

量子ドット・井戸を利用した THz波チューナー実用化に向けた試み

広島市立大学 大学院情報科学研究科
システム工学専攻
准教授 福島 勝

令和2年12月15日

解決すべき課題

ネットワークの高度化やセンサー技術の進歩による IoT の拡大に伴い、
今後、**データ流通量の爆発的増加への対応**
が必要とされる。

IoT の例



データ流通量爆発的増加の実例 :

大学でも、COVID19 による
オンライン授業開始時の4-5月、
昨今のクラウド化の影響もあり、
通信トラフィックが増大し、
授業に支障をきたした
とのニュースがあった。

IoT : Internet of Things

解決すべき課題

ネットワークの高度化やセンサー技術の進歩による IoT の拡大に伴い、
今後、**データ流通量の爆発的増加への対応**
が必要とされる。

解決策

通信手段、一般に関しては、

(1) 通信規格の高速化

特に、**無線通信手段**に関しては、

(2) (5G に代表される) 高速化

(3) 通信情報の多重化

(4) **通信可能周波数の拡大**

本技術で採る解決策

本件は、(4)として、**テラヘルツ波の利用**を
目指すアプローチの一翼を担う技術である。

解決策

通信手段、一般に関しては、

(1) 通信規格の高速化

特に、**無線通信手段**に関しては、

(2) (5G に代表される) 高速化

(3) 通信情報の多重化

(4) **通信可能周波数の拡大**

本技術で採る解決策

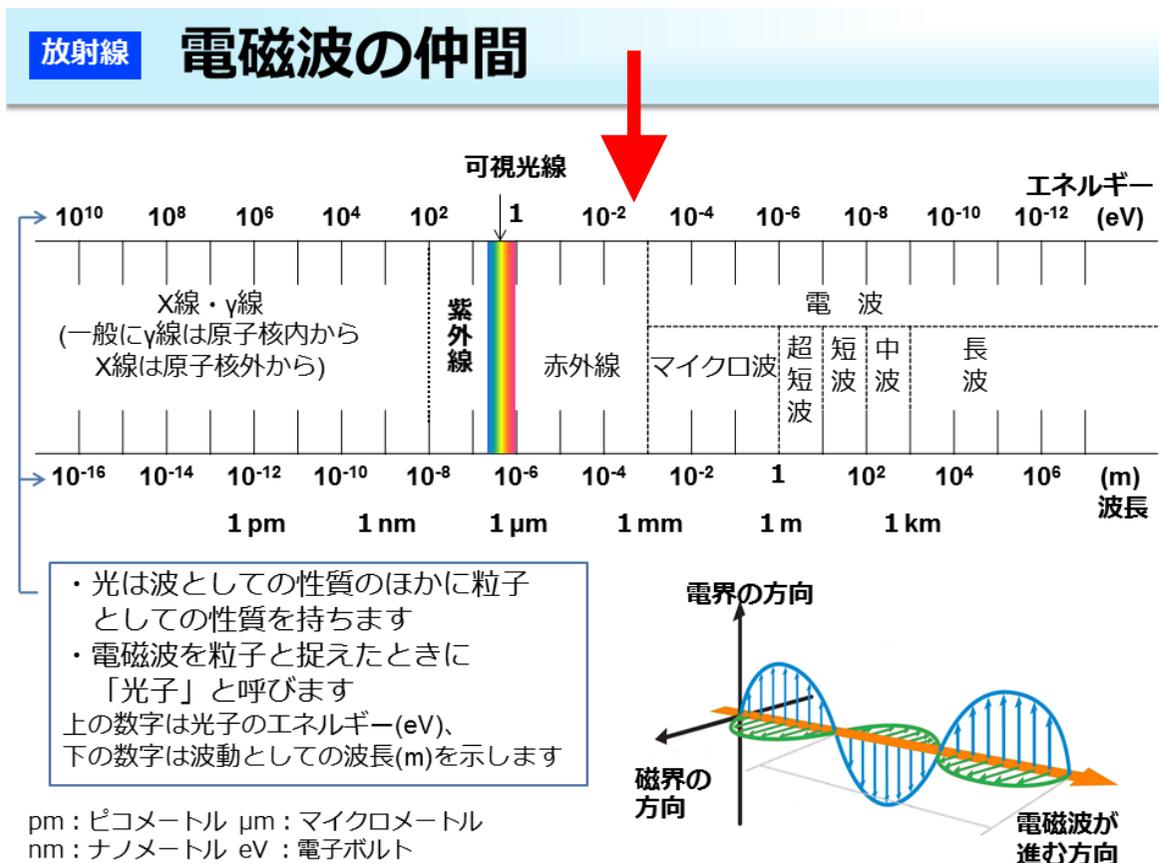
本件は、(4)として、**テラヘルツ波の利用**を
目指すアプローチの一翼を担う技術である。

テラヘルツ :

1 THz = 10^{12} Hz
(波長 ~ 300 μ m)

テラヘルツ波 :

10 THz ~ 100 GHz
(波長 30 μ m ~ 3 mm)



環境省より (Nov. 24/20)

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h29kisoshiryo/h29kiso-01-03-05.html>

本技術で採る解決策

本件は、(4)として、**テラヘルツ波の利用**を
目指すアプローチの一翼を担う技術である。

テラヘルツ波の欠点（代表的なもののみ）

- ・ 効率的な検出器や発振器が無い。
- ・ 波長が電波より短いため、障害物に弱い（光に近い）。
⇒ 直線で使える用途に利用（人工衛星の利用）。
- ・ 大気中の水の吸収領域が存在する。
⇒ 水の吸収領域を避ける。

テラヘルツ波の利用例（長所の利用）

- ・ 爆薬・麻薬などの検知

本技術で採る解決策

本件は、(4)として、**テラヘルツ波の利用**を
目指すアプローチの一翼を担う技術である。

テラヘルツ波の欠点（代表的なもののみ）

- ・ 効率的な**検出器**や発振器が無い。

本件は、**テラヘルツ波の利用**に関し、
その検出、および、同調（チューニング）に関わる技術
の提案である。

具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に
電場を印加すること で実現する。

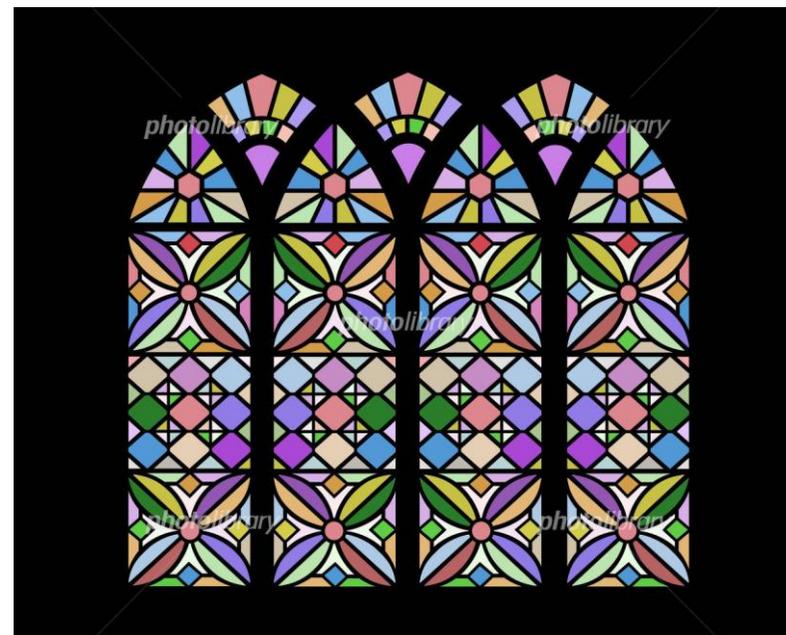
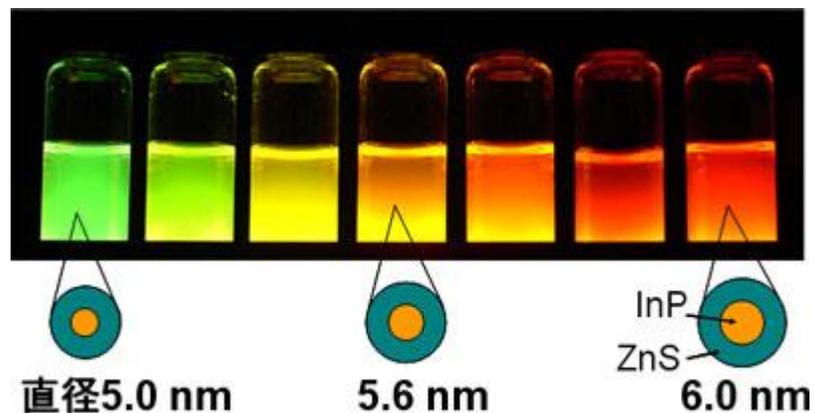
本件は、テラヘルツ波の利用に関し、
その検出、および、同調（チューニング）に関わる技術
の提案である。

具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に
電場を印加すること で実現する。

量子サイズ効果

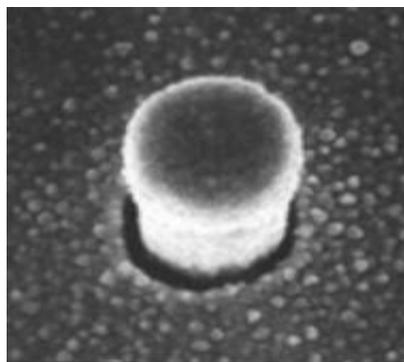


具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に
電場を印加すること で実現する。

量子ドット



特徴：

人工原子とも言える電子構造をもつ
(人工原子：Artificial atom)

カーボンナノチューブ人工原子とそのテラヘルツ波応答

石橋幸治・森山悟士・布施智子・河野行雄・山口智弘

(独)理化学研究所石橋極微デバイス工学研究所 ☎ 351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

(2007年5月9日受理)

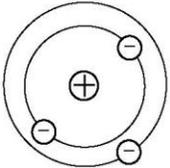
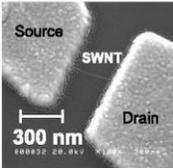
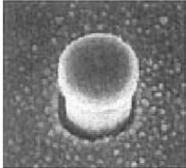
Artificial Atom in Carbon Nanotubes and its Terahertz Response

Koji ISHIBASHI, Satoshi MORIYAMA, Tomoko FUSE, Yukio KAWANO and Tomohiro YAMAGUCHI

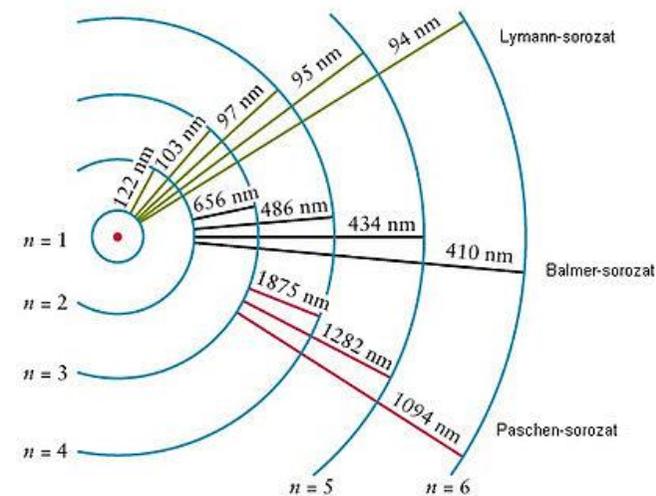
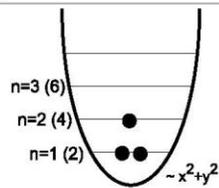
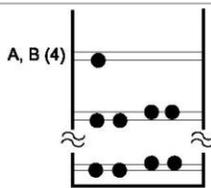
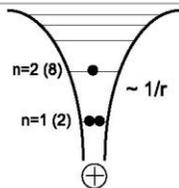
Advanced Device Laboratory, RIKEN
2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198

(Received May 9, 2007)

Table 1. Natural atom and artificial atoms.

	Natural Atom	CNT Artificial Atom	Semiconductor Artificial Atom (Vertical Type)
		 S. Moriyama et al. Ref. 10	 S. Tarucha et al. PRL 77, 3613 (1996)
Size	~a few Å	~a few nm (diameter) ~100 nm (length)	~submicron (diameter) ~10 nm (thickness)
# of electrons	1~100	0~10000	0~10
Frequency of discrete levels	visible to X-ray	Submillimeter to THz	Microwave to millimeter
Charging energy	ionization energy	>10 meV (1~10 THz)	~1 meV
Confinement potential	3D Coulomb	1D hard wall	2D harmonic
Magnetic field effect	Zeeman effect	Zeeman effect	Orbital and Zeeman (when B is perpendicular to the disk)

Schematic picture of quantum states (Quantum states and degeneracy)



水素原子の発光

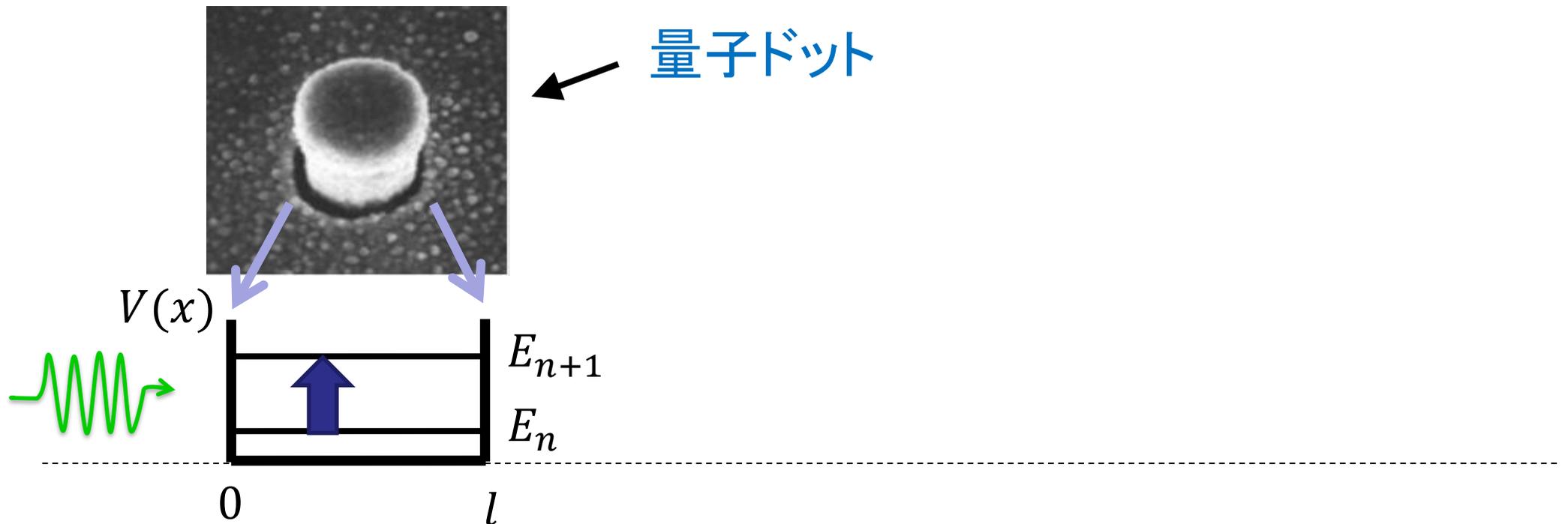
具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、

量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に

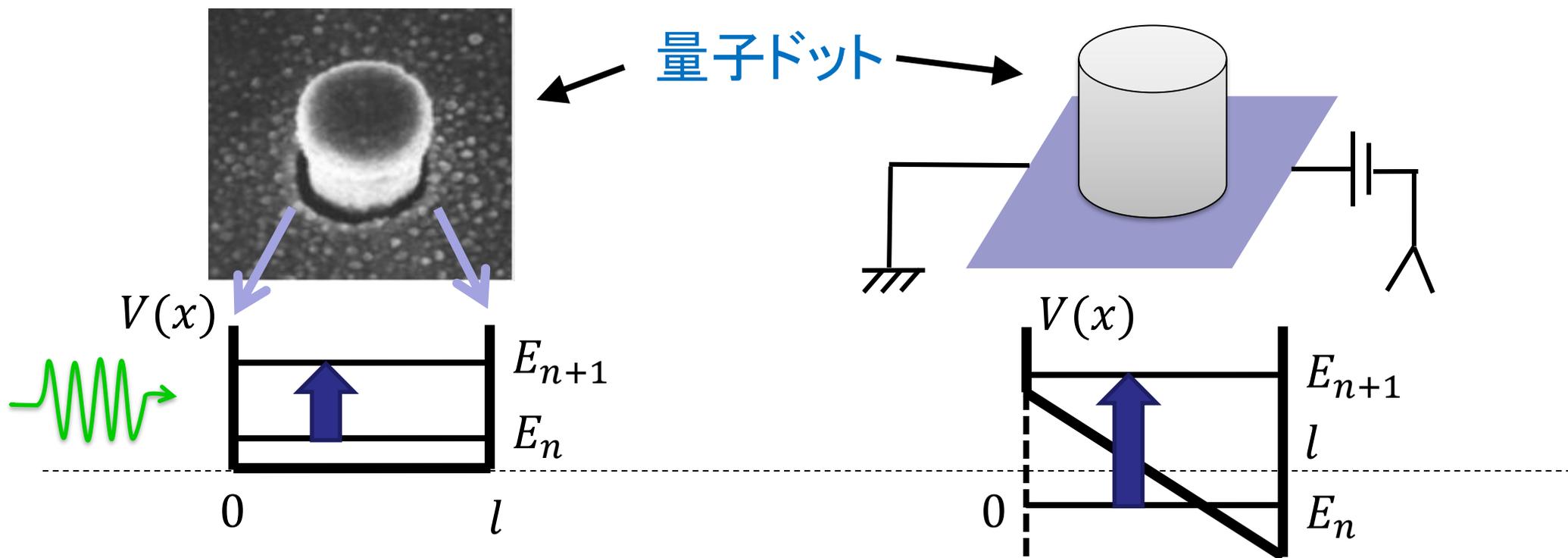
電場を印加すること で実現する。



具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に
電場を印加すること で実現する。



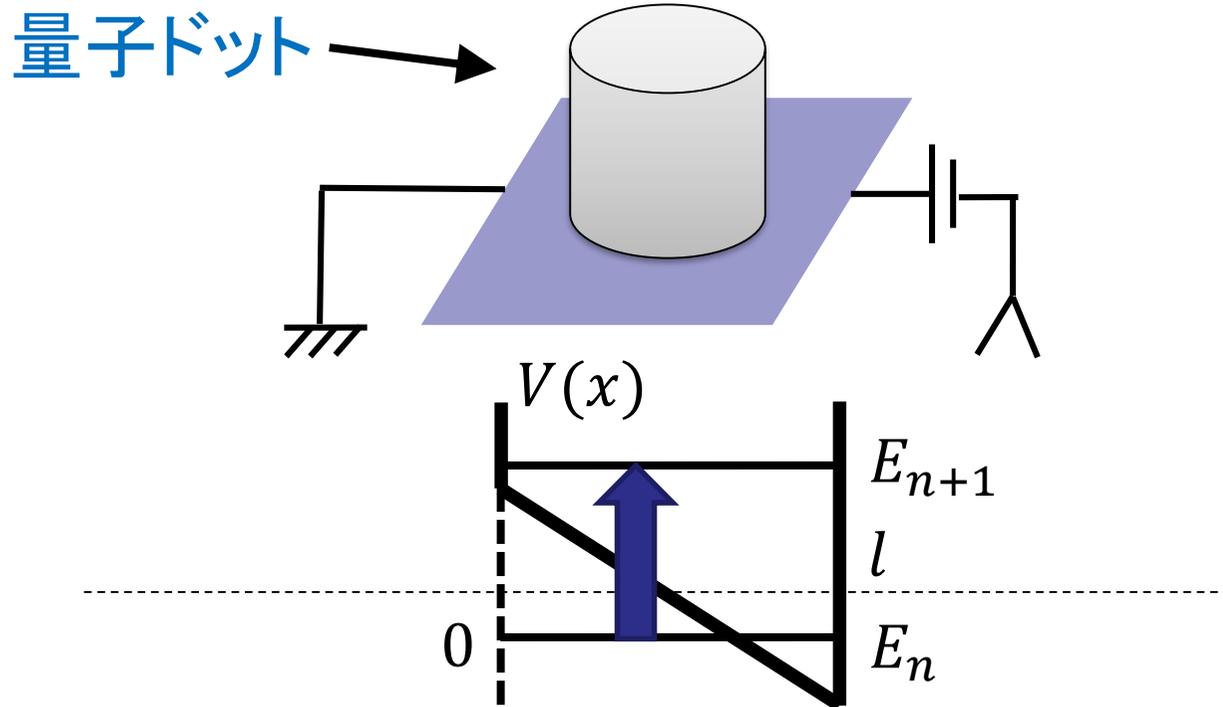
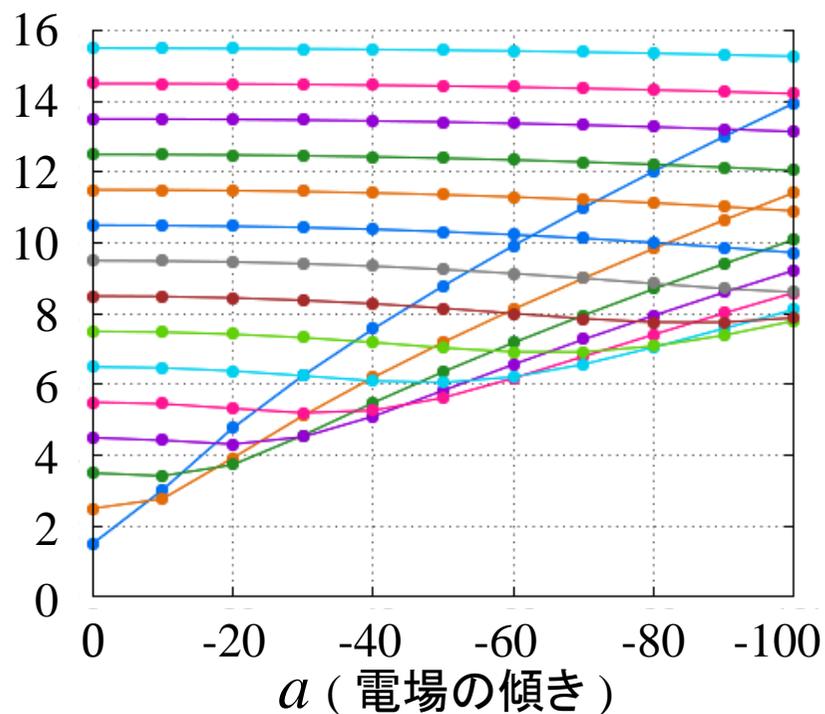
具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に

$\Delta E (= E_{n+1} - E_n)$ **電場を印加すること** で実現する。

(準位間エネルギー)



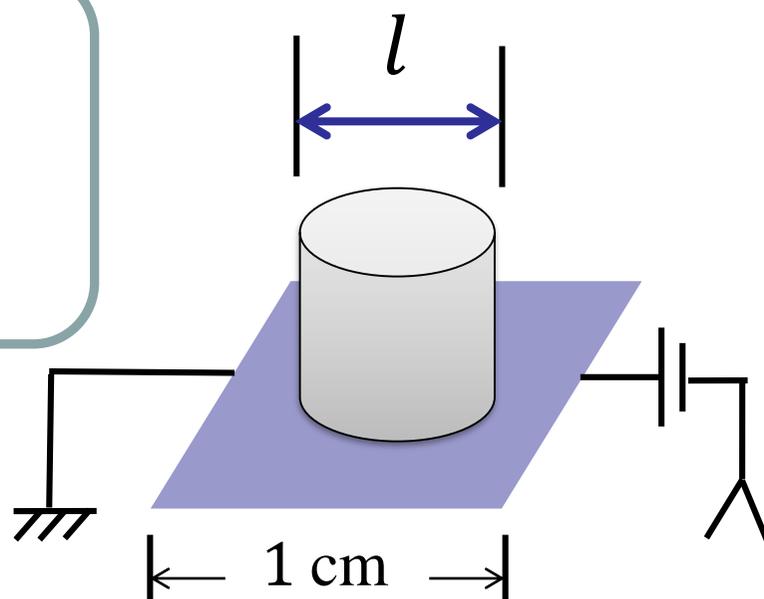
具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に
電場を印加すること で実現する。

① 量子ドットの直径 l

$$E_n^0 = \frac{n^2 \hbar^2 \pi^2}{2m_e l^2}$$



② 与える電圧 E_V

$$E = eE_V$$

③ 電圧の精度

具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に
電場を印加すること で実現する。

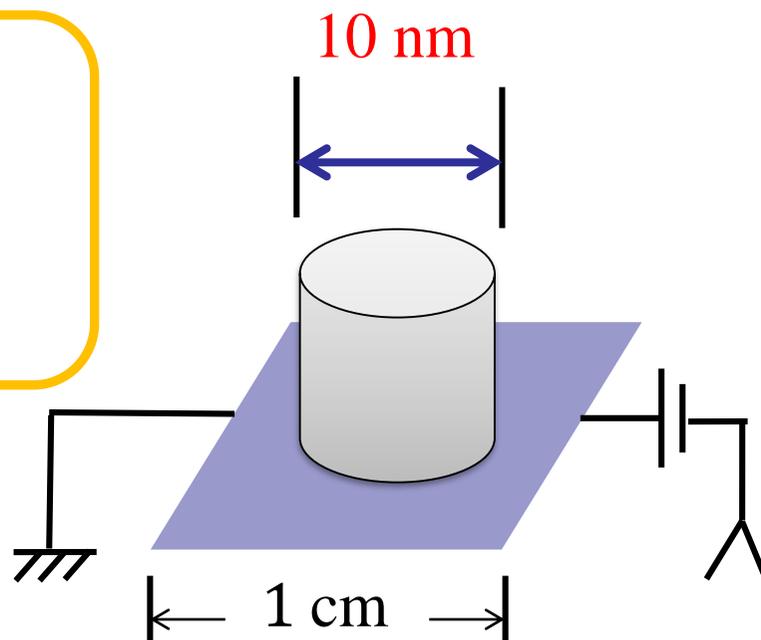
① 量子ドットの直径 l

$$E_n^0 = \frac{n^2 \hbar^2 \pi^2}{2m_e l^2}$$

② 与える電圧 E_V

$$E = eE_V$$

③ 電圧の精度



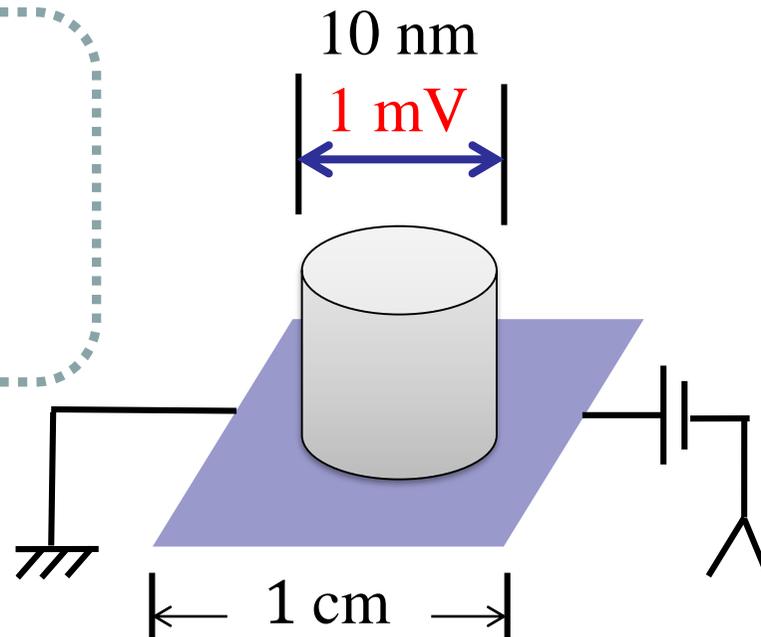
具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に
電場を印加すること で実現する。

① 量子ドットの直径 l

$$E_n^0 = \frac{n^2 \hbar^2 \pi^2}{2m_e l^2}$$



② 与える電圧 E_V

$$E = eE_V$$

③ 電圧の精度

具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に
電場を印加すること で実現する。

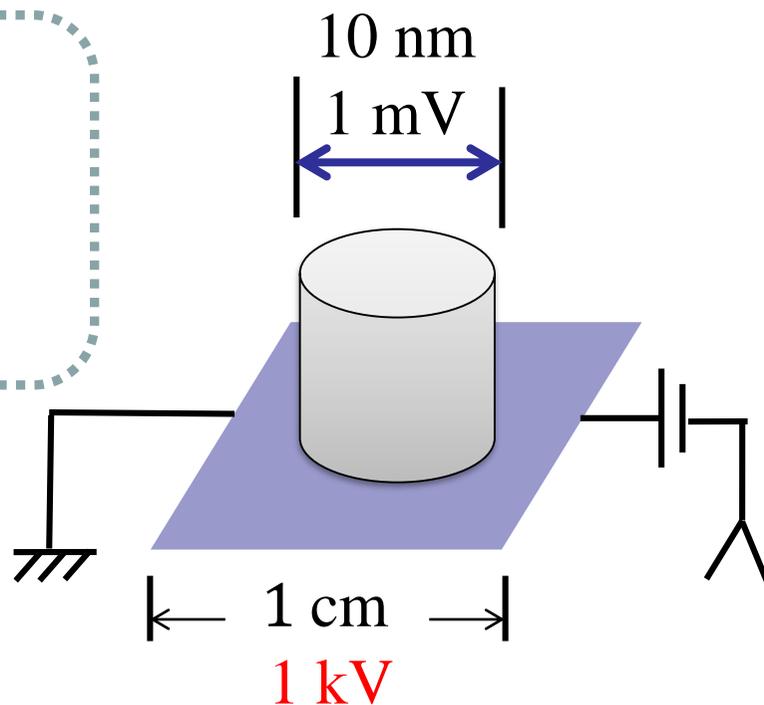
① 量子ドットの直径 l

$$E_n^0 = \frac{n^2 \hbar^2 \pi^2}{2m_e l^2}$$

② 与える電圧 E_V

$$E = eE_V$$

③ 電圧の精度



具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に
電場を印加すること で実現する。

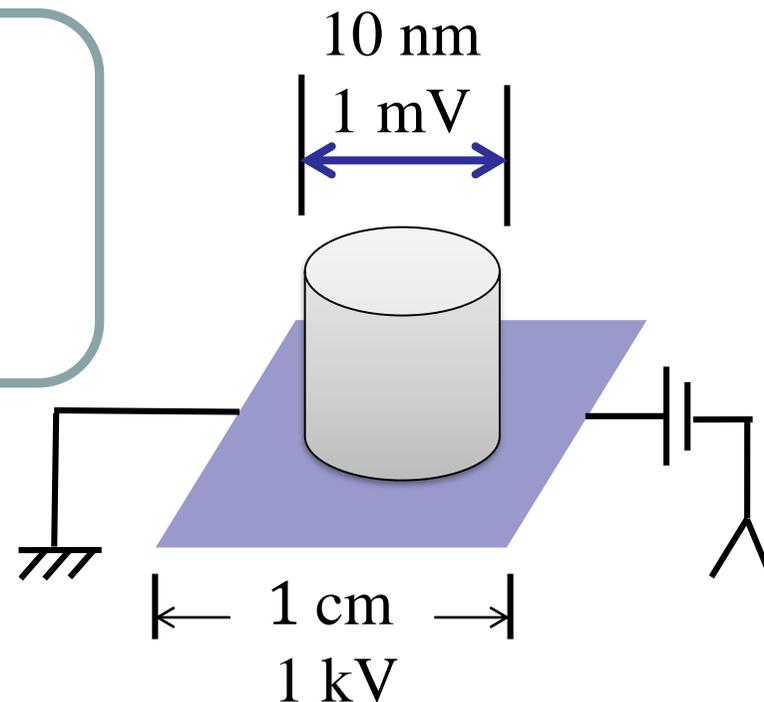
① 量子ドットの直径 l

$$E_n^0 = \frac{n^2 \hbar^2 \pi^2}{2m_e l^2}$$

② 与える電圧 E_V

$$E = eE_V$$

③ 電圧の精度



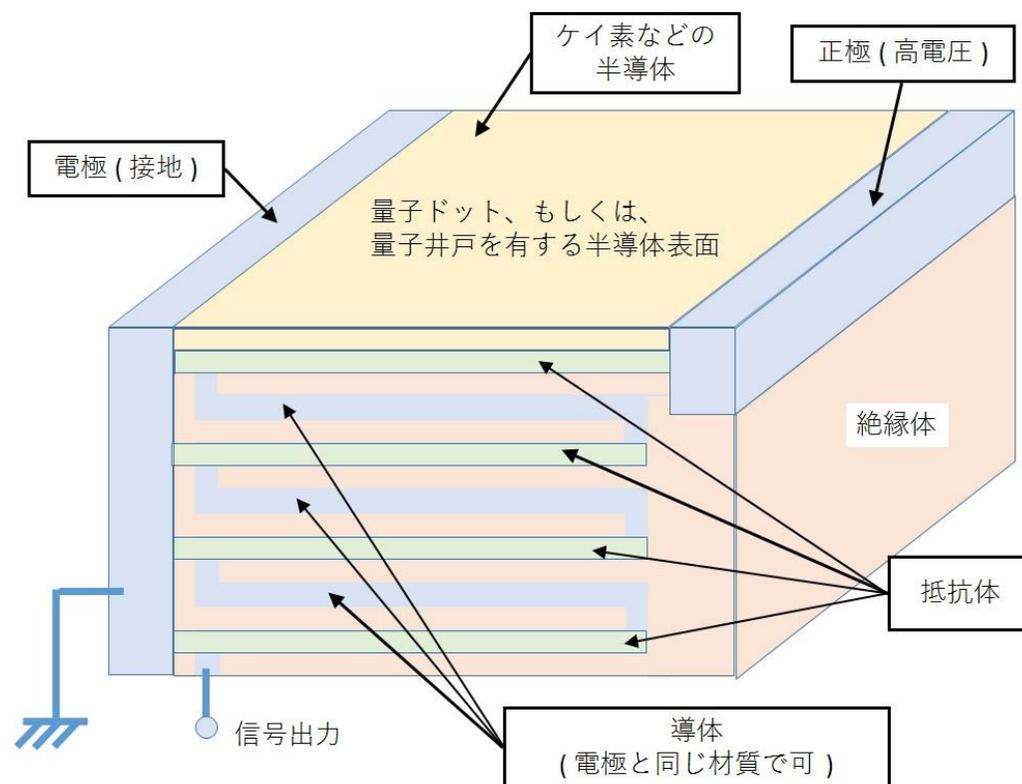
具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に
電場を印加すること で実現する。

具体的素子構造

(半導体は冷却を要す。
概算で -20°C くらいなので、
ペルチェ素子などで十分と予想。)



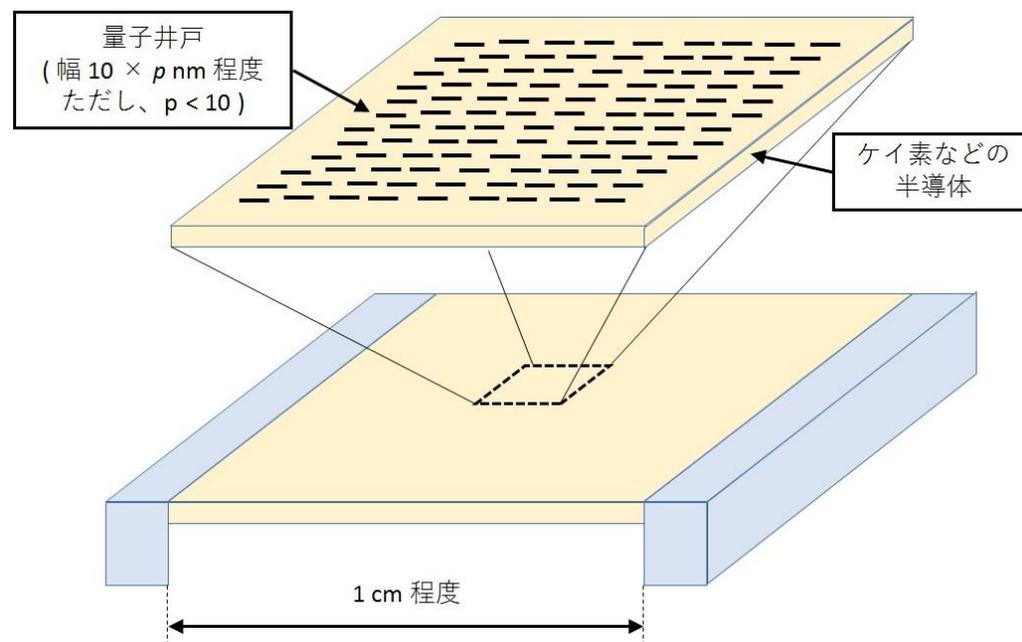
具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に
電場を印加すること で実現する。

具体的素子構造

(量子井戸の場合)



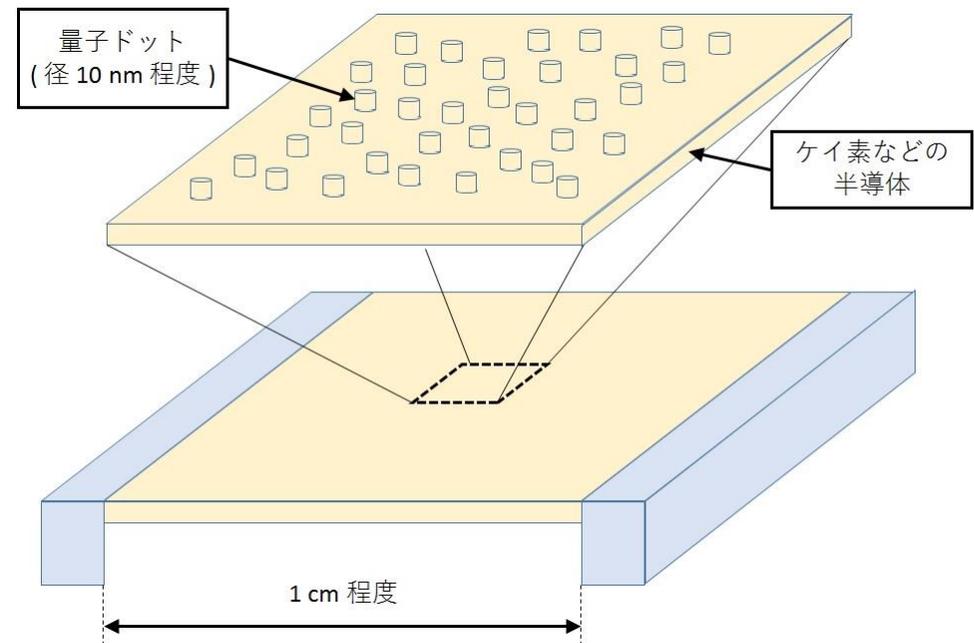
具体的手段

本件では、テラヘルツ波の検出、および、そのチューニングに、
量子ドット、あるいは、量子井戸 を利用する。

周波数チューニングは、量子ドット、あるいは、量子井戸に
電場を印加すること で実現する。

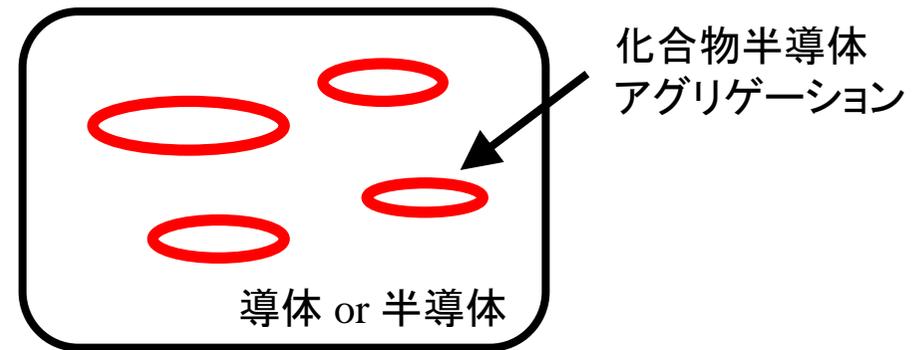
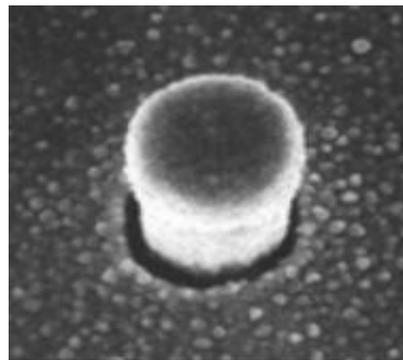
具体的素子構造

(量子ドットの場合)



本技術の特徴

- 量子ドット、あるいは、量子井戸の利用は、主に、
固体導体内部のナノサイズ半導体アグリゲーションの利用が検討されている。
- これに対して、本件では、(電磁波のアンテナとしても利用するため)
量子ドット、および、量子井戸の表面構造
の利用を目指す技術である。
- さらに、量子ドット、あるいは、量子井戸の人工原子的性質を利用し、
その電子状態を外部電場で制御する手法により、
電磁波のチューニング を実現する技術である。



実用化に向けた課題

テラヘルツ波の欠点（代表的なもののみ）

- ・ 効率的な検出器や発振器が無い。
- ・ 波長が電波より短いため、障害物に弱い（光に近い）。
⇒ 直線で使える用途に利用（人工衛星の利用）。
- ・ 大気中の水の吸収領域が存在する。
⇒ 水の吸収領域を避ける。

企業への期待

下記既存技術の適用先としてご検討頂きたい。

- ・ 超微細加工技術
- ・ 半導体薄膜製造技術
- ・ 高安定化電源

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ミリ波・遠赤外光同調器及び
ミリ波・遠赤外光同調方法
- 出願番号 : 特願2020-052274
- 出願人 : 公立大学法人広島市立大学
- 発明者 : 福島勝、藤坂尚登、杉廣紀之、
宮崎有希那、中村伊吹

お問い合わせ先

**広島市立大学
社会連携センター**

TEL 082-830 - 1545

FAX 082-830 - 1555

e-mail office-shakai@m.hiroshima-cu.ac.jp