

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18360006
 研究課題名（和文） 強磁性半導体のドーピングによる磁性制御と電界制御磁気デバイスへの応用
 研究課題名（英文） Control of magnetism of ferromagnetic semiconductors by co-doping and its application to an electric-control magnetic device
 研究代表者 滝田 宏樹（TAKITA Koki）
 筑波大学・名誉教授
 研究者番号 00011213

研究成果の概要：強磁性半導体(Zn,Cr)Teにおける荷電性の不純物ドーピングによる磁性の変化を調べた。(Zn,Cr)Teにアクセプター性不純物である窒素をドーピングすると強磁性が抑制されるが、分子線エピタキシー法により成長した窒素ドーピング(Zn,Cr)Teにおいて、窒素のドーピング量と強磁性特性との定量的関係より、窒素ドーピングに伴うCrイオンの価数変化と強磁性抑制との関係を解析し、この系の強磁性メカニズムについての考察を行った。さらに、(Zn,Cr)Te層と非磁性半導体である窒素ドーピング(Zn,Mg)Te層からなるp型の変調ドーピングヘテロ構造を作製し、ヘテロ界面に生成される2次元正孔により(Zn,Cr)Te層の強磁性が抑制されることを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成18年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
平成19年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
平成20年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：半導体工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

キーワード：スピントロニクス

1. 研究開始当初の背景

近年、スピントロニクスへの応用を視野に入れ、強磁性となる半導体物質が注目を集めている。室温以上の転移温度を有する強磁性半導体の新物質探索が活発に行われているが、単に高い転移温度の実現を目指すだけでなくドーピングなどの手法により磁性を制御という半導体としての特徴を活かした機能発現の試みもなされている。強磁性半導体として最も良く研究されている(In,Mn)Asや(Ga,Mn)Asにおいては、Mnは磁性元素であると同時にアクセプターとしてはたらき、供給された正孔がMnスピン間の相互作用を媒介するというキャリア誘起のメカニズムにより強磁性が発現すると考えられている。このキャリア誘起メカニズムによると強磁性

転移温度などの強磁性特性はキャリア(この場合は正孔)濃度に依存し、実際に(In,Mn)As, (Ga,Mn)Asをチャンネル層とする電界効果トランジスター型構造においてゲート電圧の印加により正孔濃度を変化させ、強磁性転移温度を制御できることが示されている。ただ(In,Mn)As, (Ga,Mn)Asは現在のところ強磁性転移温度 T_C は室温より低く、そのままでは実用デバイスへの応用は難しいと考えられる。一方でより高い T_C を持つ強磁性半導体の物質探索が活発に行われているが、その中でII-VI族半導体ZnTeにCrを添加した(Zn,Cr)Teは室温強磁性半導体の有力な候補として注目されている。しかしながら(Zn,Cr)Teは電気的には絶縁体的な振舞いを示し、またCrはZnTeに2価のイオンとして取り込まれ電気

的に中性なため、強磁性の起源はキャリア誘起のメカニズムとは異なると考えられている。(Zn,Cr)Te 中の Cr の 3d 電子は ZnTe のバンドギャップ中の深い位置に局在準位を形成し、この局在準位にある 3d 電子のスピ間に強磁性的な相互作用がはたらく。その起源として、超交換相互作用あるいは二重交換相互作用によるモデルが理論的に提唱されているが、詳細は未だ明らかになっていない。さらにこれまでの我々の研究により、(Zn,Cr)Te の強磁性特性はドナーあるいはアクセプターの荷電性の不純物をドーピングすることにより大きく変化することが明らかになっている。すなわち、アクセプター性の不純物をドーピングすると T_C は低下し、逆にドナー性不純物をドーピングすると T_C が著しく上昇する。このような荷電性の不純物のドーピングによる強磁性特性の変化は、Cr の 3d 局在準位の電子数すなわち Cr イオンの価数の増減により Cr スピン間の相互作用が変化するためであると推測される。本研究では、(Zn,Cr)Te に荷電性の不純物をドーピングした試料の磁性を調べることにより両者の相関を定量的に明らかにし、強磁性特性をドーピングにより制御することを目指して研究を行った。

2. 研究の目的

上に述べたように(Zn,Cr)Te にドナー性不純物であるヨウ素(I)をドーピングすると強磁性転移温度は大幅に上昇するが、ヨウ素をドーピングした試料では結晶中の Cr の分布が不均一となり、Cr が高濃度に凝集した領域が形成されることがナノスケールの組成分析により見出されており、この Cr 凝集領域の形成が強磁性の増強の原因であると考えられている。一方、アクセプター性不純物である窒素(N)をドーピングした試料では結晶中の Cr 分布は均一なままであり、窒素ドーピングによる強磁性の抑制は電子状態の変化によるものと考えられる。そこで本研究ではアクセプター性不純物である窒素のドーピングによる磁性変化に焦点をあて、ドーピング濃度を広い範囲で変化させた試料の磁性を調べることにより、Cr の 3d 電子数(価数)と磁性との相関を定量的に明らかにし、この系の強磁性メカニズムの理論構築に寄与することを目指して研究を行った。さらにそのドーピングによる磁性制御の応用の一例として、(Zn,Cr)Te の p 型変調ドーピングヘテロ構造を作製し、ヘテロ界面における 2 次元の正孔による(Zn,Cr)Te 層の磁性の変化を検証し、電界効果トランジスタ型素子構造などにおける外部電界による磁性制御の可能性を探った。

3. 研究の方法

(Zn,Cr)Te の薄膜は固体ソースの分子線エ

ピタキシー(MBE)により GaAs(001)基板上に ZnTe 緩衝層を介して成長した。窒素のドーピングには rf 励起によりプラズマ化した窒素ガスを供給源として用いた。ここでは Cr 組成を一定値とし、窒素濃度を $10^{18} \sim 10^{20} \text{cm}^{-3}$ の範囲で変化させた一連の試料を作製した。成長した(Zn,Cr)Te:N 薄膜における Cr の組成は電子線プローブマイクロアナライザー(EPMA)により評価し、窒素濃度の分布は二次イオン質量分析(SIMS)により評価した。試料の磁化測定は超伝導磁束量子干渉計(SQUID)により行い、薄膜の成長面に垂直に磁場を印加した配置下の磁化を測定し、その印加磁場、温度に対する依存性の解析より、系の磁性の特徴的な振舞いを調べた。

また併せて(Zn,Cr)Te をベースとした p 型変調ドーピングヘテロ構造を作製した。試料構造は、同じく GaAs(001)基板上に ZnTe 緩衝層を介して、非磁性の(Zn,Mg)Te:N 層、(Zn,Cr)Te 層を積層した変調ドーピングヘテロ構造とした。(Zn,Mg)Te:N 層の Mg 組成 26%、窒素濃度 $[N] \sim 1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ とし、(Zn,Cr)Te 層の Cr 組成を変化させた。またヘテロ界面の正孔による磁性の影響を抽出して見るために、同一の構造パラメーターで(Zn,Mg)Te 層に窒素をドーピングしていないアンドープのヘテロ構造試料も作製し、比較参照用とした。(Zn,Cr)Te 層の磁性は、SQUID による磁化測定と併せて、反射配置での磁気円二色性(MCD)スペクトル測定も行い、膜厚の薄い(Zn,Cr)Te 層($\sim 16 \text{nm}$)の磁化の変化を磁気光学効果により高感度で検出することを試みた。

4. 研究成果

(1) まず(Zn,Cr)Te 薄膜試料における窒素ドーピングによる磁性変化の研究結果について述べる。研究の方法の項で述べたように、(Zn,Cr)Te の Cr 組成は一定とし、窒素濃度を $10^{18} \sim 10^{20} \text{cm}^{-3}$ の範囲で変化させた一連の試料に対して磁化測定を行い、窒素濃度による磁化の変化を調べた。図 1 に Cr 組成 5% の試料の磁化の磁場依存性($M-H$ 曲線)を示す。窒素濃度が $[N] = 8 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下の試料では $M-H$ 曲線にヒステリシスが生じ、その形は窒素濃度により殆ど変わらないが、 $[N] = 1.7 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ に達するとヒステリシスが消失し、飽和磁化の値も大幅に低下している。このように(Zn,Cr)Te の強磁性は窒素濃度のある値を閾値として急激に消失する傾向があるように見える。Arrott plot 解析によりキュリー温度 T_C を求めると、窒素をドーピングしていないアンドープの(Zn,Cr)Te 薄膜では $T_C \sim 40 \text{K}$ の強磁性を示すが、窒素をドーピングした試料では窒素濃度の増加に伴い強磁性転移温度が低下し、やがて消失することが明らかとなった。(Zn,Cr)Te:N 試料の磁性のさまざまな側面を明らかにするため、 $M-H$ 曲線および磁化の温

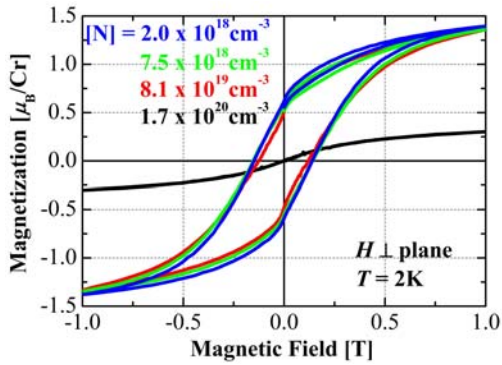


図 1: 窒素ドーピング (Zn,Cr)Te 薄膜試料の SQUID により測定した M - H 曲線。Cr 組成は 5% と一定で、窒素濃度 $[N]$ を $2.0 \times 10^{18} \sim 1.7 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で変化させた 4 つの試料に対する測定結果を示す。磁場印加方向は薄膜の成長面に垂直で、測定温度は 2K。

度依存性 (M - T 曲線) の解析より、磁性の臨界的な振舞いを表す特徴的な温度 — キュリー温度 T_C 、磁化率の温度依存性の Curie-Weiss 則へのフィッティングから導かれる常磁性キュリー温度 Θ_P 、さらに零磁場冷却過程で M - T 曲線のピークとして現れるブロッキング温度 T_B — を導いた。Cr 組成が約 5% と一定の試料における、これらの磁性の振舞いを表す特徴的な温度の窒素濃度 $[N]$ に対するプロットを図 2 に示す。図に示すとおり、3 つの特徴的な温度 T_C 、 Θ_P 、 T_B は、窒素濃度が最も小さい $[N] = 2.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ におけるそれぞれの値 ($T_C = 40 \text{ K}$ 、 $\Theta_P = 200 \text{ K}$ 、 $T_B = 12 \text{ K}$) から $[N]$ の増加に伴い概ね緩やかに下降するが、 $[N] \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ に達する辺りで急激に低下し、 $[N] = 1.3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ でいずれの温度も 0 K となって強磁性は完全に消失していることがわかる。

(Zn,Cr)Te にアクセプターをドーピングしていない真性の状態においては、Cr の 3d 電子は ZnTe のバンドギャップ中の深い位置に

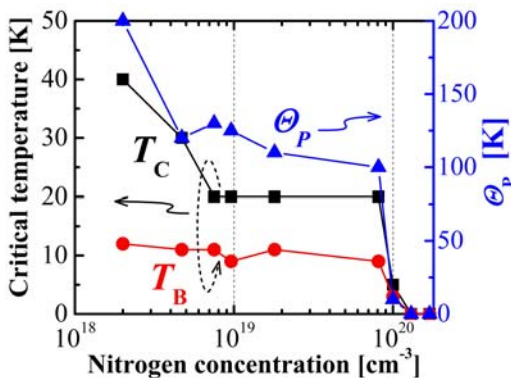


図 2: (Zn,Cr)Te:N 薄膜試料の磁性の臨界的な振舞いを表す 3 つの特徴的な温度 — キュリー温度 T_C 、常磁性キュリー温度 Θ_P (縦軸左)、ブロッキング温度 T_B (縦軸右) — の窒素濃度に対する依存性。

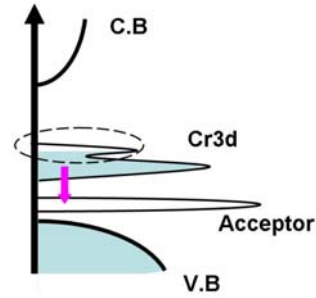


図 3: 窒素ドーピング (Zn,Cr)Te の電子状態の模式図。ZnTe のバンドギャップ中に形成された Cr 3d 電子の局在準位から窒素の浅いアクセプター準位に電子が落ち込むことにより、局在準位の電子数が減少する。

局在準位を形成し、この局在準位を Cr 1 原子あたり 4 個の 3d 電子が占有した状態になっている。これに対し、窒素をドーピングすると価電子帯の直上に浅いアクセプター準位が形成され、3d 局在準位の電子はこのアクセプター準位へ落ち込み、局在準位を占める電子数、すなわち Cr イオンの価数が変化すると考えられる (図 3)。図 2 の窒素濃度依存性の実験結果で強磁性がちょうど消失するあたりの窒素濃度 $[N] \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ において、Cr イオンの価数がどの程度変化しているかを以下のような考察により見積もった。Cr 1 原子に対して窒素 1 原子がドーピングされた場合、3d 局在準位を占めていた電子 1 個が窒素によるアクセプター準位に落ち込み、3d 局在準位の電子数が 1 個減少すると考えられる。このような単純なモデルにより、上記の強磁性がちょうど消失した試料における Cr と窒素濃度の相対比 $[N]/[\text{Cr}]$ から 3d 局在準位の電子数を見積もると、アンドープの状態に比べて Cr 1 原子あたり 0.1~0.2 個減少していることになる。従って今回の実験結果からは、アンドープの状態で局在準位を占める 3d 電子スピン間に作用していた強磁性的相互作用が、局在準位の電子数の Cr 1 原子あたり 0.1~0.2 個程度の減少により消失することが示された。この結果は、Cr スピン間の相互作用の起源を考察する上で重要な実験事実であり、現在提唱されている強磁性メカニズムの理論との比較・検討が望まれる。

(2) 次いで、(Zn,Cr)Te ベースの p 型変調ドーピングヘテロ構造についての研究結果を述べる。研究の方法の項で述べたように、(Zn,Cr)Te/(Zn,Mg)Te ヘテロ構造で、同一の構造パラメーターで非磁性の (Zn,Mg)Te 層に窒素をドーピングした p 型変調ドーピング構造とドーピングしていない比較参照試料を用意し、両者の磁性を比較することにより、 p 型変調ドーピング構造におけるヘテロ界面の正孔の磁性への影

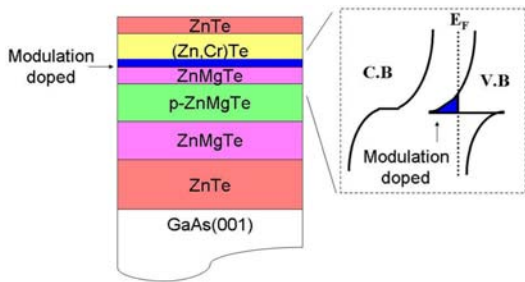


図4: (Zn,Cr)Te/(Zn,Mg)Te:N からなる p 型変調ドーピングヘテロ構造試料の断面と変調ドーピング部分のバンドの模式図。

響を調べた。図5は、(Zn,Cr)Te層中のCr組成5%の p 型変調ドーピングとアンドーピングのヘテロ構造試料のSQUIDによる磁化曲線の測定結果を比較したものである。図から明らかのように、 p 型変調ドーピング試料の磁化は、アンドーピングの参照試料に比べて大幅に抑制されている。またArrott plot解析により導かれるキュリー温度 T_C は、アンドーピングの参照試料で $T_C = 70\text{K}$ であったのが、 p 型変調ドーピング試料では $T_C = 40\text{K}$ と低下し、ヘテロ界面における正孔の影響により(Zn,Cr)Te層の強磁性が抑制されることが明らかとなった。またMCD測定では、ZnTeのバンドギャップである 2.4eV 付近におけるMCD信号強度の磁場依存性において、SQUIDにより測定した磁化曲線と同様の振舞いが観測され、 p 型変調ドーピング試料における強磁性の抑制が磁気光学効果においても現れることを確認することができた。今回の実験で明らかとなった p 型変調ドーピング試料における強磁性の抑制は、ヘテロ界面に生成した正孔の影響により(Zn,Cr)Te層のヘテロ界面近傍における $3d$ 局在準位の電子数が減少したことによると考えられ、(1)で述べた(Zn,Cr)Te薄膜における窒素ドーピングによる強磁性抑制と同種の現

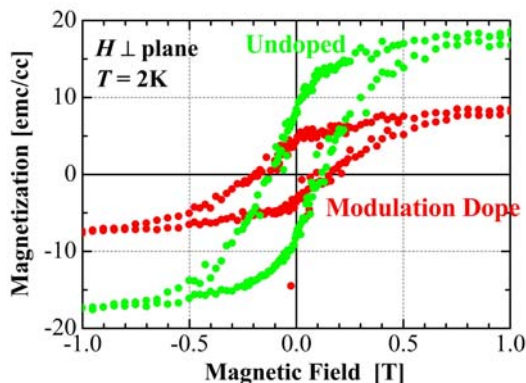


図5: (Zn,Cr)Te/(Zn,Mg)Te (Cr組成5%, Mg組成26%)からなる p 型変調ドーピングヘテロ構造(赤)とアンドーピングのヘテロ構造(緑)の $M-H$ 曲線。磁場印加方向は薄膜の成長面に垂直で、測定温度は 2K 。

象であると言える。ただ、 p 型変調ドーピング構造では、ヘテロ界面の正孔が(Zn,Cr)Te層の磁性に与える影響を外部電界の印加などにより変化させることができると考えられ、電界による磁性制御に結びつく可能性が期待される。すなわち、本研究の p 型変調ドーピングヘテロ構造の上部に絶縁層を介してゲート電極を装着すれば電界効果トランジスタ型構造となり、ゲート電極に電圧を印加すると、ヘテロ界面の正孔による(Zn,Cr)Te層の $3d$ 局在準位の電子数変化を制御できると考えられる。現在、そのような電界による磁性制御のデバイス構造作製の検討を行っている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計10件)

1. H. Ofuchi, K. Ishikawa, K. Zhang, S. Kuroda, M. Mitome, Y. Bando, "Fluorescence XAFS analysis of local structures in iodine-doped $\text{Zn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{Te}$ ", Journal of Physics: Conference Series **190**, 012103, 1-4 (2009).
2. Y. Nishio, K. Ishikawa, S. Kuroda, M. Mitome, Y. Bando, "Formation of Cr-rich nano-clusters and columns in (Zn,Cr)Te grown by MBE", Materials Research Society Symposium Proceedings, vol. 1183, 1183-FF01-11, 1-6 (2009).
3. K. Ishikawa, N. Nishizawa, S. Kuroda, H. Ikeda, K. Takita, M. Mitome, Y. Bando, T. Dietl, "Inhomogeneous Cr distribution and superparamagnetic behavior in magnetic semiconductor (Zn,Cr)Te", Physics of Semiconductors, AIP Conference Proceedings vol. 1199, pp. 419-420 (2009).
4. N. Nishizawa, K. Ishikawa, S. Kuroda, M. Mitome, Y. Bando, T. Dietl, "Correlation between Cr Distribution and Ferromagnetism in Iodine-Doped (Zn,Cr)Te", Journal of the Korean Physical Society **53**, 2917-2920 (2008)
5. F. Takano, T. Nishizawa, J. W. Lee, S. Kuroda, Y. Imanaka, T. Takamasu, H. Akinaga, "Magneto-optical properties of n-type modulation-doped (Cd,Cr)Te quantum well", Physica E **40**, 1166-1168 (2008).
6. N. Nishizawa, S. Kuroda, K. Takita, M. Mitome, Y. Bando, T. Dietl, "Correlation between ferromagnetism and cluster formation in (Zn,Cr)Te co-doped with charge impurities", Materials Research Society Symposium Proceedings, vol. 999, 0999-K06-11, 1-5 (2007).

7. S. Kuroda, N. Nishizawa, K. Takita, M. Mitome, Y. Bando, K. Osuch, T. Dietl, "Origin and control of high temperature ferromagnetism in semiconductors, Nature Materials **6**, 440-446 (2007).
8. H. Ofuchi, N. Ozaki, N. Nishizawa, H. Kinjyo, S. Kuroda, K. Takita, "Fluorescence XAFS study on local study around Cr atoms doped in ZnTe", AIP Conference Proceedings vol. 882 "X-ray Absorption Fine Structure – XAFS13: 13th International Conference", pp. 517-519 (2007).
9. N. Nishizawa, S. Marcet, N. Ozaki, S. Kuroda, K. Takita, "Magneto-optical study of ferromagnetic semiconductor (Zn,Cr)Te", physica status solidi (c) **3**, 4102-4105 (2007).
10. N. Ozaki, N. Nishizawa, S. Marcet, S. Kuroda, O. Eryu, K. Takita, "Significant enhancement of ferromagnetism in Zn_{1-x}Cr_xTe doped with iodine as an n-type dopant", Physical Review Letters, **97**, 037201, 1-4 (2006).

[学会発表] (計 26 件)

◎ 国際会議

1. S. Kuroda, K. Ishikawa, K. Zhang, Y. Nishio, M. Mitome, Y. Bando, "Formation of Cr-rich nano-clusters and columns in (Zn,Cr)Te grown by MBE", Materials Research Society (MRS) Spring Meeting (13-17 April 2009, San Francisco, USA).
2. S. Kuroda, K. Ishikawa, M. Mitome, Y. Bando, "Inhomogeneous Cr distribution and superparamagnetic properties of (Zn,Cr)Te", 53rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM-53) (10-14 November 2008, Austin, USA).
3. K. Ishikawa, S. Kuroda, "Magnetic properties of magnetic semiconductors with inhomogeneous distribution of magnetic elements", 5th International Conference on Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-V) (3-6 August 2008, Foz do Iguaçu, Brazil).
4. S. Kuroda, "Control of nanocluster formation and ferromagnetic properties in diluted magnetic semiconductors (*invited*)", 29th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS-29) (27 July-1 August 2008, Rio de Janeiro, Brazil).
5. K. Ishikawa, N. Nishizawa, S. Kuroda, K. Ikeda, K. Takita, M. Mitome, Y. Bando, T. Dietl, "Inhomogeneous Cr distribution and superparamagnetic behaviors in magnetic semiconductor (Zn,Cr)Te", 29th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS-29) (27 July-1 August 2008, Rio de Janeiro, Brazil).
6. S. Kuroda, "Control of nanocluster formation and ferromagnetic properties by co-doping charge impurities in ferromagnetic semiconductors (Zn,Cr)Te (*invited*)", Polish-Japanese Joint Seminar "Ferromagnetism and Magnetic Nanostructures in Semiconductors" (27-28 September 2007, Leszno, Poland).
7. N. Nishizawa, K. Ishikawa, S. Kuroda, M. Mitome, Y. Bando, T. Dietl, "Correlation between Cr distribution and ferromagnetism in iodine-doped (Zn,Cr)Te", 13th International Conference on II-VI Compounds (II-VI 2007) (10-14 September 2007, Jeju, Korea).
8. S. Kuroda, N. Nishizawa, K. Takita, M. Mitome, Y. Bando, "Correlation between ferromagnetism and cluster formation in (Zn,Cr)Te co-doped with charge impurities", Materials Research Society (MRS) Spring Meeting (9-13 April 2007, San Francisco, USA).
9. S. Kuroda, "Effects of co-doping on ferromagnetism in (Zn,Cr)Te (*invited*)", American Physical Society (APS) 2007 March Meeting (5-10 March 2007, Denver, USA).
10. S. Kuroda, "Semiconductor spintronics based on ZnTe: the state of the art towards room-temperature ferromagnetism (*invited*)", Handai International Symposium 'Nanoscience and Nanotechnology (20-22 November 2006, Osaka University).
11. S. Kuroda, "Ferromagnetism in donor and acceptor doped (Zn,Cr)Te" (*invited*), 4th International Conference on Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (15-18 August 2006, Sendai).
12. S. Kuroda, "Novel ferromagnetic semiconductor (Zn,Cr)Te — doping of charge impurities and magnetic properties (*invited*)", 25th International School on the Physics of Semiconducting Compounds "Jaszowiec 2006" (17-23 June 2006, Jaszowiec, Poland).

◎ 国内学会

1. 黒田 眞司, 石川 弘一郎, 張 珂, 西尾 陽太郎 「磁性半導体(Zn,Cr)Te における Cr 凝集クラスターの形成と超常磁性」第 56 回応用物理学関係連合講演会 (2009 年 3 月 30 日~4 月 2 日、筑波大学)
2. 大淵 博宣, 石川 弘一郎, 張 珂, 黒田

- 眞司, 三留 正則, 板東 義雄「ヨウ素ドーブ(Zn,Cr)Teの蛍光XAFS法による局所構造評価」第56回応用物理学関係連合講演会(2009年3月30日~4月2日、筑波大学)
3. 黒田 眞司「半導体における磁性元素の高濃度ドーピングと非一様分布」(シンポジウム「高濃度ドーピングへの挑戦とそれに伴う格子欠陥の解決」)日本物理学会第64回年次大会(2009年3月27日~30日、立教大学、立教池袋中学・高校)
 4. 山崎 陽, 片岡 隆史, 坂本 勇太, 藤森 淳, F.-H. Chang, H.-J. Lin, D.J. Huang, C.T. Chen, 石川 弘一郎, 黒田 眞司「軟 X 線磁気円二色性を用いた $Zn_{1-x}Cr_xTe$ 薄膜の電子状態に関する研究」日本物理学会第64回年次大会(2009年3月27日~30日、立教大学、立教池袋中学・高校)
 5. 張 珂, 西尾 陽太郎, 及川 晴義, 石川 弘一郎, 黒田 眞司, 三留 正則, 板東 義雄「(Zn,Cr)Te における Cr-rich ナノカラムの形成と磁化特性」第13回半導体スピニ工学の基礎と応用(PASPS-13)(2009年1月27日~28日、東北大学電気通信研究所)
 6. 石川 弘一郎, 張 珂, 黒田 眞司, 三留 正則, 板東 義雄「(Zn,Cr)Te における高 Cr 組成の柱状領域の形成」第69回応用物理学学術講演会(2008年9月2日~5日、中部大学)
 7. 清水 翔, 西沢 望, 黒田 眞司, 高増 正「強磁性半導体(Zn,Cr)Te の磁場中反射スペクトル測定」第55回応用物理学関係連合講演会(2008年3月27日~30日、日本大学理工学部)
 8. 石川 弘一郎, 西沢 望, 黒田 眞司, 池田 博, 三留 正則, 板東 義雄「高 Cr 組成(~20%)の(Zn,Cr)Te における Cr 分布と強磁性特性の相関」第55回応用物理学関係連合講演会(2008年3月27日~30日、日本大学理工学部)
 9. 黒田 眞司, 西沢 望, 瀧田 宏樹, 三留 正則, 板東 義雄, トーマス・ディートル「磁性半導体における磁性元素の不均一分布と強磁性特性」(シンポジウム「スピントロニクスはどこまで進んだか」)第55回応用物理学関係連合講演会(2008年3月27日~30日、日本大学理工学部)
 10. 黒田 眞司「磁性半導体における磁性元素の不均一分布と強磁性特性(招待講演)」日本物理学会第63回年次大会(2008年3月22日~26日、近畿大学)
 11. 石川 弘一郎, 西沢 望, 黒田 眞司, 池田 博, 三留 正則, 板東 義雄「ヨウ素ドーブ(Zn,Cr)Te における Cr 組成分布と強磁性特性の成長条件依存性」第12回半導体スピニ工学の基礎と応用(PASPS-12)(2007

年12月20日~21日、大阪大学)

12. 石川 弘一郎, 西沢 望, 黒田 眞司, 池田 博, 三留 正則, 板東 義雄「ヨウ素ドーブ(Zn,Cr)Te における Cr 組成分布と強磁性特性の MBE 成長温度依存性」第68回応用物理学学術講演会(2007年9月4日~8日、北海道工業大学)
13. 西沢 望, 黒田 眞司, 瀧田 宏樹, 三留 正則, 板東 義雄, Tomasz Dietl「ヨウ素ドーブ(Zn,Cr)Te における Cr 組成の不均一と強磁性特性との相関」第67回応用物理学学術講演会(2006年8月29日~9月1日、立命館大学)
14. 小林 紘子, 近藤 剛, 宗片 比呂夫, 西沢 望, 黒田 眞司, 瀧田 宏樹「ZnCrTe の磁性に対する光誘起効果」第67回応用物理学学術講演会(2006年8月29日~9月1日、立命館大学)

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

「磁性半導体とその製造方法」黒田 眞司、西沢 望、瀧田 宏樹、三留 正則、板東 義雄、トーマス・ディートル
特願 2007-46400(出願日 2007年2月27日)

○取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀧田 宏樹 (TAKITA Koki)

筑波大学・名誉教授

研究者番号: 00011213

(2) 研究分担者

黒田 眞司 (KURODA Shinji)

筑波大学・大学院数理物質科学研究科・教授

研究者番号: 40221949

高増 正 (TAKAMASU Tadashi)

物質・材料研究機構・量子ドットセンター

グループリーダー

研究者番号: 60212015