

## 先端技術キーワード解説

## 知っておきたい最新の動き

## [強磁性半導体 (Ferromagnetic Semiconductor) ]

半導体関係で、今、最も期待の高いのが、強磁性半導体です。特に、昨年(2016年)、約20年間、磁性半導体の強磁性発現機構が東北大学などのグループにより解明されたことから、現実味を帯びてきました。

強磁性半導体 (Ferromagnetic Semiconductor) とは非磁性半導体の一部の原子を磁性原子 (遷移金属) で置換 (ドーピング) することにより強磁性が現れる物質です。従来の半導体デバイスは、電荷の動きを伴う「エレクトロニクス」により、各種機能を実現します。そこに、さらに「スピントロニクス」を加えることにより、不揮発性、低消費電力、再構成可能性、量子情報などの画期的な新機能をもたらす可能性があります。このため、世界的に注目されている分野です。

(注)

**強磁性と常磁性** : 「強磁性」とは、簡単に言うと磁石の状態です。隣り合うスピンの同一の方向を向いて整列し、全体として大きな磁気モーメントを持つことで、磁性を示します。この物質は、外部磁場が無くても自発磁化を持つことが出来ます。

「常磁性」とは、外部磁場がない場合は磁性を持たない性質です。スピンの整列していない状態です。これは、強磁性体でもある温度 (キュリー温度) 以上になると「常磁性」を示すようになります。

**スピントロニクス** : 電子の磁氣的性質であるスピン (回転運動) を利用して動作させる全く新しい電子素子を実現する技術分野のことです。電子スピンは応答が早く、情報の保持に電力を要しないので、これを利用したスピントロニクスは、超高速・超低消費電力の次世代集積回路の最有力候補とされています。

当初、磁性半導体への取り組みは、通常の半導体に、半導体程度のバンドギャップをもった少量の磁性原子 (鉄、マンガン、クロムなど) で置換することで行われました。

しかしながら、少量の置換では、局所スピン間の相互作用が強くできず、強磁性転移温度 (キュリー温度) が高いという難点がありました。(最も温度が高いとされていたガリウム砒素 (GaAs) 半導体で少量のマンガン (Mn) を置換したもので、室温を約 100°C 下回っていました。つまり、マイナス 100 度程度、冷却しなければ、強磁性とはならなかったものです。)

そこで、東京大学が目をつけたのが透明酸化物半導体 (二酸化チタン :  $\text{TiO}_2$ ) です。大きなバンドギャップを持ちます。これは、酸化物半導体中のキャリア (主に電子) の有効質量が重いことを意味します。したがって、酸化物半導体に局在スピンをドーピングすれば、キャリアと局在スピン間の大きな交換相互作用による高温強磁性の発現が期待でき、透明磁石材料の実現の可能性があると考えました。

2001年、コバルト (Co) をドーピングした酸化物半導体 ( $\text{TiO}_2$ ) の室温強磁性が発見されました。電界効果を用いたキャリア量の増減による室温強磁性の制御が実現したのです。これにより、室温動作スピントロニクスへの道が開けています。ただし、少量のコバルト (Co) 濃度で約 400°C ものキュリー温度が発現するメカニズムは今も明らかではないとのことです。

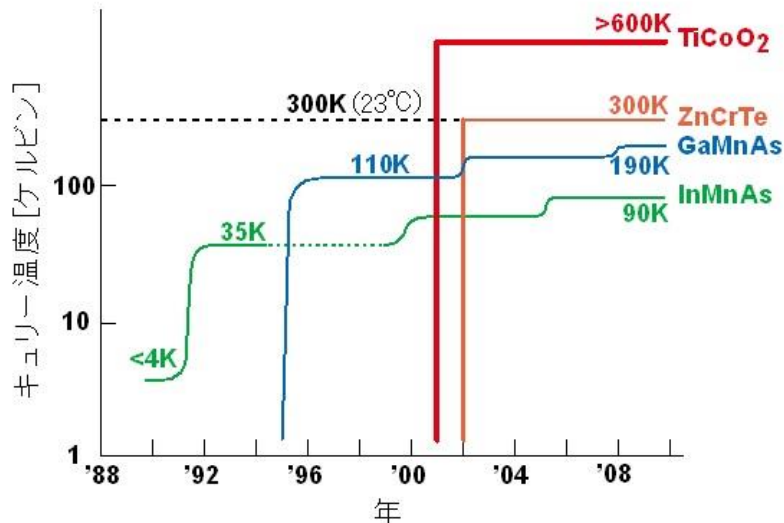


図 さまざまな強磁性半導体の強磁性転移温度(キュリー温度)の推移

(図は文献 3) から引用)

一方、昨年(2016年)、東北大学が、磁性半導体(ガリウム砒素にマンガンをドーピング: (Ga,Mn)As)が強磁性を発現する機構を解明したと発表しました。これでは、砒素(As)の結合軌道に注入されたホールキャリアが強磁性に重要な役割を果たすことを見出したとのことでした。

これまで、先端技術を牽引してきた電荷によるエレクトロニクスに、電子スピンを高度に融合した現象が次々と発見されています。夢と思われていた電子デバイスの実現が少しずつ近づいています。

(参考文献)

1) 東京大学 長谷川研究室 ホームページ

<http://www.chem.s.u-tokyo.ac.jp/users/sschem/research/magoxisemi.html>

2) 東北大学 磁性半導体が強磁性をしめすメカニズムを解明 - 20年来続く論争に終止符 -

[http://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20160602\\_02web.pdf](http://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20160602_02web.pdf)

3) 科学技術振興機構 電圧で磁気を制御できる新しいトランジスターの開発に成功

- 室温での電気的な磁性のスイッチングに道 -

[http://www.jst.go.jp/pr/announce/20110527/index.html?utm\\_medium=twitter](http://www.jst.go.jp/pr/announce/20110527/index.html?utm_medium=twitter)

(注)

本解説は、執筆当時の状況に基づいて解説をしております。ご覧になる時には、状況が変わっている可能性がありますので、ご注意をお願いします。

Copyright (C) Satoru Haga 2017, All right reserved.

<b>技術・経営の戦略研究・トータルサポーター</b>	
<b>ティー・エム研究所</b>	
E-Mail: <a href="mailto:info_tm-lab@mbn.nifty.com">info_tm-lab@mbn.nifty.com</a>	URL: <a href="http://tm-lab@a.la9.jp/">http://tm-lab@a.la9.jp/</a>

<p>工学博士 中小企業診断士 社会保険労務士(登録予定)</p> <p style="text-align: right; font-weight: bold;">代表 芳賀 知</p>
--