

# 世界最高温度(27℃)で強磁性を示す 半導体新材料(Zn,Cr)Teの開発に成功

## 磁性体と半導体の機能を併用するスピントロニクス素子の実現に道を開く

産総研エレクトロニクス研究部門では、II-VI族半導体ZnTeに磁性元素Crを多量に導入することにより、世界最高温度(+27℃)で機能する強磁性半導体物質(Zn,Cr)Teの合成に成功した。従来の強磁性半導体物質の強磁性発現温度は最高でも-100℃程度に留まっていたが、今回の成果はこれを大きく上回るものである。電気的特性に関しても通常の半導体的な特性を保持しており、応用上重要なキャリア制御が可能であることが期待される。また、可視光に対して透明であり、光学応用として適した材料である。今回の成果は磁性体のメモリ機能を有する新しい電気・光信号処理機能半導体素子(スピントロニクス素子)実現の道筋を拓くものである。

### 新機能素子の実現を図る

－例えば待機電力ゼロへ－

将来の高度IT社会を支える技術として、電子の電荷とスピン両方の性質を同時に取り入れて、新機能素子の実現を図るスピントロニクス技術が大きく注目されている。その理由は、今後メモリ機能を利用する電子・光デバイス開発が必須であることが明白であるからである。例えば、現在、コンピュータや家電製品の待機電力の増大が深刻になっている。これは、電荷のみを利用している現在のメモリ技術が抱える本質的な問題である。ここで、不揮発性メモリの導入が可能ならば待機電力ゼロのコンピュータ等が実現されよう。このような不揮発性を有する電子・光機能素子の実現のためには、磁氣的機能と半導体的機能を併せ持ち、

かつそれらの機能が互いに強く結びついている新材料の利用が不可欠とされている。このため、強磁性を示す半導体物質の研究開発が世界的に盛んに行われている。現在までにInAsやGaAsをベースにその一部をMn(マンガン)イオンで置換した(In,Mn)Asや(Ga,Mn)Asにおいて強磁性特性が実現されている。しかし、それら物質の強磁性キュリー温度は約-100℃に留まっている。

### 「新しい強磁性体」の発見

従来の磁性半導体では磁性イオンとしてもっぱらMnを用いてきたのに対し、我々のグループではCr(クロム)に着目して独自の磁性半導体物質の開発を行い、強磁性の可能性を追求してきた。II-VI族半導体をベースとし、そのZn

図1 (Zn,Cr)Teの磁化曲線

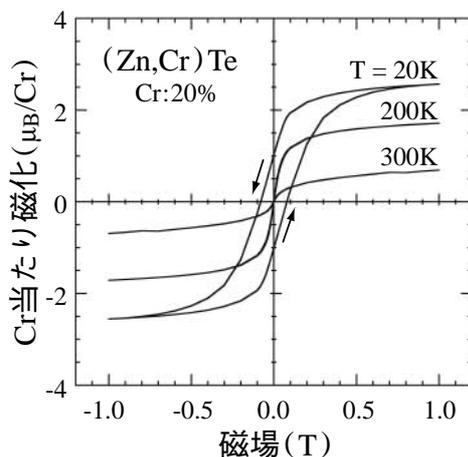
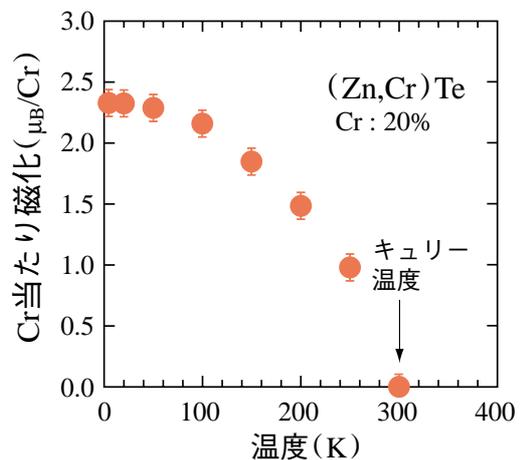


図2 (Zn,Cr)Teの磁化の温度依存性



イオンをCrイオン置換した(Zn,Cr)Teもその一つである。この物質は自然界には存在しない非平衡物質であり、その合成は容易ではない。我々は蒸着法の一つである分子線エピタキシー法を用いることにより、高品位 (Zn,Cr) Te の合成に取り組んだ。しかし、その開発は困難を極め、既に開発着手より約10年が経過している。この間、我々は成長条件の吟味や装置の改良を行うことにより、問題点を一つ一つ克服してきた。また、新材料開発と平行して強磁性半導体新材料の評価手段(磁気円二色性分光法)をも独自に開発した。以下に具体的な成果を列挙する。

### (1) 世界最高温度の強磁性キュリー温度(+27°C)を有する半導体物質 (Zn,Cr) Te を実現

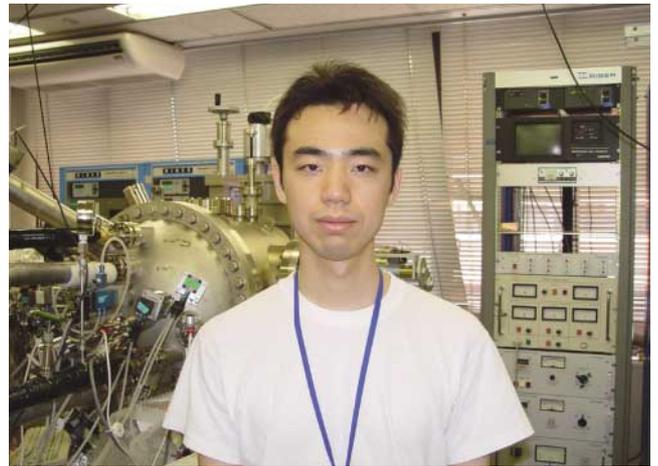
図1はZnの20%をCrで置換した(Zn,Cr)Te試料の-253°C(20K)、-73°C(200K)および+27°C(300K)における磁化曲線である。低温で明確なヒステリシスを示すことから、この試料は強磁性物質であることが明らかである。また、室温付近(300K)でも強磁性の特徴が明確である。磁化の温度依存性(図2)より、この試料の強磁性キュリー温度は300Kであることがわかる。この値は現在までに強磁性半導体あることが確認されている(In,Mn)Asや(Ga,Mn)Asの強磁性キュリー温度を大きく上回る(図3)。

### (2) 半導体的な電気伝導特性を示す初めての強磁性半導体

従来のIII-V族ベースの強磁性半導体は多量のホール(10<sup>20</sup>/cc)の導入により強磁性を実現している。このためその伝導特性や光学特性は半導体的というよりは金属的であり、半導体的な応用が困難であった。(Zn,Cr)Teの電気伝導は半導体的であり、半導体デバイス実現に不可欠なキャリア制御が可能になると期待される。

### (3) 可視光を通すワイドギャップ半導体ZnTeを母体とする光学応用に適した材料

II-VI族半導体は光デバイス材料としての実績がある材



世界最高温度で強磁性を示す半導体新材料 (Zn,Cr) Teの開発に成功したエレクトロニクス研究部門 齋藤研究員。後ろは(Zn,Cr)Te膜作製装置(分子線エピタキシー装置)。

料である。(Zn,Cr)Teの母体半導体であるZnTeも波長550nm以上の黄、赤などの可視光に対して透明であるため、(Zn,Cr)Teも光学応用に適した材料として期待される。

### (4) (Zn,Cr) Te が真性の強磁性半導体であることの証拠となる、磁氣的機能と半導体的機能の相互作用の検出に成功

近年、多数の“室温強磁性半導体”の報告があるが、本質的な室温強磁性半導体として認知されている物質は無い。その理由は、磁性半導体の最大の特徴である磁氣的機能と半導体的機能の強い結び付き(sp-d交換相互作用)が確認されていないためである。今回、磁気円二色性分光法と呼ばれる独自の評価技術を用いて(Zn,Cr)Teにおけるsp-d交換相互作用を検知することに成功し、同物質が本質的な強磁性半導体である確証を得た。

## 更に新しい物質系の開発へ

更に結晶成長技術を高度化し、より高い強磁性キュリー温度を実現すると共に、半導体デバイスへの応用に不可欠なキャリアドープ技術を開発する。これにより、不揮発性を有する電子・光機能素子の実現を目指す。また、(Zn,Cr)Teの強磁性発生機構には基礎科学的な面からの注目も強いいため、その解明を行い、その成果を基に更に新しい物質系を開発する。

● 本研究の成果は国際的にも大きな反響を呼んでおり、米国物理学会発表のPhysical Review Letters誌に掲載された。

#### ● 問い合わせ

独立行政法人 産業技術総合研究所  
エレクトロニクス研究部門  
スピントロニクスグループ 齋藤 秀和  
E-mail : h-saitoh@aist.go.jp  
〒305-8568  
茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第2

図3 強磁性半導体の強磁性キュリー温度の比較

