

# 高周波スピントロニクスデバイスの開発に向けた本格研究

## スピントロニクス素子を用いたナノメートルサイズの超小型マイクロ波発振・検波器の開発

### 新しい超小型高周波素子の研究開発

発振器、検波器などの高周波素子は、テレビ、携帯電話などの通信機器の基本的な部品として日常生活においても広く使われています。最近のワイヤレスネットワークの急速な普及にもみられるように、高周波素子の重要性はますます高まっています。

これまでの高周波素子の発展はほとんどが半導体素子によるものでした。しかし、最近半導体を使わない金属磁性体からなるスピントロニクス素子で数GHzの高周波の発振や検波が実現されました。スピントロニクス素子は、シンプルな構造で100 nm程度とサイズがとて小さいこと、半導体素子で必要な共振回路は不要であることから、これまでになかった超小型の発振・検波器が実現できると期待され大きな注目を集めています。

スピントロニクス素子における高周波現象は、2003年にコーネル大学のグループにより発振現象が、ついで2005年に産総研・大阪大学・キヤノンアネルバの共同研究グループにより検波現象が発見されました。それまで、スピントロニクス素子は主に磁界センサーや不揮発メモリー素子などへの応用の観点から研究されていたため、高周波素子としての機能性が示されたことは大きな驚きをもって高く評価され

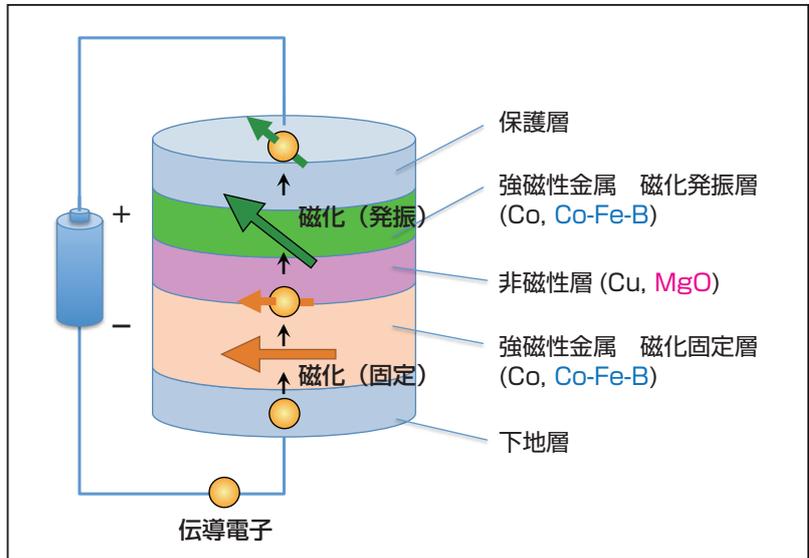


図1 磁気抵抗素子の構造  
結晶性 MgO を用いた磁気抵抗素子は、産総研が開発した。

ました。

### スピントロニクス素子の高機能化を実現する原理

スピントロニクス素子の代表的素子である磁気抵抗素子は図1に示す構造をしています。基本的には下地層／強磁性金属（磁化固定層）／非磁性層／強磁性金属（磁化発振層）／保護層の5層構造です。微細加工技術を用いて、微小素子（直径100 nmの円筒形）に形成します。形成した素子に電流を流すと、下側から進入した電子が磁化固定層の強磁性金属を通過する時に電子のもつスピンの磁化固定層の磁化の方

向にそろいます。ついで、非磁性層を通過し、磁化発振層の強磁性金属に進入すると、今度はその磁化の方向にそろいます。磁化発振層を通過する前後で、伝導電子のスピンの方向が変化しています。この変化分がスピントルクとなって、磁化発振層の強磁性金属の磁化の回転運動を引き起こします。

磁気抵抗素子に図2 (a) に示すように高周波信号を入力すると、検波がおこります。特異な点は、特定の周波数の時に大きな検波出力が得られることです。これは半導体素子には無い大きな特徴です。この周波数は強磁性体の強磁性共鳴周波数と関係しています。強磁性共鳴の周波数に近い入力信号では、小さなスピントルクでも磁化発振層の磁化が大きく回転運動するため大きな検波信号が得られます。一方、磁気抵抗素子に図2 (b) に示すように直流電流を流すと、連続的な回転運動が生まれます。この周波数も検波と同様に強磁性共鳴の周波数です。このように、磁気抵抗素子は、使い方によって検波素子にも発振素子にもなる高機能素子です。



2004年入所 大学院生のころに始まったスピントロニクスの研究とともに歩み、気がついたら20年以上がたっていました。その間、ハードディスク、磁界センサーなどスピントロニクスに基づく製品が広く普及し一般社会に役立っていることはとてもうれしく思っています。ナノスピントロニクス研究センターは設立3年目のまだ小さなユニットですが、若手とベテランが一緒になって基礎研究、実用化研究に取り組み、活気に満ちあふれています。私も、スピントロニクス高周波素子をセンサーや通信デバイスとして実用化することを目標に毎日楽しく研究に励んでいます。

久保田 均（くぼた ひとし）  
hit-kubota@aist.go.jp  
ナノスピントロニクス研究センター  
金属スピントロニクスチーム  
研究チーム長（つくばセンター）

**高機能な素子の開発と実用化**

以上のように磁気抵抗素子は優れた高周波機能をもちますが、素子の実用化には大きな出力信号が不可欠です。しかし、最初の発振現象の報告や産総研による検波現象の報告では、いずれも出力信号が小さいことが問題でした。そこで産総研を中心とする共同研究グループでは、検波出力、発振出力の増大を目指して研究を行ってきました。発振出力信号を大きくするには、磁気抵抗効果の大きい磁気抵抗素子を用いなければなりません。しかし、最初の報告で用いられていた素子は、磁気抵抗効果の小さな（～1%）金属系GMR素子でした。そこで、産総研グループでは、産総研オリジナルの結晶性酸化マグネシウム（MgO）トンネルバリアをもつ強磁性トンネル接合を用いることにしました。磁化固定層に厚いCoFeB強磁性金属、磁化発振層に薄いCoFeB強磁性金属、非磁性層には1 nm程度ととても薄いMgOを用いました。こうすることで磁気抵抗効果が大きくなり（>100%）、発振出力は当初に比べ3桁以上大きくなりました。さらに素子形状を工夫することで、発振周波数の制御にも成功し、現在世界で最も性能の高い素子を開発す

ることができました。検波素子においても同様に当初の検波感度を約4桁大きくすることに成功し、世界で最も高い検波感度を得ています。

このような高い機能性をもったスピントロニクス高周波素子を産業に応用するため、ナノスピントロニクス研究センターでは産学官の共同開発を開始しています。図3には、今後応用が見込まれるデバイスとその効果を示しました。いずれも、スピントロニクス高

周波素子の特徴である小さく、シンプルな構造を活かしたデバイスであり、これまでの半導体素子では難しい応用です。このように、小型省エネデバイスのキーコンポーネントとしてスピントロニクス高周波素子は期待されています。今後も基礎、応用の両観点から研究を進め、デバイスの実用化につなげていきたいと考えています。

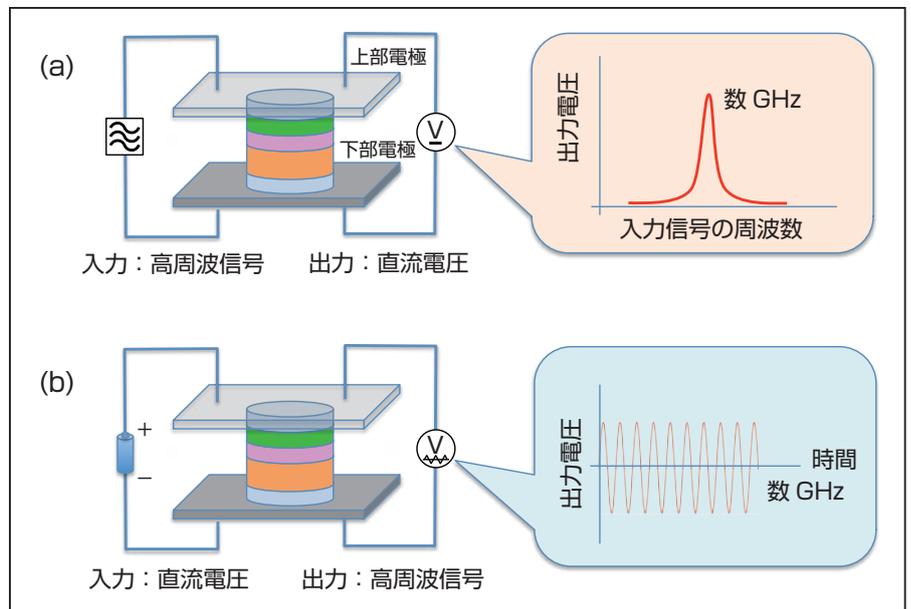


図2 磁気抵抗素子の発振・検波の原理

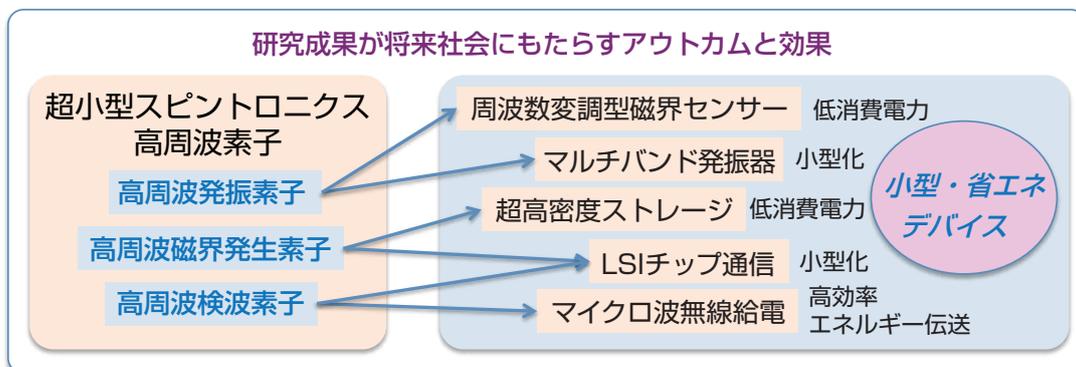


図3 産業への応用が見込まれるデバイスとその効果