

平成 18 年 6 月 28 日

**プラズモン共鳴を利用した新原理半導体電子デバイスで
室温動作テラヘルツ帯電磁波放射に成功**

東北大学 電気通信研究所
ブロードバンド工学研究部門 超ブロードバンド信号処理研究分野
尾辻研究室 教授 尾辻泰一
E-mail otsuji@riec.tohoku.ac.jp

<概要>

電波と光波の境界域にあるテラヘルツ帯は、長らく未踏周波数領域とされてきたが、近年、広帯域光源や高感度検出素子の開発が急速に進み、テラヘルツイメージングに代表される物質同定・生体計測などの産業応用に向けて、大きな展開を見せ始めている。しかしながら、これらのシステムはいずれもテーブルトップの装置サイズを必要としていた。この魅力あるテラヘルツ帯を超高速通信など次世代の情報通信技術へ有効利用を図るためには、現在のマイクロプロセッサなどの LSI 技術のように、小型・集積化が可能でかつ室温で動作するデバイス技術の開発が不可欠であり、新たなデバイスの創出が望まれていた。

今回、東北大学電気通信研究所の尾辻泰一研究グループは、北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センターの佐野栄一研究グループと共同で、化合物半導体によるナノ加工プロセス技術を利用して 2 次元プラズモンの共鳴効果という従来にない新しい動作原理を利用した集積型のテラヘルツ光源デバイスを試作し、室温環境下で素子からのテラヘルツ帯電磁波放射の観測にはじめて成功した。この素子は、光通信に利用される赤外線レーザーを照射してプラズモンを励起し、レーザー光に含まれるテラヘルツ帯の周波数成分に同調した電磁波を放射することができる（図 1, 2 参照）。

従来、2 次元プラズモンの共鳴効果自体は自明の物理現象であり、極低温下で観測されてきた。デバイス応用への提案も過去になされてきたが、熱による散乱のために室温での有効利用には至っていなかった。今回の室温動作成功の決め手となったのは、2 重回折格子型ゲートと呼ばれる櫛状になった特殊なゲート電極構造と、素子表面の活性層と素子裏面の透明金属電極膜とで形成された縦型共振器構造を特徴とする独自の素子構造にある。特殊なゲート電極構造は、プラズモンの励振からテラヘルツ電磁波放射に至る一連の量子効率の大幅な改善に寄与し、縦型共振器構造は、レーザー共振器と類似の利得増強作用をもたらす。電気光学サンプリングと呼ばれる特殊な測定技術を用いて、素子から放射されるテラヘルツ帯の電界振動成分の検出に成功した（図 3, 4, 5 参照）。

この成果により、テラヘルツ光源はラップトップサイズからマイクロチップサイズに劇的にスケールダウンし、しかもチップ内部では複雑な信号処理までこなすことが可能となる。テラヘルツ帯を信号処理の中核として活用することが可能になり、光通信と無線通信の完全なリンクをたった 1 個のマイクロチップで実現することも夢ではなくなる。

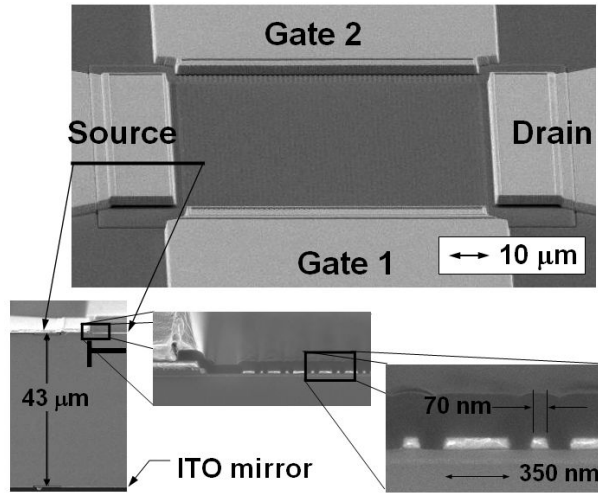


図1. 試作した素子の電子顕微鏡像.

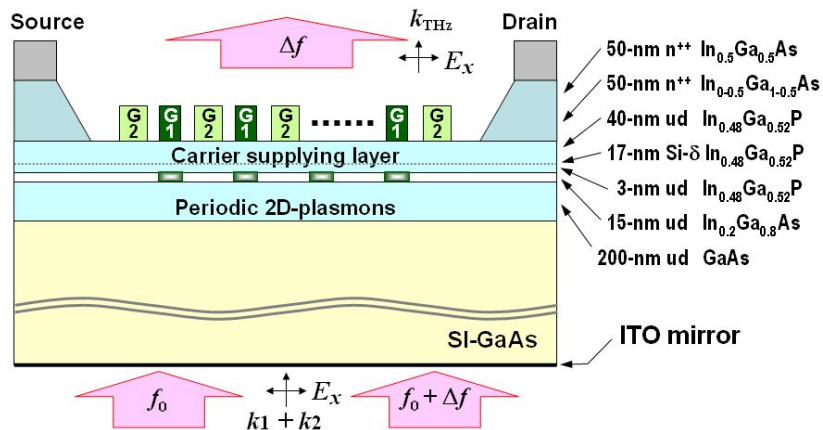


図2. 試作した素子の断面構造.

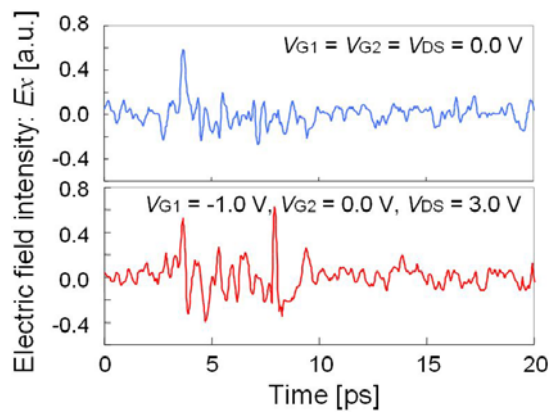


図3. フェムト秒レーザーパルス照射時に素子から放射された電磁波パルスの時間応答波形。
 上: バイアス電圧を印加していない非動作状態 (照射光に対応した単周期パルス応答のみ)
 下: バイアス電圧を印加した動作状態 (4ps 付近の主パルスに続いて共鳴振動が生じている)

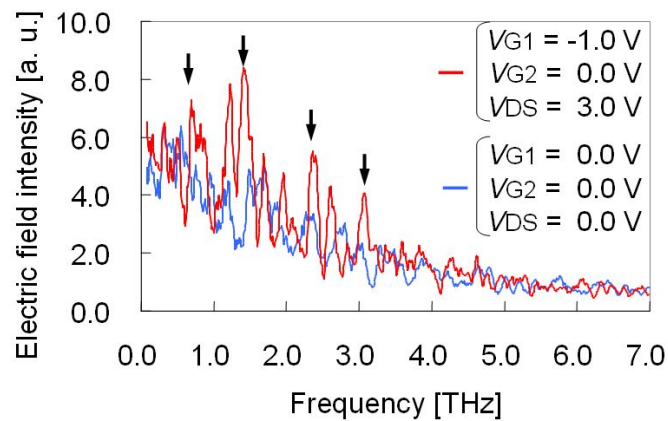


図4. 時間応答からフーリエ変換で求めた放射電界強度の周波数スペクトル.

青: 非動作状態 (単調減少特性)

赤: 動作状態 (プラズモン共鳴に対応したスペクトルピーク (矢印) を観測)

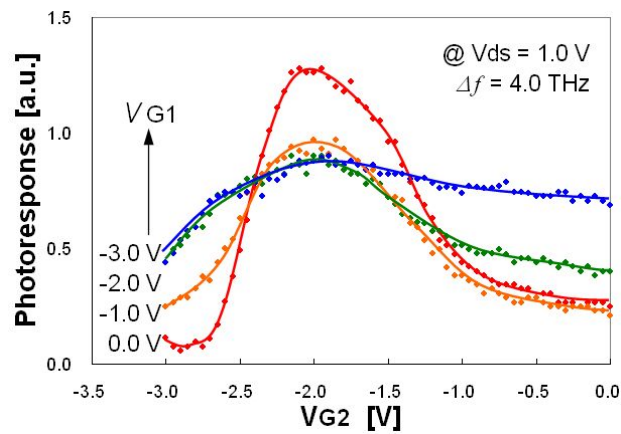


図5. 光通信用連続発振 (CW) レーザ 2 光波を差周波 4 THz に設定して照射した際の光応答. 2 つのゲートバイアス: V_{G1} , V_{G2} を適切に設定すると, 素子の光応答には明瞭なピークが生じる. 図 3, 4 の実験結果より, このとき, 4 THz のコヒーレントな電磁波が放射されているものと期待される.