

## THz 電場誘起ゼナートンネリングがもたらす発光現象

## Bright Luminescence Caused by THz Induced Zener Tunneling

京大 iCeMS<sup>1</sup>, CREST JST<sup>2</sup>, 京大院理<sup>3</sup>, 原子力機構<sup>4</sup>, 東大物性研<sup>5</sup>, プリンストン大<sup>6</sup>○廣理 英基<sup>1,2</sup>, 篠北 啓介<sup>1,2</sup>, 向井 佑<sup>3</sup>, 内田 健人<sup>3</sup>, 田中 耕一郎<sup>1,2,3</sup>, 乙部 智仁<sup>4</sup>,望月敏光<sup>5</sup>, 金 昌秀<sup>5</sup>, 吉田 正裕<sup>5</sup>, 秋山 英文<sup>5</sup>, L. N. Pfeiffer<sup>6</sup>, K. W. West<sup>6</sup>iCeMS, Kyoto Univ.<sup>1</sup>, Dept. Phys., Kyoto Univ.<sup>2</sup>, CREST JST<sup>3</sup>, JAEA<sup>4</sup>, Univ. of Tokyo<sup>5</sup>, Princeton Univ.<sup>6</sup>○H. Hirori<sup>1</sup>, K. Shinokita<sup>1</sup>, K. Uchida<sup>2</sup>, Y. Mukai<sup>2</sup>, K. Tanaka<sup>1,2,3</sup>, T. Otobe<sup>4</sup>,T. Mochizuki<sup>5</sup>, C. Kim<sup>5</sup>, M. Yoshida<sup>5</sup>, H. Akiyama<sup>5</sup>, L. N. Pfeiffer<sup>6</sup>, K. W. West<sup>6</sup>

E-mail: hirori@icems.kyoto-u.ac.jp

高周波高電場下における半導体中のキャリアダイナミクスの研究は、キャリアの輸送現象や励起状態における多体効果といった固体物理学の中心的な課題を含み、応用面においても最適な高速電子デバイスの設計指針を与える上で重要である。近年、テラヘルツ (THz) パルス光発生の高強度化に伴いピコ秒という極めて短い時間に 1MV/cm に迫る高電場を試料に印加できるようになり[1]、従来破壊的効果のために測定そのものが難しかった高電場現象について新たな知見が得られるようになってきた[2,3]。とくに衝突イオン化やゼナートンネリングといった現象は、様々な電子・光電子デバイスへと応用されているが、キャリア生成という同種の効果を引き起こすために区別が難しく、高電場で変調されるバンド構造や有効質量との関係は未解明である。

本研究では高強度 THz パルスを[1]、金属メタマテリアル構造を施した高品質 GaAs 量子井戸に照射し、試料内部で約 1MV/cm に増強することでキャリアを生成し、これにともなう発光を観測した。図 1 は量子井戸層からの発光強度を THz 電場に対してプロットしたものである。下軸の電場  $E_{int}$  は、時間領域差分法(FDTD)によって計算した GaAs 量子井戸位置での電場値である。約 0.5MV/cm で発光強度は急激に立ち上がり、4 乗のべき乗則に従い極めて非線形に増加することがわかった。衝突イオン化によるキャリア生成確率は、試料の欠陥や不純物の量に強く依存することが知られている[4]。実際に今回の高品質試料では、別の光パルスで生成した光キャリアは THz 電場照射によって増幅されず、衝突イオン化が著しく抑制されていると考えられ、今回のキャリア生成メカニズムとしてゼナートンネリングが主な原因であることを示唆している。

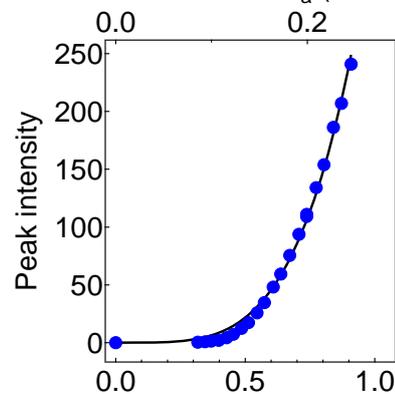
[1] H. Hirori et al., Appl. Phys. Lett. **98**, 091106-1-091106-3 (2011).[2] H. Hirori et al., Nat. Commun. **2**, 594-1-594-6 (2011).[3] O. Schubert et al., Nature Photon. **8**, 119-123 (2014).[4] K. Shinokita, H. Hirori et al., Phys. Rev. Lett. **111**, 067401-1-067401-5 (2013).Incident electric field  $E_a$  (MV/cm)Internal electric field  $E_{int}$  (MV/cm)

図 1 発光強度の THz 電場依存性。上軸:入射 THz パルスの最大ピーク電場。下軸: GaAs 量子井戸位置における電場。実線は 4 乗のべき乗曲線。