

研究課題名 高速ネットワークのためのスピン光機能素子  
所属研究機関名 独立行政法人 産業技術総合研究所  
研究者氏名 Vadym Zayets

## ・研究計画の概要

### 研究の趣旨・目的

現在の光ネットワークはバルク型の光部品を組み合わせられて構成されている。光ネットワークをより高信頼で低コストなものとし、広く社会に浸透させていくためには、これら各種の光部品を一体的に集積化していく技術の開発が必要である。磁気光学素子は光ネットワークに大量に使用されている重要な光部品である。バルク型磁気光学素子には磁性ガーネット酸化物結晶が用いられているが、この結晶の成長には約900℃の高温が必要のため、半導体基板上に成長させることは出来ない。磁性ガーネット酸化物結晶を使用する限りは、磁気光学素子と他の半導体光部品を一体的に集積化することは困難である。各種光部品の一体的集積化という目的にとって、磁気光学素子の集積化は最も実現困難な課題となっている。

本任期待研究員は、磁性ガーネット酸化物結晶に代わる新しい磁気光学材料を使用することにより、この課題の解決を目指している。そのために、全く独自のアイデアを二つ提唱中である。

一つ目のアイデアは、半導体系材料でありながら大きな磁気光学効果を有する希薄磁性半導体材料を用いて、半導体基板上に磁気光学導波路を形成することである。この手法に関しては、世界で唯一、予備実験に成功しており (Zayets et al., Appl. Phys. Lett. 77,1593 (2000))、既に34%の磁気光学導波路モード変換効率を実証している。本研究開発の中ではより高い磁気光学導波路モード変換効率を実現することを目指す。

二つ目のアイデアは、通常の半導体で構成される光増幅器と大きな磁気光学効果を有する強磁性金属を組み合わせたハイブリッド型磁気光学導波路の提案である。本任期待研究員による、この独創的なアイデアについては、すでに、理論計算によるその動作原理を国際誌上(Zayets et al., IEEE Photonics Technol. Lett. 11, 1012 (1999))に報告しており、大きな反響を得ている。この提案を受けて、国内外の複数の研究機関がその実現を目指した研究開発を開始しているが、いずれの機関においても未だ実験的な実証には成功していない。本研究開発では、この独自のアイデアに基づくハイブリッド型導波路型磁気光学素子を提案者自身の手により実証することを目指す。なお、このハイブリッド構造を用いた導波路型磁気光学素子は、光アイソレータのみでなく、その機能を磁気的に調整することのできる光双安定性素子や強磁性体のメモリ機能を組み合わせた不揮発性メモリ機能付きの光論理素子 (Zayets et al., IEEE Photonics Technol. Lett. 13, 185 (2001))への発展の可能性も秘めているため、実現されれば光通信のみでなく高速光計算などへの応用のインパクトも大きい。

### 研究計画の概要

#### (1) 希薄磁性半導体を磁気光学導波路とする光アイソレータの実現

希薄磁性半導体 (Cd,Mn)Te を導波路として用い、GaAs 基板上への磁気光学素子の集積化を実証する。高品質磁気光学導波路の作製技術を確認し、磁気光学導波モード変換効率の向上を実現して、3年を目処に光アイソレーション機能を実証する。5年を目処に半導体レーザーと一体的に集積化された光アイソレータの実証を目指す。

#### (2) 強磁性金属 / 半導体ハイブリッド構造によるスピン光機能素子の実現

半導体光増幅器と強磁性金属を組み合わせたハイブリッド型磁気光学導波路の機能を理論的に明らかにすると共に、その実証を行う。そのために、高利得を有する TM モード動作型半導体光増幅器の作製、高品質強磁性薄膜の作製技術の確立を行う。本任期待研究員が提案するハイブリッド型磁気光学導波路の実現には、磁性、光学、半導体技術の全てにおいて高度な技術が必要である。この3つの要素技術の全てにおいて高い技術を持つ研究グループが存在しないことが、このデバイスの実験的な実証が未だ行われていない最大の理由である。当研究グループは、磁気光学の研究をバックグラウンドとしているため、磁性と光学には高い技術を有するが、半導体光増幅器に関する技術を持たない。そのため、初めの3年間は高品質半導体光増幅器の実現を目標として研究を行い、その後の2年間でハイブリッド型磁気光学導波路を実証する計画である。

研究計画の詳細報告

(単位:百万円)

研究項目	所要経費					合計
	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度	
1. 希薄磁性半導体を磁気光学導波路とする光アイソレータの実現に関する研究	4.0	3.0	3.0			10.0
(1)光損失の低減	4.0	1.0				5.0
(2)導波モード変換効率の向上		2.0	2.0			4.0
(3)光アイソレーション機能の実証と高性能化			1.0			1.0
(4)半導体レーザとの集積化						
2. 強磁性金属/半導体ハイブリッド構造によるスピン光機能素子の実現に関する研究	15.4	10.4	12.8			38.6
(1)高品質半導体薄膜成長技術	15.0	6.0	7.0			28.0
(2)高品質強磁性薄膜成長技術		3.0	3.0			6.0
(3)ハイブリッド構造作製技術		1.0	2.4			3.4
(4)磁気光学効果の実証						
(4)理論的手法による設計	0.4	0.4	0.4			1.2
所要経費(合計) (間接経費を含む)	19.4	13.4	15.8			48.6

## 研究成果の概要

### 研究成果の概要

#### (1) 希薄磁性半導体を磁気光学導波路とする光アイソレータの実現

半導体基板上に集積化することが可能な光アイソレータを実現することを目指し、GaAs 基板上に希薄磁性半導体 (Cd, Mn)Te からなる磁気光学導波路を作製した。(Cd,Mn)Te 薄膜の成長条件の最適化を行うことにより、導波路中の欠陥を大幅に減少させる技術を開発し、2 dB/cm 以下の超低損失光導波路の作製に成功した。また (Cd,Mn)Te 導波路中の光伝搬の解析を行い、90% 以上の高い磁気光学導波モード変換効率を実現することに成功した。国際会議の招待講演などで大きな反響を得ている。これらの結果は、GaAs 基板上の (Cd,Mn)Te 薄膜が実用的な光アイソレータになりうることを初めて明らかにするものである。薄膜作製条件と素子デザインの改善により、平成15年度中には、完全100%のモード変換効率を達成して、その結果を国際学会誌に投稿する予定である。

#### (2) 強磁性金属 / 半導体ハイブリッド構造によるスピン光機能素子の実現

本任期付研究員のオリジナルな提案である半導体光増幅器と強磁性金属のハイブリッド構造を用いる磁気光学素子を最終目標とし、その構成要素である高利得半導体光増幅器のための高品質半導体薄膜作製技術の確立に、ここ2年間の資源の大半を投資してきた。その結果、高品質な (Ga,In,Al)As および (Ga,In)P の作製が可能となり、また GaAs の As 過剰面上に成長させた Fe 膜および Co 膜の表面の凸凹を 15nm 以下に抑えることに成功している。これにより、ハイブリッド構造の構造自体は作製できるようになった。今後、半導体光増幅器の機能の実証と、強磁性金属の装荷による磁気光学効果の実証を行っていく予定である。一方理論的な検討も順調に進んでおり、強磁性金属 / 半導体ハイブリッド構造を用いた高性能光アイソレータの設計条件の明確化と並んで、半導体光増幅器のアクティブな機能と、磁性体のメモリ効果や非相反効果を組み合わせた不揮発性光論理素子や高速光バッファメモリなどの従来にはない新しい機能を有する光素子 (スピン光機能素子) が可能となることを明らかにしてきた。

### 波及効果、発展方向、改善点等

希薄磁性半導体を磁気光学導波路とする光アイソレータに関しては、超低光損失と90%を超える導波モード変換効率の双方を実証することが出来たため、実際にこの構造が光集積回路用の光アイソレータとして実現可能であることが明らかになった。この成果は今後の、各種光部品の一体化という光通信技術の課題に大きく貢献するものである。

強磁性金属 / 半導体ハイブリッド構造による光アイソレータが実際に実現されれば、その作製プロセスの原理的な単純さから光システムに及ぼす影響は非常に大きい。ただし、全く新しい素子構造であり、その実現には磁性、光学、半導体のすべてに極めて高いレベルの技術が要求されるために、世界的にも実験的な実証例はまだない。これまでに開発してきた高品質半導体薄膜成長技術と、半導体上の強磁性金属薄膜の成長技術を元に、世界初の実証に挑戦していく。またそれと平行して、理論的な手段により、この強磁性金属 / 半導体ハイブリッド構造の持つ可能性を明らかにしていきたい。通常の光回路には、原理的にメモリ機能や非相反機能がないが、磁性体の持つメモリ機能と非相反性を半導体光回路に持ち込めれば、不揮発性光機能素子、高速光バッファメモリ、そして光三端子機能素子など非常に高い新機能を有する光素子が実現され、光情報処理と光ネットワークに大きなインパクトを与えることができる。そのためにも、まずは強磁性金属 / 半導体ハイブリッド構造を用いた光アイソレータ機能の実証が重要であると考えている。

## . 研究成果発表等の状況

### (1) 研究発表件数

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合 計
国 内	0 件	0 件	1 件	1 件
国 際	1 件	0 件	1 件	2 件
合 計	1 件	0 件	2 件	3 件

### (2) 特許等出願件数

合計 0 件 (うち国内0件、国外0件)

### (3) 受賞等

0 件 (うち国内0件、国外0件)

### (4) 主な原著論文による発表の内訳

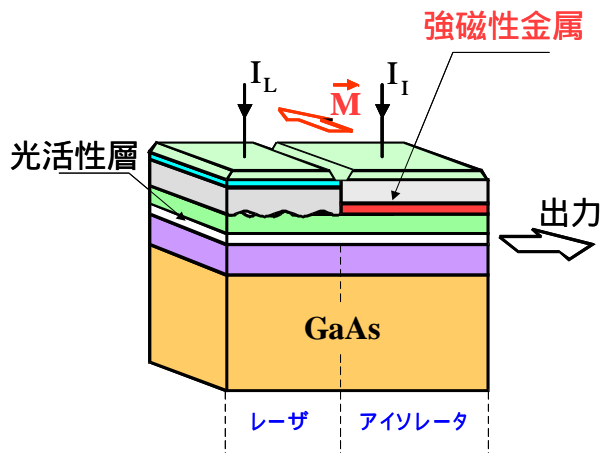
国外誌

1. V.Zayets, R.Akimoto, H.Saito, and K.Ando, "Diluted magnetic semiconductors for magneto-optical applications", Transactions of the Magnetics Society of Japan, Vol.2 (No.4), pp.131-135 (2002).

### (5) 主要雑誌への研究成果発表

Journal	Impact Factor
Transactions of the Magnetics Society of Japan, Vol.2, No.4, pp.131-135 (2002).	0

## 高速ネットワークのためのスピン光機能素子



強磁性金属を半導体光増幅層の上に蒸着するだけで高い性能を持つ光アイソレータが出来ることが理論計算で示されている。これが実現されれば半導体レーザとの一体的集積化が可能となる。本研究では、その原理的実証に挑む。