抑制されたために、1 MHz に近い周波数での変調には熱膨張が追従できなくなったことを示していると考えている。

本測定に用いた試料は出光興産株式会社から提供していただいた。また、本研究の一部は JSPS 科研費 JP17H02783 の助成を受けて行われた。

[1] K. Hara and T. Takahashi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **48** 08JB22 (2009).

[2] T. Takahashi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **50**, 08LA05 (2011).

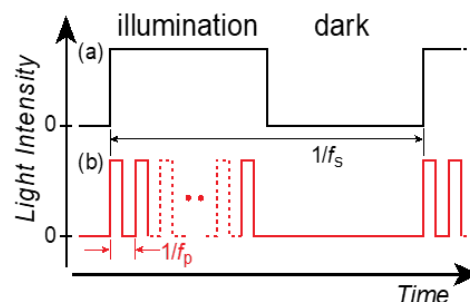


図 1: (a) 方形波変調と

(b) multi-pulse 変調

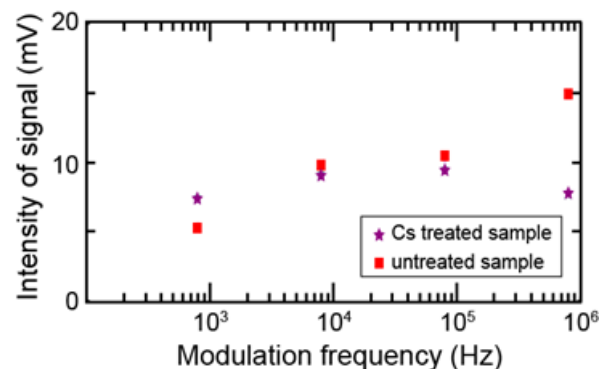


図 2: PT 信号強度の変調周波数依存性