

NEWS RELEASE

報道関係者 各位

2014年2月10日
 国立大学法人 東京農工大学

世界初！半導体チップ上で テラヘルツ波の粒を発生・伝送・検出することに成功

国立大学法人東京農工大学 大学院工学研究院先端物理工学部門の生嶋健司准教授は、電気駆動により、半導体チップ上でテラヘルツ波（周波数 10^{12} Hz の電磁波）の粒を約 50 %の伝送効率で発生、伝送、検出することに成功しました。この成果により、半導体チップ上の金属配線を伝わる電気信号を光の粒として検出可能であることが示され、今後、量子情報を伝達・演算する集積光子回路の実現につながることを期待されます。なお、本成果は科学技術振興機構（JST）さきがけ（<http://www.jst.go.jp/kisoken/presto/index.html>）および日本学術振興会科学研究費補助金の援助を受けて行われたものです。

本研究成果は、2月7日に米国応用物理雑誌「Applied Physics Letters」電子版に掲載されました。
<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/apl/104/5/10.1063/1.4864168>

掲載誌：「Applied Physics Letters」

論文名： "Generation, transmission, and detection of terahertz photons
 on an electrically driven single chip"

著者： K. Ikushima, A. Ito and S. Okano

現状：電子や光は「波」でも「粒子」でもあると理論づけた量子力学において、未来技術として注目されるのが量子情報技術（注1）です。電子による量子ビット（注2）は制御性や集積化に向いていますが、ノイズ耐性に弱いことが知られています。一方、光の粒（光子：注3）は環境との相互作用がほとんどないことから、電子に比べてノイズ耐性に優れています。したがって、電子のように光子を電気駆動により固体チップ上で制御することが可能になると、将来の量子コンピュータ実現に向けて大きな可能性が広がると考えられます。しかしながら、これまで固体チップ上で電気駆動により光子を発生から伝送、検出の過程まで制御するようなことはできませんでした。

電磁波の粒子と波動の二重性において、波動性を特徴づける「波長」が長くなると、粒子性を特徴づける「光子エネルギー」は小さくなる関係にあります。エレクトロニクスの技術を活用すると、マイクロ波に代表される“電波”は波長が長いので、半導体チップ上の金属平面導波路により“電波”を効率よく伝送することが可能です。しかしながら、光子エネルギーが小さいため、光の粒として検出することが困難でした。一方、光子エネルギーが大きい“光”の領域では粒子性を検出することは可能ですが、波長が短いため、半導体チップ上の導波路の伝送効率は十分ではありませんでした。

研究成果：生嶋健司准教授らのグループは、“光”と“電波”の狭間にあるテラヘルツ周波数帯（ 10^{12} Hz）の電磁波（テラヘルツ光、またはテラヘルツ波ともいう）において、波動性と粒子性の両方を制御する半導体素子の開発に取り組みました。この半導体チップは、ガリウム砒素とガリウムアルミニウム砒素化合物半導体の積層構造（ヘテロ構造）で作製されています。発光部は、量子ホール効果（注4）を利用したテラヘルツ発光ダイオードで構成され、テラヘルツ波の波長（ガリウム砒素内で約 38 μm ）以下の微小な点光源となります。この点光源に、テラヘルツ波帯用に設計された平面ストリップラインを結合させ、同一基板上に作製された光子検出部まで配線しました。光子検出部は、単電子トランジスタ（注5）として動作する量子ドット（注6）を用いています。このオールインワンチップにより、電気駆動でテラヘルツ周波数帯の光子を発生させ、約 50 %の伝送効率で 0.5 mm の距離に渡って伝送した光子を検出することに成功しました。

今後の展開：今回の集積テラヘルツ回路における光子の発生・伝送・検出によって、電気駆動で固体チップ上の光の量子実験が可能であることを証明しました。今後、テラヘルツ共振回路やテラヘルツ干渉回路等を集積化し、光子を基本要素とした量子演算素子の実現に向けた研究を進めます。

図1 研究の概念図

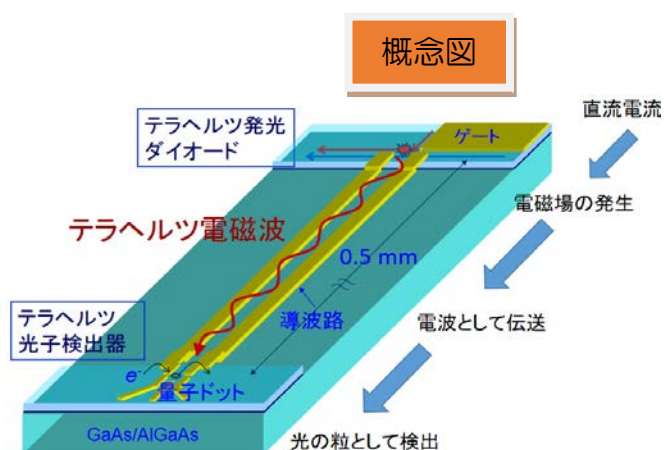
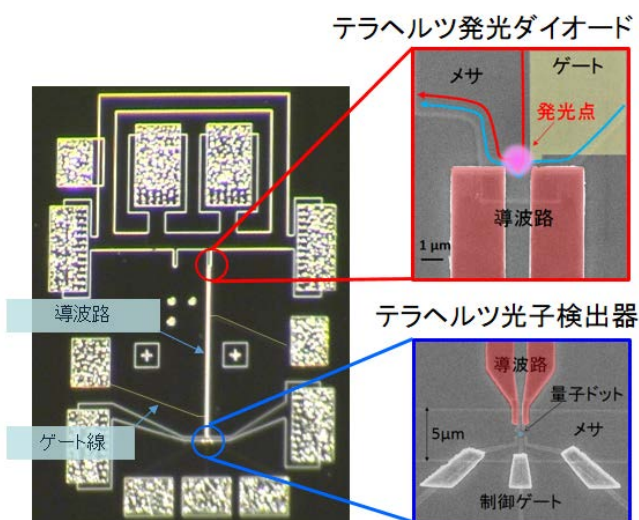


図2 作製された半導体チップ



■用語解説■

(注1) 量子情報技術

量子力学的性質を活用できれば、遠く離れた場所へ一瞬で情報を伝える量子テレポーテーションや、現在のコンピュータでは何億年もかかる問題を超並列計算で一瞬にして解く量子コンピュータ、決して盗聴できない絶対安全な量子暗号システムなど、従来の情報技術では想像もしなかったようなことが可能になるといわれている。

(注2) 量子ビット

量子情報技術で扱われる情報の最小単位のこと。

(注3) 光子

量子論により光（電磁波）の粒子的側面を説明するために導入された、光の最小エネルギー単位。光は、波動としての性質とともに粒子としての性質をもつと考えられている。そのため、光強度の弱い極限では光を一粒ずつ数えることができる。光子1個のエネルギーは波長に反比例する。したがって、可視光・近赤外光などの“光”に比べて、“電波”は光子のエネルギーが圧倒的に小さく、光子検出は極めて困難である。本研究の成果により、人類史上で最も電波に近い領域で、固体上を伝搬する光子の計測を可能にした。

(注4) 量子ホール効果

半導体界面に形成される2次元電子層に低温で強い磁場を加えると、電流方向の抵抗がゼロになり、ホール抵抗が量子化する現象。ここで、ホール抵抗とは、磁場によるローレンツ力の影響で生じる、電流に対して垂直方向の抵抗のこと。

(注5) 単電子トランジスタ

量子の世界に特有のトンネル効果を利用して、電子を1個ずつ制御するトランジスタ。電子1個分の微小な電荷で電流を制御できる特徴をもつ。

(注6) 量子ドット

半導体や金属において、微細加工あるいは結晶成長により、微小領域に電子を閉じ込めた電子系。人工原子とも呼ばれる。

◆研究に関する問い合わせ◆

東京農工大学大学院工学研究院
 先端物理工学部門 准教授
 生嶋 健司 (いくしま けんじ)
 TEL/FAX : 042-388-7120