

光 STM を用いた p-n 接合中を流れる順方向電流の実空間イメージング

Real-space imaging of carrier flow in the forward biased p-n junction by laser combined Scanning Tunneling Microscopy

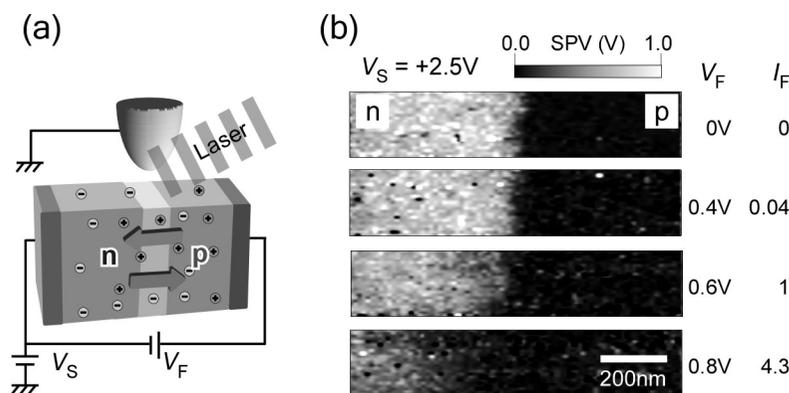
筑波大・物理工、CREST 吉田 昭二、蟹谷 裕也、大島 隆治、武内 修、岡田至崇、重川 秀実

Univ. of Tsukuba, Inst. of Appl Phys, CREST S. Yoshida, Y. Kanitani, R. Oshima, O. Takeuchi, Y. Okada and H. Shigekawa

email: yoshida@ims.tsukuba.ac.jp http://dora.bk.tsukuba.ac.jp

半導体デバイスは微細化技術の進展によりナノスケール領域に到達し、不均一なドーパント分布や界面のラフネスなどのミクロスコピックな特性に加えて、ミクロスコピックな視点から動作特性を解析できる計測手法が必要とされ、電子顕微鏡、走査プローブ顕微鏡を応用した様々な測定手法が開発されている。そのため我々は、これまでに光 STM による表面光起電力(SPV)測定を通して半導体の局所バンド構造を解析する手法の研究を行ってきた。通常 STM では印加するトンネル電圧により探針直下で局所的なバンドベンディング(Tip-Induced Band Bending = TIBB)が誘起されるが、探針-試料間に光を照射すると TIBB が緩和され、SPV が発生する。そのため STM により計測される SPV はトンネル電圧に依存し、その特性はナノスケールの局所的なドーパント分布、仕事関数とともに、光や外部電圧により注入されたキャリア量を反映する。今回は真空中で劈開した GaAs p-n 接合上で SPV 計測を行い、p-n 接合界面でのドーパントプロファイルや、光照射により誘起された内蔵電位の変化を 10nm の空間分解能で計測可能であることを示した。今回は、図(a)に示すように、通常のトンネル電圧(V_S)に加えて、p-n 接合両端に形成した電極間に印加する動作電圧 V_F を設けることにより順方向電圧を印加した状態で測定を行い、p-n 接合中を流れる順方向電流 I_F の空間分布測定を行った。

図(b)には、p-n 接合界面近傍で得られた SPV 像($V_S = +2.5V$)の順方向電圧による変化を示す。試料正バイアスでは、TIBB は n 型で大きくなり、p 型ではほとんどゼロになるため、 $V_F = 0V$ では p-n 接合界面では SPV の急峻な変化が観察される。しかし順方向電圧を印加すると、n 型中性領域に少数キャリアの正孔が拡散し始める拡散領域($V_S > 0.4V$)から p-n 接合界面付近より SPV が減少しはじめ、 V_S が 0.6V 以上の少数キャリアの高注入領域では、広い領域に渡って SPV の減少が観測される。この SPV の減少は、少数キャリアにより探針-試料間の電界が遮蔽され、TIBB が減少することに対応しているため、得られた SPV の空間分布は、注入された少数キャリアの密度分布と対応する。また、中性領域を拡散する少数キャリア(正孔)は多数キャリア(電子)と再結合消滅するため、p-n 界面から遠ざかるにつれて SPV は元の値($V_F = 0V$)に漸近する。さらに、SPV 像から求めた少数キャリアの拡散長は、拡散領域では理論値とよい一致を示すが、高注入領域では中性領域に電位の勾配が生ずるため、電界ドリフトによって拡散長が見かけ上大きくなることが確認された。以上のように、本手法はデバイス動作中の電流分布を実空間で計測することが可能であり、半導体ナノデバイスの動作解析手法として非常に有効であると考えられる。



図(a) SPV 測定の様式図 (b) p-n 接合界面におけるトンネル電圧 $V_S = +2.5V$ での SPV マッピングと順方向電圧(V_F)依存性。右に同試料で計測した順方向電流 (I_F)の相対値を示す