

半導体伝導キャリアの動的観察から、 デバイス設計のフィードバックへ

福本恵紀

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

半導体デバイスの動作性能は、伝導キャリアの輸送特性に依存する。デバイスを評価する上で、ナノスケールの構造欠陥、オーミック・ショットキーやpn接合面、また、酸化膜-半導体界面などでのキャリア輸送特性が重要であり、その時間スケールは、100 fs 程度のエネルギー緩和過程やマイクロ秒スケールの電子-正孔再結合など様々である。そこで、半導体中のキャリア動的過程が可視化できる時間分解光電子顕微鏡 (Time-resolved photoemission electron microscopy: TR-PEEM) を開発した [1-4]。照射により励起した電子の時間・空間分解計測の概略図を図1に示す。ここで、試料は GaAs 基板である。

これまでに、半導体ナノ構造 (ナノスケール構造欠陥 [2,5], 量子ドットやナノワイヤ [6]) やグラフェン中 [7] のキャリア寿命を観測している。さらに、電場勾配により伝搬する電子バンチの可視化による電子のドリフト速度、および、易動度の計測に成功している [1]。また、この計測システムは、仕事関数、キャリア濃度、および、バンドギャップのマッピングも可能であることが明らかとなり、新規な半導体評価手法として2件特許出願している [3,4]。

比較的簡便なシステムでありながら、これまで測定装置の限界のため見過ごされてきた局所的なキャリア輸送特性の可視化が可能となり、複数の民間企業、および、国内外の大学の半導体材料開発グループとの共同研究が始まっている。パワー半導体を始めとし、グラフェン、トポロジカル絶縁体やカルコゲナイドなどの2次元層状物質を材料とした電子・光電デバイスのオペランド観察がデバイス改良・開発する上で今後の重要な課題である。

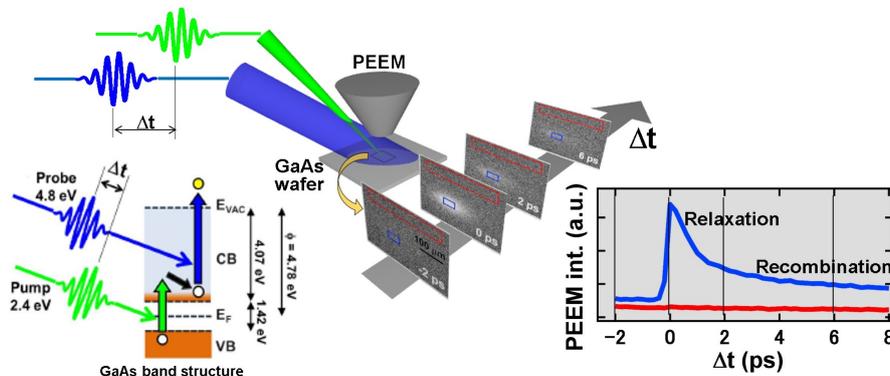


図1 時間分解光電子顕微鏡による半導体中キャリアの時間・空間分解計測の概略図。2.4 eV のポンプ光により励起された電子の空間分布をイオン化エネルギー以上のエネルギーを持つプローブ光により検出・イメージングする。

- [1] Fukumoto *et al.*, Appl. Phys. Lett. **104**, 053117-053121 (2014).
- [2] Fukumoto *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **85**, 083705-083710 (2014).
- [3] 特開 2016-138801, 福本恵紀, 他, 公開日: 2016年8月4日.
- [4] 特願 2017-037139, 福本恵紀, 他, 出願日: 2017年2月28日.
- [5] Fukumoto *et al.*, Appl. Phys. Express **8**, 101201-101204 (2015).
- [6] Fukumoto *et al.*, Proc. of 19th Ultrafast Phenomena, 337-340 (2015).
- [7] Fukumoto *et al.*, Carbon **124**, 49-56 (2017).