

瞬時周波数法時間分解静電気力顕微鏡による 有機薄膜トランジスタにおけるキャリア挙動可視化

Visualization of Carrier Dynamics in Organic Thin-Film Transistors by Time-resolved Electrostatic Force Microscopy

京大工 院南 皓一, 小林 圭, 山田 啓文

Dept. of Electronic Sci. & Eng., Kyoto Univ.

°Kouichi Innami, Kei Kobayashi, Hirofumi Yamada

E-mail: innami.kouichi@piezo.kuee.kyoto-u.ac.jp

【背景】有機薄膜トランジスタ (OTFT) を中心とする有機デバイスの高性能化のためには、微視的スケールでの有機薄膜へのキャリア注入・排出機構を解明することが必要不可欠である。われわれは、時間分解静電気力顕微鏡 (tr-EFM) [1,2] を用いて OTFT におけるキャリアの過渡応答の可視化に取り組んでいる。最近、瞬時周波数法を用いた tr-EFM により、数 μs 程度の時間分解能で OTFT のキャリア応答を可視化することに成功した[2]。瞬時周波数法は、カンチレバーの振動波形を記録しておき、ヒルベルト変換により得られた解析信号の位相微分によりカンチレバーの振動周波数の変化 (瞬時周波数) をオフライン解析する手法である。本研究では、瞬時周波数法と、位相同期ループ (PLL) を用いてカンチレバーの振動周波数の変化をリアルタイム検出する PLL 法の両方を用いて OTFT におけるキャリア応答の可視化に取り組み、瞬時周波数法の優位性について検討を行った。

【実験と結果】ペンタセン薄膜を活性層に使用したボトムゲート・ボトムコンタクト型 OTFT (チャネル長約 $1.3\ \mu\text{m}$) を測定試料とした (Fig. 1)。ソース・ドレイン電極を接地し、ゲート電極へパルス電圧 ($-10\ \text{V}$,

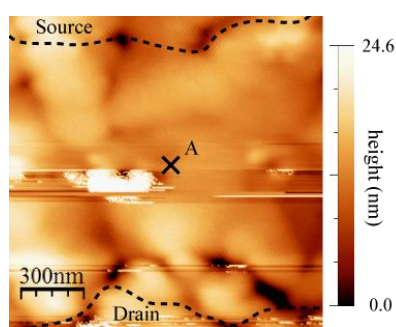


Fig.1: Topographic image of OTFT.

5 ms) を印加し、チャネル上で tr-EFM 測定を行った。Fig. 1 中の点 A における、瞬時周波数法を用いることで得られた共振周波数の時間変化を Fig. 2(a) に、PLL 法によって得られた共振周波数の時間変化を Fig. 2(b) に示す。いずれの波形においても、立ち上がり (チャネルのターンオン) 立ち下がり (ターンオフ) 直後において共振周波数が変化していることがわかる。ターンオン時の共振周波数の変化は瞬時周波数法では約 70 Hz、PLL 法では約 50 Hz となっており、ターンオフ時における共振周波数の変化はそれぞれ瞬時周波数法では約 400 Hz、約 250 Hz となった。また Fig. 2 に矢印で示した周波数応答は $\Delta f_0 \exp(-t/\tau)$ でフィッティングすることができ、それぞれ緩和時間 (τ) は約 $80\ \mu\text{s}$ 、約 $300\ \mu\text{s}$ となった。瞬時周波数法ではより高速な共振周波数の変化の成分をとらえているのに対し、PLL 法では PLL の応答速度によって制限されていることが分かる。

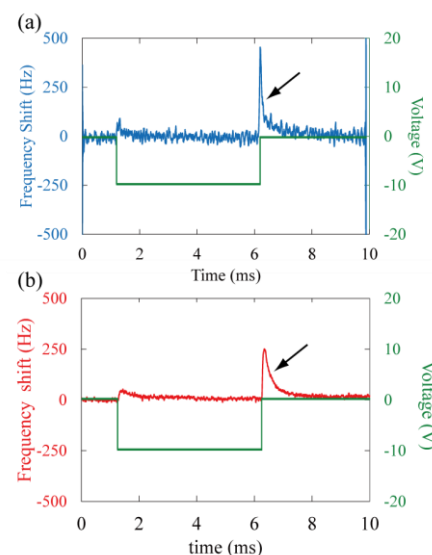


Fig.2: (a) Instantaneous Frequency shift of the cantilever calculated by numerical analysis of the cantilever oscillation waveform. (b) Frequency shift demodulated using a phase-locked loop (PLL). The Green profile shows a waveform of a gate voltage pulse.

[1] D. U. Karatay, J. S. Harrison, M. S. Glaz, R. Giridharagopal, and D. S. Ginger, *Rev. Sci. Instrum.*, **87**, 053702

(2016).[2] 山岸 他, 第 63 回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-W631-7 (2016).