



	English	中文	交通アクセス・地図	お問い合わせ	サイトマップ	サイト内検索
	受験生の方	広大へ留学希望の方	一般・地域の方	企業の方	卒業生の方	在学生・保護者の方

大学案内

[トップページ](#) > [広報・報道](#) > [報道発表・報道された広島大学](#) > [平成20年1月-12月](#) > 半導体スピントロニクス材料実用化へのブレークスルー

入試情報

半導体スピントロニクス材料実用化へのブレークスルー

教育・学生生活

平成20年6月13日

研究

独立行政法人日本原子力研究開発機構  
国立大学法人 東京大学  
国立大学法人 広島大学

社会連携

留学・国際交流

### 半導体スピントロニクス材料実用化へのブレークスルー —動作温度上昇への鍵を放射光が解明—

学部・大学院等

研究所・施設等

広報・報道

採用情報

校友会・同窓会

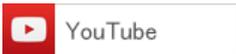
支援財団・基金

図書館・博物館等

大学病院

附属学校

#### 広大公式アカウント一覧



独立行政法人日本原子力研究開発機構【理事長 岡崎俊雄】量子ビーム応用研究部門の竹田幸治任期付研究員らは、国立大学法人東京大学【総長 小宮山宏】および国立大学法人広島大学【学長 浅原利正】と共同で、半導体スピントロニクス<sup>1)</sup>材料として注目されている希薄磁性半導体<sup>2)</sup>が、半導体結晶格子の隙間に入り込んでしまった磁性原子<sup>3)</sup>によって、その磁気特性が大きく低下する機構を解明しました。

電子のもつ「電気を流す性質(電荷)」と「磁石になる性質(スピン<sup>4)</sup>)」を活用する半導体スピントロニクスは、DRAMに代わる次世代メモリMRAM<sup>5)</sup>や量子コンピュータ<sup>6)</sup>実現などのために必須であり21世紀の高度通信・情報社会構築への鍵と言われております。

半導体スピントロニクス材料の有力候補である希薄磁性半導体ガリウムマンガンヒ素(Ga<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>As<sup>7)</sup>)は、約マイナス93°C以下に冷やさないと強磁性になりません。実用化のためには室温以上でも強磁性になる必要があります。そのため、なぜ強磁性転移温度<sup>8)</sup>が上がらないのかを解明することが切望されていました。

今回、当研究グループは大型放射光施設SPring-8からの円偏光を用いた軟X線磁気円二色性の測定(補足説明参照)をガリウムマンガンヒ素に対して行い、磁性原子であるマンガン原子だけの磁気的性質を詳しく調べました。その結果、ガリウムと入れ替わったマンガンが強磁性になろうとする一方で、結晶格子の隙間に入り込んだマンガンは、同じマンガンであるにもかかわらず、強磁性を打ち消す動きをし、動作温度を下げていることが明らかになりました。

この結果は、ガリウムマンガンヒ素を用いた半導体スピントロニクス材料の実用化のためには、結晶格子の隙間に入り込むマンガンをなくすることが重要であることを意味しており、今後の半導体スピントロニクスを実現する材料開発に明確な指針を与えるものです。

本研究成果は、米国物理学会誌”Physical Review Letters”に平成20年6月16日(オンライン版)に掲載される予定です。

詳細は[こちら](#)をご覧ください。

#### 【本件に関する問合せ先】

(研究について)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構  
量子ビーム応用研究部門  
上級研究主席 青木勝敏 TEL:0791-58-2629  
放射光先端物質電子構造研究グループ  
任期付研究員 竹田幸治 TEL:0791-58-2604

(報道対応)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構  
広報部次長 花井 祐 TEL:03-3592-2346  
国立大学法人東京大学大学院理学系研究科  
広報室准教授 横山広美 TEL:03-5841-8856  
国立大学法人東京大学大学院工学系研究科  
調査室 川瀬珠江 TEL:03-5841-6003  
国立大学法人 広島大学  
広報グループ 村上 尚 TEL:082-424-6017

	English	中文	交通アクセス・地図	お問い合わせ	サイトマップ	サイト内検索
	受験生の方	広大へ留学希望の方	一般・地域の方	企業の方	卒業生の方	在学生・保護者の方

大学案内

[トップページ](#) > [広報・報道](#) > [報道発表・報道された広島大学](#) > [平成20年1月-12月](#) > 補足説明

入試情報

補足説明

教育・学生生活

補足説明

研究

背景:

社会連携

留学・国際交流

学部・大学院等

研究所・施設等

広報・報道

採用情報

校友会・同窓会

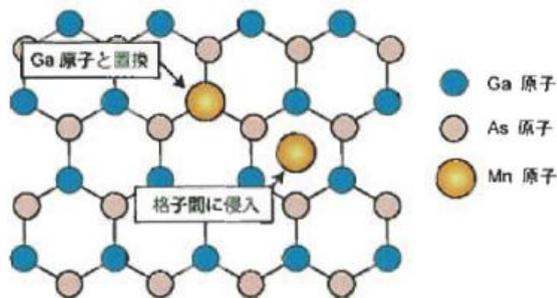
支援財団・基金

図書館・博物館等

大学病院

附属学校

すでに確立している半導体エレクトロニクスの技術をそのまま活用し、利用されていなかった電子のスピン自由度を融合させる新しい技術は、半導体スピントロニクスと呼ばれ、近年盛んに研究が行われている。半導体スピントロニクスの有力候補材料である希薄磁性半導体 $Ga_{1-x}Mn_xAs$ (ガリウムマンガンヒ素)は、1996年の強磁性発現の報告以来、世界中で精力的に研究がおこなわれてきており、デバイス試作の報告もなされている。しかし、現在の強磁性転移温度( $T_C$ )は最高でも約-93℃と室温よりずっと低いことが最大の課題として残っている。さらに、現状の試料作製技術においては、Gaと置換されたMnだけでなく、結晶格子の隙間に入り込んだMnの生成が避けられない(図1)。そして、この結晶格子の隙間に入り込んだMnの存在は $T_C$ が上昇しないことに影響しているのではないかと疑われていたが、これまではそれらの関係が解明されていなかった。

図1  $Ga_{1-x}Mn_xAs$ (111)面の模式図
[広大公式アカウント一覧](#)
 Twitter

 Facebook  
(日本語版)

 Facebook  
(英語版)

 YouTube

 行事カレンダー

 ストリートビュー

 キャンパスカメラ

 学内ポータル

研究内容:

今回、独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)量子ビーム応用研究部門放射光先端物質電子構造研究グループと国立大学法人東京大学大学院理学系研究科物理学専攻の藤森淳教授および国立大学法人広島大学大学院先端物質科学研究所の田中新助教らは、国立大学法人東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻の田中雅明教授のグループによって作製された試料を用い、高輝度放射光施設SPring-8の原子力機構専用ビームラインBL23SUにおいて軟X線磁気円二色性実験を行った。

軟X線磁気円二色性の測定

物質に、あるエネルギーの軟X線を照射すると強い光吸収が起こる。この光吸収が起こるエネルギーはそれぞれの原子ごとに違っているので、複数種類の原子を含んだ物質であっても特定の原子に的を絞った情報を得ることができる。さらに鉄やコバルトなどの強磁性体の場合は、右回りと左回りの円偏光軟X線を照射すると、それら光吸収強度に違いが出る。この現象は磁気円二色性として知られている。そして、物質の温度や物質に印加する磁場の大きさを変えながら磁気円二色性を調べることにより、磁性を生み出している特定の原子の電子スピンのような状態になっているかの情報を引き出すことができる。今回は、 $Ga_{1-x}Mn_xAs$ の中のMnだけの磁性情報を抽出するため、Mnだけで光吸収が起こるエネルギーを持った円偏光軟X線を用いて磁気円二色性の詳細な磁場・温度依存性測定を行った。

Mn濃度の異なる二つの試料に対する結果を比較・検討

結晶格子の隙間に入り込んだMnの影響を調べるため、図2にMn濃度が異なる試料における、試料に印加した磁場に対するMn原子1個あたりの磁化の大きさの変化の様子を示す。格子の隙間に入り込んだMnの量が少なく、 $T_C$ の高い $x=0.042$ の試料(試料中のMnのうち格子の隙間に入り込んだMnは約26%)の方が $x=0.078$ の試料(同様約33%)に比べて、  
(1) 自発磁化が大きいこと  
(2) 磁場の大きさに対する磁化の傾きが大きいこと  
がわかる。これは、Gaと置換したMnが強磁性状態になる一方で、同じMnであるにも関わらず、格子の隙間に入り込んだMnが強磁性を打ち消す働きをしていることを示す。つまり、格子の隙間に入り込んだMnが全くない試料が作製できれば、 $Ga_{1-x}Mn_xAs$ の強磁性転移温度が上昇することを示す。

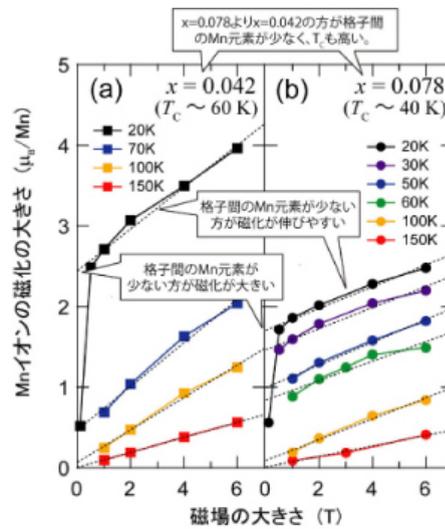


図2 Ga<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Asの磁化の磁場依存性。  
(a)Mn濃度x=0.042(4.2%)、(b)Mn濃度x=0.078(7.8%)

#### 成果の波及効果:

希薄磁性半導体の最も代表的物質であるGa<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Asにおいて、その磁性を決定しているマンガンの磁気的な役割を明確に示した結果であり、強磁性発現のメカニズムの理解に大きく貢献するものであると同時に、Ga<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Asの磁気的特性向上への明確な指針が与えられた。また、Zn<sub>1-x</sub>Cr<sub>x</sub>TeやZn<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>Oなど他の希薄磁性半導体においても、結晶格子の隙間に入り込んだ磁性原子の影響については分かっていないことが多く、今回の成果は希薄磁性半導体の研究分野全体に重要な知見を与えるものである。

#### 今後の研究課題:

試料作製後に熱処理することによってGa<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Asの磁気特性を向上させることができるが、まだ室温以上での動作を確認した例がない。今回の成果により、動作温度上昇によって結晶格子の隙間に入り込んだMnが原因であることが判明したので、これをできるだけ排除するような結晶育成プロセスの改良・研究開発が望まれる。



	English	中文	交通アクセス・地図	お問い合わせ	サイトマップ	サイト内検索
	受験生の方	広大へ留学希望の方	一般・地域の方	企業の方	卒業生の方	在学生・保護者の方

大学案内

[トップページ](#) > [広報・報道](#) > [報道発表・報道された広島大学](#) > [平成20年1月-12月](#) > 用語解説

入試情報

用語解説

教育・学生生活

用語解説

研究

社会連携

留学・国際交流

学部・大学院等

研究所・施設等

広報・報道

採用情報

校友会・同窓会

支援財団・基金

図書館・博物館等

大学病院

附属学校

広大公式アカウント一覧

Twitter

Facebook  
(日本語版)

Facebook  
(英語版)

YouTube

行事カレンダー

ストリートビュー

キャンパスカメラ

学内ポータル

## 1) 半導体スピントロニクス

スピントロニクスは、電子が持っている「電気を流す性質」と「磁石になる性質」の2つの性質を利用し、まったく新しい機能を持つ素材や素子を開発する研究分野で、スピンエレクトロニクスとも言われている。現代社会を支えている半導体エレクトロニクスでは半導体を材料として用い、電子の「電気を流す性質」だけを使っている。半導体スピントロニクスでは、半導体工学と磁気工学を融合させて既存デバイスの限界打破と新機能の実現を目指している。

## 2) 希薄磁性半導体

半導体の中に鉄やコバルト、マンガンなどの磁性をもつ原子を希薄(数%程度)に混入させた物質である。半導体は磁石の性質を持たないが、希薄磁性半導体では半導体と磁性体の特性が互いに関連した特異な現象が観測されており、半導体スピントロニクス材料として注目されている。

## 3) 磁性原子

鉄やコバルト、マンガンなどの遷移金属、セリウムやネオジウムなどの希土類金属やウランなどのアクチノイドに代表される磁石の性質を示す原子。

## 4) スピン(磁性)自由度

電子は自転の向きにより上向きと下向きのスピンをもつことができる。どちらの向きを持つかは条件によって変わる。この電子のスピンが磁石の根源である。

## 5) MRAM

Magnetoresistive Random Access Memory の略語。磁気によってデータを記憶するメモリ。

高速・不揮発のRAMとして近年盛んに研究されている。MRAM素子は、単にメモリ素子としての応用だけでなく、CMOSと組み合わせて論理回路を構成することもできる。またデバイス作製後でも磁気情報を書き換えることにより、論理回路の再構成が可能であることも特長としてあげられる。

## 6) 量子コンピュータ

コンピュータ演算においては2進数(「0」と「1」)が使われる。半導体エレクトロニクスでは電子の流れ「電流」を用いて、電流が流れれば「1」、流れなければ「0」に対応させて現代のコンピュータ社会の実現を成功させた。半導体スピントロニクスでは、さらに電子のスピン向きを、たとえば上向きを「1」、下向きを「0」とすれば、これも演算に利用できる。そして、個々のスピン情報を量子ビット(キュービット)として利用するのが量子コンピュータである。量子コンピュータは膨大な並列処理を可能にし従来のコンピュータに比べ格段に高い性能を発揮すると期待されている。

## 7) 希薄磁性半導体ガリウムマンガンヒ素(Ga<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>As)

既存のエレクトロニクス材料であるIII-V族化合物半導体GaAs(ガリウムヒ素)を母体とし、Ga原子を磁性原子のMn原子で置換した物質であり、半導体スピントロニクスの有力候補材料である。

## 8) 強磁性転移温度

一般に、強磁性を示す金属は、ある値以上に温度を上げると強磁性の性質を失う。この温度のことを強磁性転移温度(キュリー温度: Curie Temperature 略してT<sub>C</sub>)という。例えば、鉄は室温では磁石になっているが、温度を上げていくと770℃以上で磁石ではなくなる。つまりT<sub>C</sub>が室温以上でない、日常生活の環境において磁石としての性質を利用できない。

---

[>広島大学公式ウェブサイトについて\(サイトポリシー\)](#) [>プライバシーポリシー](#)

Copyright(C) 2003-2014 [広島大学](#)  
\* [電話番号](#)・[所在地](#)  
<編集>: [広島大学広報グループ](#)  
 [お問い合わせはこちら](#)