

Ultrafast manipulation of the electronic structure and magnetization in ferromagnetic epitaxial thin films based on semiconductors

その他のタイトル	半導体をベースとした強磁性エピタキシャル薄膜における電子構造と磁化の超高速制御
著者	石井 友章
学位授与年月日	2018-03-22
URL	http://doi.org/10.15083/00078041

審査の結果の要旨

氏名 石井友章

本論文は、「Ultrafast manipulation of the electronic structure and magnetization in ferromagnetic epitaxial thin films based on semiconductors (半導体をベースとした強磁性エピタキシャル薄膜における電子構造と磁化の超高速制御)」と題し英文で書かれている。本論文では、超高速時間分解反射率スペクトル測定を用いた強磁性半導体における超短パルス光により誘起されたキャリアダイナミクスの観測によるフェルミレベルとそのエネルギー近傍のバンド構造の同定、強磁性半導体における超短テラヘルツパルス光を用いた超高速コヒーレント磁化制御におけるテラヘルツ光の電場成分の磁化ダイナミクスに対する支配的な役割の解明、半導体に埋め込まれた強磁性ナノ微粒子系において得られた非常に大きな磁化のテラヘルツ応答について述べられており、最後にピコ秒での高速磁化反転の実現に向けた強磁性材料開拓の指針について記述されている。

第1章は「Introduction and the purpose of this study」であり、現在、不揮発性でかつ高速なメモリデバイスが求められており、その上で磁気メモリが期待されることが述べられ、バンド構造や磁化をピコ秒オーダーで制御する技術の重要性、そのような目的において重要な強磁性半導体の電子構造の理解、および、本論文の目的が述べられている。

第2章は「Principle of the Measurements」であり、超高速時間分解反射率スペクトル測定の原理、超短パルス光励起により生じる Band filling と Band gap renormalization のメカニズムと、本論文で用いたテラヘルツ光生成の原理の説明がなされている。

第3章は「Electronic structure near the Fermi level in the ferromagnetic semiconductor GaMnAs studied by ultrafast time-resolved light-induced reflectivity measurements」であり、用いた単一光ポンププローブ測定系、測定に用いられた GaMnAs と半絶縁 GaAs の試料構造と磁気特性、GaAs と GaMnAs において得られたピコ秒超短パルスレーザー光励起によるキャリアダイナミクスの超高速時間分解反射率スペクトル測定の実験結果、バンド構造から Kramers-Kronig の関係を用いて計算された反射率スペクトルの実験結果に対するフィッティング、それにより得られたフェルミレベルの位置と共鳴トンネルスペクトロスコーピーから得られたフェルミレベルの位置との比較が述べられており、すべての試料においてフェルミレベルがバンドギャップ内に存在し、従来広く信じられてきた価電子帯バンド描像ではなく、スピン偏極した不純物バンド正孔が GaMnAs の強磁性秩序を安定化させていると結論づけている。

第4章は「Control of the magnetization of GaMnAs using the electric field component of a terahertz light pulse」であり、テラヘルツポンププローブ測定で用いた試料の詳細と測定系の説明、非磁性 GaAs:Be および強磁性 GaMnAs 試料で得られた Franz-Keldysh 効果によるプローブ光の偏光面回転、THz 光の電界成分によるコヒーレントな磁化制御、磁化の面内と面直成分の導出について述べられており、磁化が超短テラヘルツパルス光によって試料面直方向から面内方向に向かって倒れコヒーレントに変調されていることが示され、そのメカニズムの考察がなされている。

第5章は「Large terahertz magnetization response in ferromagnetic nanoparticles」であり、THz コヒーレント磁化制御対象としての強磁性ナノ微粒子系の利点、測定に用いた GaAs:MnAs 試料の詳細と磁気特性および測定系の説明、GaAs:MnAs 試料におけるテラヘルツ光の電場成分に起因した非常に大きな磁化応答、およびその発現機構について述べられている。

第6章は「Summary and Prospect」であり、本論文で得られた結果のまとめと、今後の展望を述べている。

以上これを要するに、本論文は、超高速時間分解反射率スペクトル測定を用いて強磁性半導体 GaMnAs における超短パルス光により誘起されたキャリアダイナミクスの観測を行い、フェルミレベルとそのエネルギー近傍のバンド構造を同定し、GaMnAs における超短テラヘルツパルス光を用いたコヒーレント磁化応答におけるテラヘルツ光の電場成分の支配的な役割を明らかにし、また GaAs:MnAs グラニューラー強磁性薄膜においてテラヘルツ光の電場成分に起因した非常に大きな磁化応答を観測したものである。本論文で得られた研究成果と新しい知見は、スピントロニクス、固体物理学、および電子工学の発展に寄与するところが少なくない。よって本論文は、博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。