

## 最近の技術から

# ビスマス置換磁性ガーネットを用いた光アイソレータ

石川 治男・町田 克己

住友金属鉱山(株)電子材料研究所 〒198 青梅市末広町 1-6-1

## 1. はじめに

半導体レーザー (LD) を光源として用いる光ファイバ通信や光計測では、コネクタなどからの反射光が光源の LD にもどると発振が不安定となり周波数特性の劣化や雑音発生の原因となる。そこでこの反射光を防ぐために光を一方にしか通さない光アイソレータが必要不可欠となっている。光アイソレータは、偏光子、検光子、偏光面を  $45^\circ$  回転させるためのファラデー回転子およびファラデー回転子に磁場を印加するための磁石から構成されており、その構成はきわめて簡単である。一例を図 1 に示す<sup>1)</sup>。そのため、素子としての性能は各材料の特性に大きく左右されることになり、光アイソレータの心臓部ともいべきファラデー回転子の高性能化の研究が盛んに行なわれている。

## 2. 光アイソレータ

光アイソレータは、機器の中に組み込んだり、LD と一体化するため、高性能かつ小型であることが望ましい。したがって、一般にファラデー回転子には、1)ファラデー回転係数が大きい、2)ファラデー回転角の温度変化が小さい、3)飽和に要する磁界が小さい、4)使用波長領域に吸収帯をもたない、5)高い消光比をもつ等、総合的に満たすことが求められる。

近赤外域用光アイソレータのファラデー回転子として従来  $Y_3Fe_5O_{12}$  (YIG) が用いられてきた。YIG は、ファラデー回転角の温度変化が小さく、また低損失という長所をもつが、ファラデー回転係数が小さいためファラデー回転子としての厚さが厚くなり (波長  $1.3 \mu m$  において約  $2 mm$ ) 高価格となる、飽和に要する磁界が  $1 kOe$  と大きい、結晶性の良いものが得られにくく高性能光アイソレータの実現が難しいといった欠点をもっている。

最近このファラデー回転子として Bi 置換磁性ガーネットが注目されており、従来の YIG と置き換えられつつある。希土類イオンを Bi イオンで置換するとファラ

デー回転係数が YIG より 1 桁大きくなるため、ファラデー回転子の厚さは YIG のものより  $1/10$  程度薄くなり、光アイソレータをより小型にすることができる。材料の例を挙げると、バルク結晶を用いるものとして、攪拌すくい上げフラックス法で育成した  $(GdBi)_3Fe_5O_{12}$  がある<sup>2)</sup>。また、エピタキシャル厚膜を用いるものに、 $(GdCa)_3(GaMgZr)_5O_{12}$  基板状にエピタキシャル成長させた  $(GdBi)_3(FeAlGa)_5O_{12}$  や  $(YbTbBi)_3Fe_5O_{12}$  などがある<sup>3)</sup>。LPE 法はフラックス法に比べ結晶性や量産性に優れており高品質、低価格のファラデー回転子を供給することができる。これらの材料を用いて試作された光アイソレータの諸特性を表 1 にまとめる。アイソレータの構成は基本的には先に示した図と同じであり、これらはほぼ実用段階に入っている。一方、将来光集積回路へ適用していくために導波路型の光アイソレータの研究開発も進められている。これは非相反の TE-TM モード変換を利用したものであり、LPE 法によって育成した Bi 置換磁性ガーネットにみられる大きな成長誘導屈折と大きなファラデー回転係数により、従来の YIG よりモード変換効率が向上されることが報告されている<sup>4)</sup>。

## 3. 温度特性の改善

光アイソレータの実用化に伴いファラデー回転角  $\theta_F$  の温度特性が問題となっている。アイソレーションの劣化は主に環境温度の変化による  $\theta_F$  の  $45^\circ$  からのずれによって生じるため、 $\theta_F$  の温度変化の小さい材料の開発が行なわれている。Bi 置換磁性ガーネットの  $\theta_F$  の温度特性は Fe を置換しない、および Bi を多量に置換することでネール温度  $T_N$  を上げることにより改善されることが確かめられているが<sup>5)</sup>、他の方法として、 $\theta_F$  の温度係数の符号の異なる二つのガーネットを組み合わせ、1) 固溶体にする方法、2) 2 相エピタキシャル膜あるいは貼り合わせる方法、が考えられている。

1) の方法は、仮想的な  $Bi_3Fe_5O_{12}$  と  $R_3Fe_5O_{12}$  (R は希土類元素) とを固溶体にするものである。これまでに  $(DyBi)_3Fe_5O_{12}$ <sup>6)</sup>、 $(TbBi)_3Fe_5O_{12}$ <sup>7)</sup> において YIG 名みの

表 1 光アイソレータの諸特性

ファラデー回転子	(GdBi) <sub>3</sub> Fe <sub>5</sub> O <sub>12</sub>		(GdBi) <sub>3</sub> (FeAlGa) <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	(YbTbBi) <sub>3</sub> Fe <sub>5</sub> O <sub>12</sub>
使用波長 (μm)	1.3	1.55	1.3	1.3
挿入損失 (dB)	0.35	0.5	0.9	1.0
アイソレーション (dB)	34	32	36	36
外形寸法 (mm <sup>3</sup> )	7×7×8	7×7×8	10φ×15	10φ×15
文献	10)	11)	1)	1)

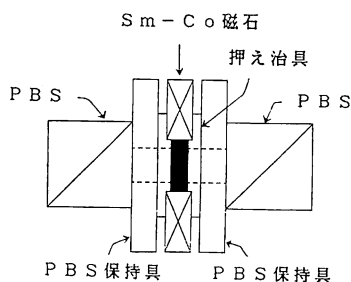


図 1 光アイソレータの構成例

温度係数をもつことが報告されている。

2) の方法は、Bi 置換磁性ガーネット膜の上に温度特性を補償するガーネット層をさらにエピタキシャル成長または貼り合わせるものである。Bi 置換磁性ガーネットにおいて一般に、 $\theta_F$  の符号は負、その温度係数の符号は正であるため、これに温度補償用材料として、たとえば、Fe を Ga や Al の非磁性イオンで置換し補償温度  $T_{comp}$  を調整して  $\theta_F$  の符号を正および、 $\theta_F$  の温度係数の符号を負にした (GdBi)<sub>3</sub>(FeAlGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> を用いるものである。具体的には、(YbTbBi)<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> と (GdBi)<sub>3</sub>(FeAlGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> を貼り合わせて  $\theta_F$  の温度係数 0.002 deg/°C<sup>9)</sup>、また (GdBi)<sub>3</sub>(FeGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> の上に (LuGdBi)<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> をエピタキシャル成長させることにより 0.01 deg/°C 以下の温度係数をもつ材料が得られている<sup>9)</sup>。

以上解決しなければならない問題点はあるが、光ファイバ通信の 1.3, 1.55 μm 帯用の光アイソレータはほぼ実用の段階に入っており、コヒーレント通信、さらに光集積化に向け光アイソレータの展開が期待される。

文 献

- 1) 石川治男, 浅原陽介, 中島和宏, 柴田 明, 町田克己: 応用物理学会微小光学研究グループ, 4 (1986) 207.
- 2) 玉城孝彦, 対馬国郎: 日本応用磁気学会誌, 8 (1984) 125.
- 3) 浅原陽介, 石川治男, 中島和宏, 町田克己, 藤井義正: 電子通信学会技術研究報告, CPM 86-36 (1986) 1.
- 4) 安藤功兒, 奥田高士, 腰塚直巳: 応用物理, 56 (1987) 620.
- 5) K. Machida, Y. Asahara, H. Ishikawa, K. Nakajima and Y. Fujii: J. Appl. Phys., 61 (1987) 3256.
- 6) 本田洋一, 日比谷孟俊, 白木健一: 日本応用磁気学会誌, 10 (1986) 151.
- 7) 本田洋一, 石川武正, 日比谷孟俊: 日本応用磁気学会誌, 11 (1987) 157.
- 8) 浅原陽介, 石川治男, 中島和宏, 町田克己: 第 34 回応用物理学会関係連合講演会予稿集, 29p-ZE-15 (1987) p. 732.
- 9) 峯本 尚, 松田 薫, 鎌田 修, 石塚 訓: 日本応用磁気学会研究会資料, 48-9 (1987) 35.
- 10) 玉城孝彦, 金田英明, 対馬国郎: 日本応用磁気学会誌, 10 (1986) 137.
- 11) 鈴木克典, 沼尻裕夫, 玉城孝彦, 対馬国郎: 第 10 回日本応用磁気学会学術講演概要集, 4pE-3 (1986) p. 96.

(1987年5月29日受理)