

マイクロ波を電力に変換する高感度ダイオードを開発
～電源いらずのセンサーネットワーク実現へ～

J S T 戦略的創造研究推進事業において、富士通株式会社と首都大学東京の須原 理彦教授らは、微弱なマイクロ波を電力に変換できる高感度のナノワイヤバックワードダイオード整流素子を開発しました。携帯電話基地局などから放射されている環境電波から電力を生み出す環境電波発電に役立つ技術として期待されます。

本格的な I o T時代の到来に備え、センサーネットワークのバッテリーレス化を実現するために、近年、身の回りの微小なエネルギーを電力に変えるエネルギーハーベスティング技術が注目されています。その1つとして、通信に利用するために携帯電話基地局から放射され、空間に遍在する微弱な電波（マイクロ波）を電力として再利用する環境電波発電があげられます。環境電波発電に用いる装置は、電波を集めるアンテナと、その電波を整流する整流素子（ダイオード）からなる電波発電素子で構成されます（図1）。

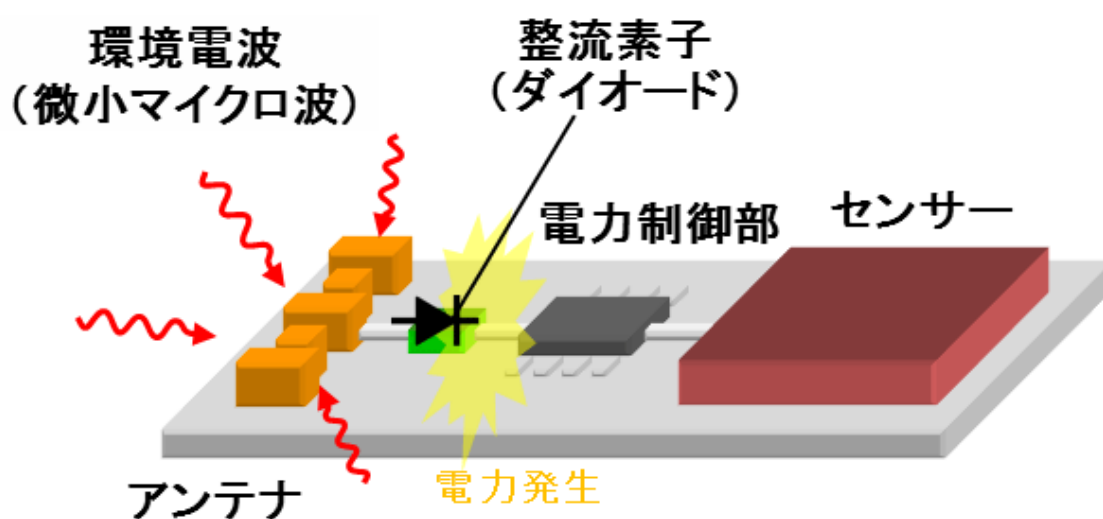


図1 環境電波発電の概略図

ダイオードのマイクロ波に対する応答性能（感度）は、整流特性の急峻性とダイオードのサイズ（容量）に大きく依存します。一般的に電力変換用途のダイオードには、金属と半導体の接合構造で生じる整流性を用いたショットキーバリアダイオードが使われています。しかし、微小電圧における整流特性が緩慢で、かつ素子サイズが数マイクロメートル（ μm ）以上あり容量が大きいため、マイクロワット（ μW ）以下の微弱なマイクロ波への感度が十分ではなく、環境電波を電力へ変換することが困難だったため、ダイオードの高感度化が求められていました。

本研究グループは、異なる2種類の半導体を接合することによって整流性が生じ、かつ従来のショットキーバリアダイオードとは異なる原理（トンネル効果）で電流が流れることにより、ゼロバイアス注4）での急峻な整流動作が可能なバックワードダイオードを微細化・低容量化することで、より高感度なダイオードを実現すべく開発を進めてきました（図2）。

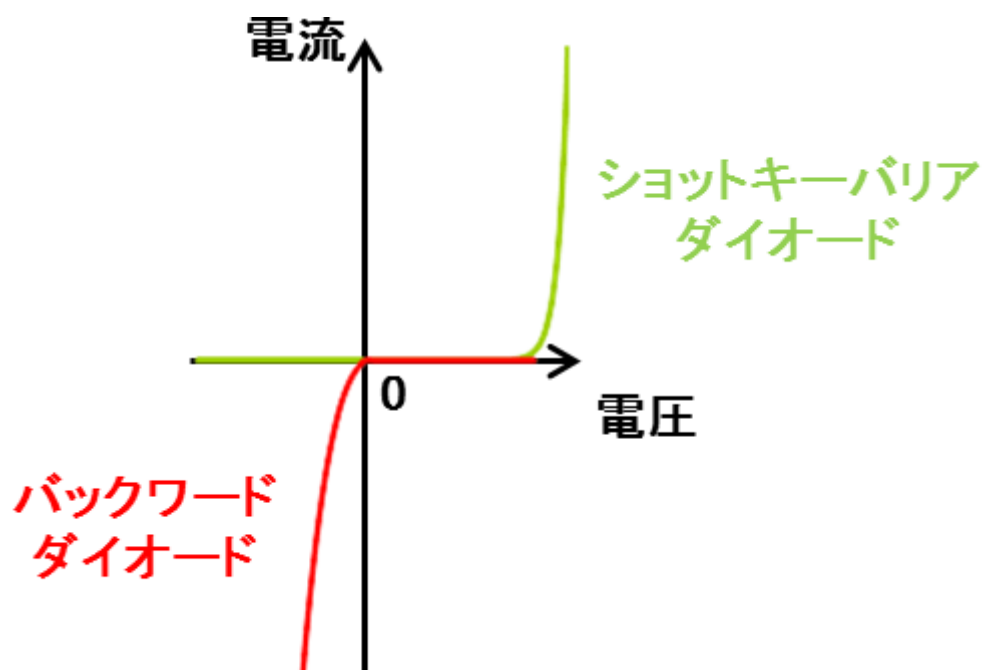


図2 ショットキーバリアダイオードとバックワードダイオードの整流特性

これまでバックワードダイオードは、積層された化合物半導体薄膜をエッチングによりディスク状に加工して形成されていましたが、加工による損傷を受けやすい材料のため、サブミクロンサイズまで微細加工してダイオードを動作させることは困難でした。

本研究グループは、接合される半導体材料の構成元素の割合（組成）および添加不純物濃度の精緻な調整により、バックワードダイオード特性に求められるトンネル接合構造をn型のインジウム砒素（InAs）とp型のガリウム砒素アンチモン（GaAsSb）からなる直径150nmのナノワイヤ内において結晶成長させることに成功しました。さらに、そのナノワイヤの周囲を絶縁素材で埋め込む加工およびワイヤの両端に金属で電極膜を形成する加工において、ナノワイヤを傷つけることなく実装する新技術を活用しました。これらにより、従来の化合物半導体の微細加工技術では困難だったサブミクロンサイズのダイオードの形成が可能になり、従来のショットキーバリアダイオードと比較して10倍以上の感度を持つナノワイヤバックワードダイオードの開発に世界で初めて成功しました（図3）。

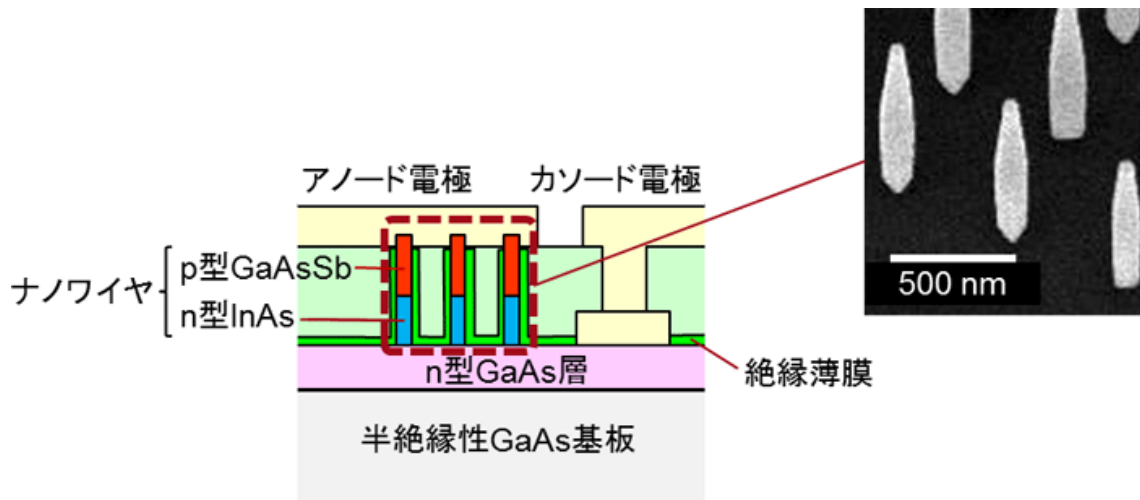


図3 ナノワイヤバックワードダイオードの断面構造とナノワイヤ結晶

現在の携帯電話用の通信回線規格4G LTE/Wi-Fiで利用されるマイクロ波周波数2.4GHzで検証した際の感度は、従来のショットキーバリアダイオードの感度(60kV/W)に対して、約11倍(700kV/W)です(図4)。これにより、100nWクラスの微弱電波を効率よく電力に変換することが可能となり、携帯電話基地局から環境に放射されたマイクロ波を、従来と比べて10倍以上の広さのエリア(携帯電話通信が可能なエリアの10パーセントに相当)で電力変換でき、センサー電源としての活用が期待されます(図5)。

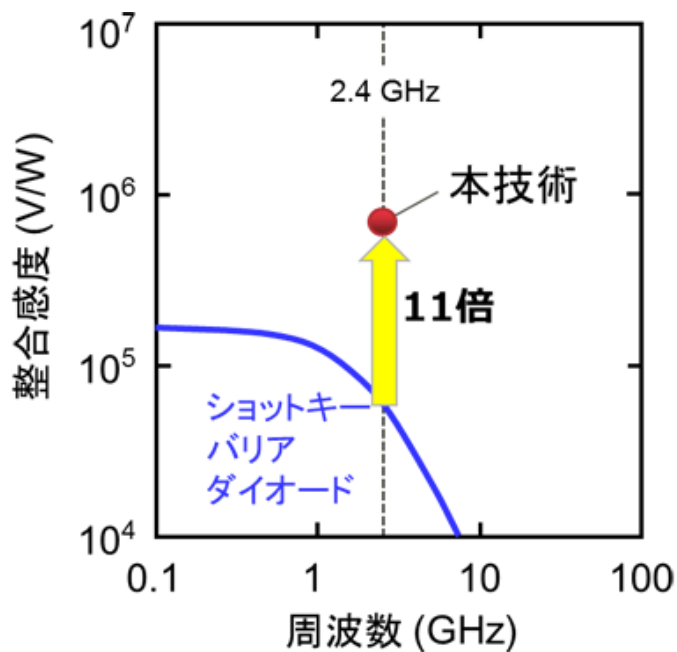


図4 ダイオードの感度特性

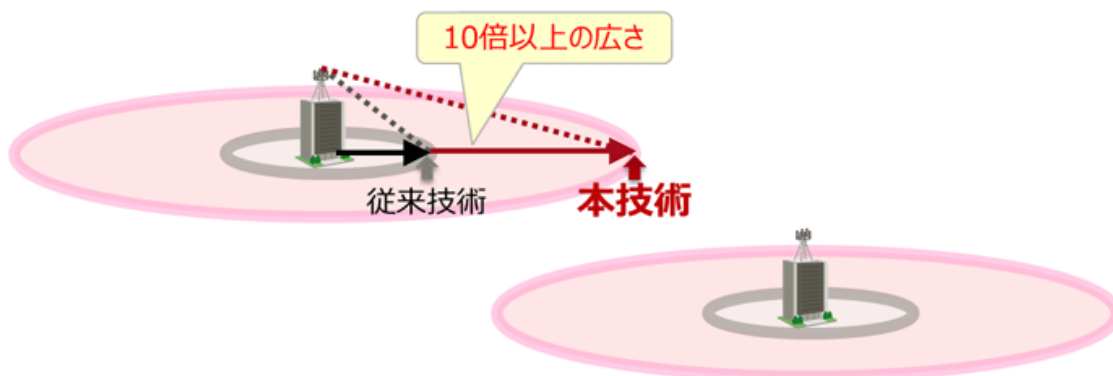


図5 開発したナノワイヤバックワードダイオードの効果

日文新聞发布全文 <https://www.ist.go.jp/pr/announce/20190924/index.html>

文：JST 客观日本编辑部翻译整理