

# 1次元／2次元複合電子デバイスによるTHz帯単一光子検出器の開発

河野 行雄 (理化学研究所)

## 1. 背景

テラヘルツ (THz) 電磁波領域は、エレクトロニクスを駆使した電子制御の高周波限界であり、オプティクスを駆使した光制御の低 (光子) エネルギー限界でもある。そのため、THz 領域は取り残された“最後の砦”になっており、この電磁波の発生や検出にはこれまでにない新しい物理・化学機構やデバイス構造が要求される。ところが近年になり、物質中電子、生体系高分子、天体系星間物質からの極微弱な THz 放射の検出が、物質における新現象・新機能の発見、生命活動や宇宙創生の謎の解明につながると期待されている。したがって、高性能な THz 検出技術は現代科学のフロンティアに大きく貢献する基盤要素技術となり得るため、現在その創出が強く望まれている。

筆者はこれまでに (1) オールインワンチップ構造による近接場 THz イメージングの開発<sup>1-4</sup> (図1)、(2) THz 計測<sup>5</sup>・電位分布計測<sup>6-9</sup>による半導体 (図2) やグラフェン (図3) の物性研究<sup>5,10-12</sup>を行い、THz イメージングの回折限界を超える高空間分解能化、ならびに上記物質における電子の時空間特性の解明を行った。

本研究では、検出器の高性能化を目指す。具体的には、1次元電子系と2次元電子系の複合構造を作製することで、THz 帯におけるシングルフォトン検出を目指す。1次元電子材料として、自然形成による微細構造を持つカーボンナノチューブや半導体ナノワイヤを用いることで、量子検出限界に迫る高温動作を可能にする。

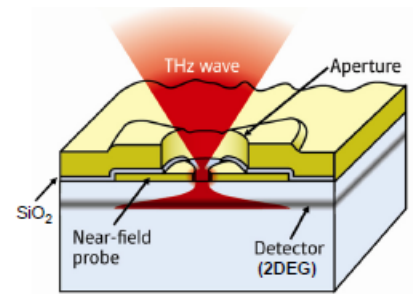
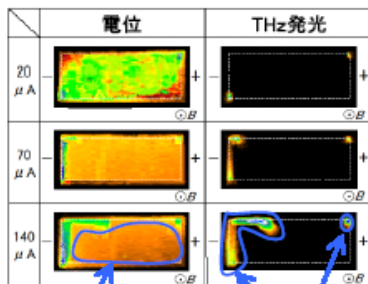
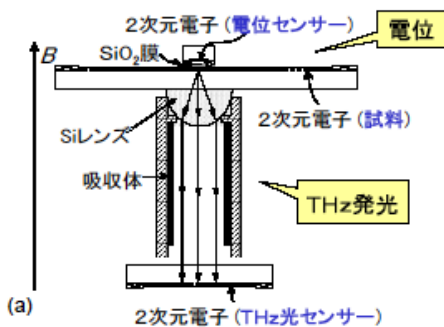


図1. 開発した近接場THzイメージングの概念図。



(b) 基底準位の電子分布 励起準位の電子分布

図2. (a)THz発光・電位の同時イメージング計測の概念図。(b)量子ホール系における電位とTHz(サイクロトロン)発光の空間分布。

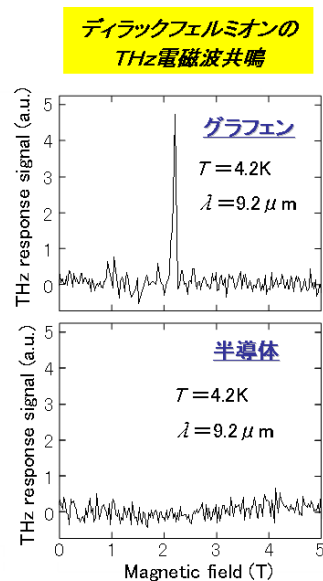
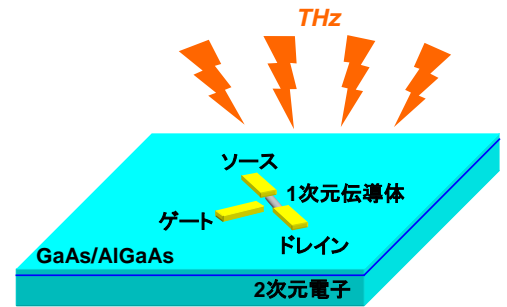
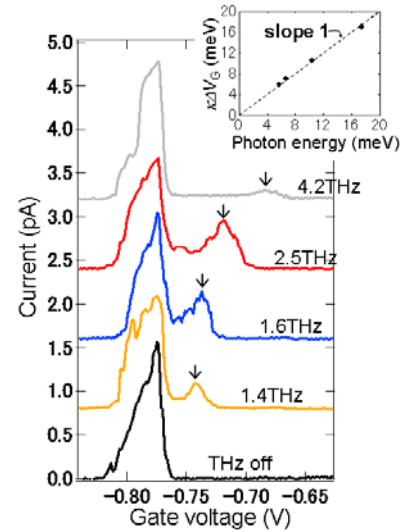


図3. グラフェン(上)と GaAs/AlGaAs (下)の THz 応答信号の磁場依存性。

## 2. 検出のアイデア

以前の研究で、カーボンナノチューブ量子ドット単体による検出器を開発した<sup>13</sup>。これは、THz波と量子ドットとの結合による電子トンネリング（光子支援トンネリング）を利用したものである（図4）。この場合、波長よりも小さなサイズのカーボンナノチューブで受光するため、外部量子効率が悪い。また仮に量子効率100%としても、1光子吸収で1電子励起が基本となり検出に光量を必要とするため、検出感度に限界があった。

それに対して本研究で開発する検出器は、2次元電子ガス中でTHz光励起された電子-正孔ペアがもたらす電気的分極を、1次元電子材料による単電子トランジスタで高感度に検出するという原理に基づく<sup>14</sup>（図5）。単電子トランジスタが単一電子レベルの超高感度電荷計として働くことを利用して、単一電子-正孔励起、すなわち単一光子の検出を行う。また上記の材料を用いた単電子トランジスタが高温で動作することを利用して、THz電磁波量子検出の高温限界に迫る性能を目指す。



## 参考文献

- [1] Y. Kawano and K. Ishibashi, *Nature Photonics* **2**, 618 (2008).
- [2] 河野 行雄、日本光学会誌「光学」**38**, 81 (2009) (巻頭口絵)
- [3] Y. Kawano, *Laser Focus World* Vol. 45, Issue 7 pp. 45-47, 50 (2009). (Review)
- [4] 河野 行雄、石橋 幸治：特願 2008-178041、米国特許出願 12/351208
- [5] Y. Kawano and T. Okamoto, *Phys. Rev. Lett.* **95**, 166801 (2005).
- [6] Y. Kawano and T. Okamoto, *Appl. Phys. Lett.* **84**, 1111 (2004) (Cover page).
- [7] Y. Kawano and T. Okamoto, *Appl. Phys. Lett.* **87**, 252108 (2005).
- [8] 河野 行雄、「応用物理」“最近の展望”**76**, 269 (2007)
- [9] 河野 行雄、石橋 幸治：特願 2009-204383
- [10] Y. Kawano and T. Okamoto, *Phys. Rev. B* **70**, 081308(R) (2004).
- [11] 河野 行雄、「固体物理」**39**, 919 (2004).
- [12] 河野 行雄、石橋 幸治：特願 2009-27537
- [13] Y. Kawano, T. Fuse, S. Toyokawa, T. Uchida, and K. Ishibashi, *J. Appl. Phys.* **103**, 034307 (2008).
- [14] 河野 行雄、石橋 幸治：特願 2008-222980、米国特許出願 12/551918