

4

測定

4-0. INTRODUCTION

この章では、Chapter 3 で作製した MnAs を用いた TM モード非相反損失型アイソレータの測定結果を論じる。はじめに、本アイソレータに使用されている SOA を別途に単独で作製し、その利得を評価する。その後、実際に、Chapter 3 で作製した素子に進行方向の異なる光を透過させ、その出力強度の違いを測定することで、素子の特性を評価する。最後に、その特性の MnAs 膜厚依存性を観測し、実験結果と Chapter 2 の理論計算とを照らし合わせて、本研究の妥当性を論じる。

4-1. SOA による利得特性

はじめに、本アイソレータに使用されている SOA と全く同一構造でクラッド層を 1.5 μm 、コンタクト層を 50nm としたものを、アイソレータとは別に作製した (Fig. 4-1)。本アイソレータに用いている SOA の正確な利得を調べるためには、この素子の評価を行った。測定方法は Fig. 4-2 に示すように、tunable laser から出射し、素子を透過した光を OSA と Power meter で観測することで、どれだけの増幅がなされているかを見るという単純な系である。ただし、素子のクラッド層を 1.5 μm としていることから、バイアス電流によっては素子が発振してしまうので、その点を注意して実験を行った。(この素子はつまるところレーザである。レーザとしての特性を見ることは本筋から外れるためにここでは記載しないが、詳しくは APPENDIX B を参照。) 具体的には、バイアス電流をかけながら、素子が発振するまでは、直線導波路を用いて Fabry-Perot etaron 法により、素子の利得 (損失) を測定した。本実験では 30mA で素子の発振が観測され、ここで素子は透明となった (利得ゼロ)。この後、直線導波路から 7度の傾斜型導波路に変え、発振を抑

えながらさらに電流を流し、tunable laserからの光の透過強度を観測した。ここでtunable laserからの光の強度は0dBmとした。傾斜型導波路における透過強度の測定結果をFig. 4-3に示す。この結果から、例えば40mAから100mAまでの増幅は素子長を考慮に入れておよそ8dB/mmであることが分かる。利得は100mA以上では飽和したことから、SOAにおける利得は素子が透明になったバイアス電流30mAから100mAまでの透過強度増幅分であるといえる。

Fig. 4-4に本SOAのバイアス電流10mA-100mA範囲での利得曲線を示す。これにより、本アイソレータに使用されているSOAの利得は20dB/mmであるといえる。Fig. 2-12の計算結果によれば、アイソレータ素子において、MnAs膜厚が150nm以上あれば、前進波による損失の大部分を補償できることになる。(あくまでも計算上は、である。実際には素子の損失は非常に大きい。これは以降の節の実験結果をみれば明らかである)

■ Fabry-Perot etaron 法について

Fabry-Perot etaron法[38]は2枚の反射鏡(この実験では素子のへきかい端面)間の多重反射を利用することにより、鋭い波長選択性を持った反射特性・透過特性を実現できることから、素子の利得(損失)を求める方法である。ある素子の屈折率および減衰定数を n, α 、光の入射側の屈折率を n_1 、出射側の屈折率を n_2 とおくと、式(2.23)から出射端面の出力光強度 t を求めることができる。端面間の多重反射と、素子(長さ l)内を1往復する間の光波の位相変化量、振幅減衰量が各々 $\exp(-j2\delta), \exp(-2\alpha l)$ となることを考慮して無限級数の公式を用いることで、

$$t = \frac{t_1 t_2 \exp(-\alpha l) \exp(-j\delta)}{1 - r_1 r_2 \exp(-2\alpha l) \exp(-j2\delta)} \quad (4.1)$$

$$t_1 = \frac{2n_1}{n + n_1}, t_2 = \frac{2n}{n + n_2}$$

$$r_1 = \frac{n - n_1}{n + n_1}, r_2 = \frac{n - n_2}{n + n_2}$$

したがって、パワー透過透過係数 T は以下の式で与えられる。

$$T = |t|^2 = \frac{t_1^2 t_2^2 \exp(-2\alpha l)}{[1 - r_1 r_2 \exp(-2\alpha l)]^2 + 4r_1 r_2 \exp(-2\alpha l) \sin^2 \delta} \quad (4.2)$$

この式により、入射波長を変化させる(δ を変化させる)ことにより、 T は極大値・極小値を持つことになる。この2つの値の差分をとることで結果的に α が分かり、それはつまり利得(損失)である。

前述したように、素子が発振するまではこの方法を用いることで、各電流値における利得を求めることができる。ただし素子自体が発振してしまうと、相互利得変調(XGM)、相互位相変調(XPM)が起これ、この方法は使用できなくなる。よって傾斜型導波路を使用するのである。

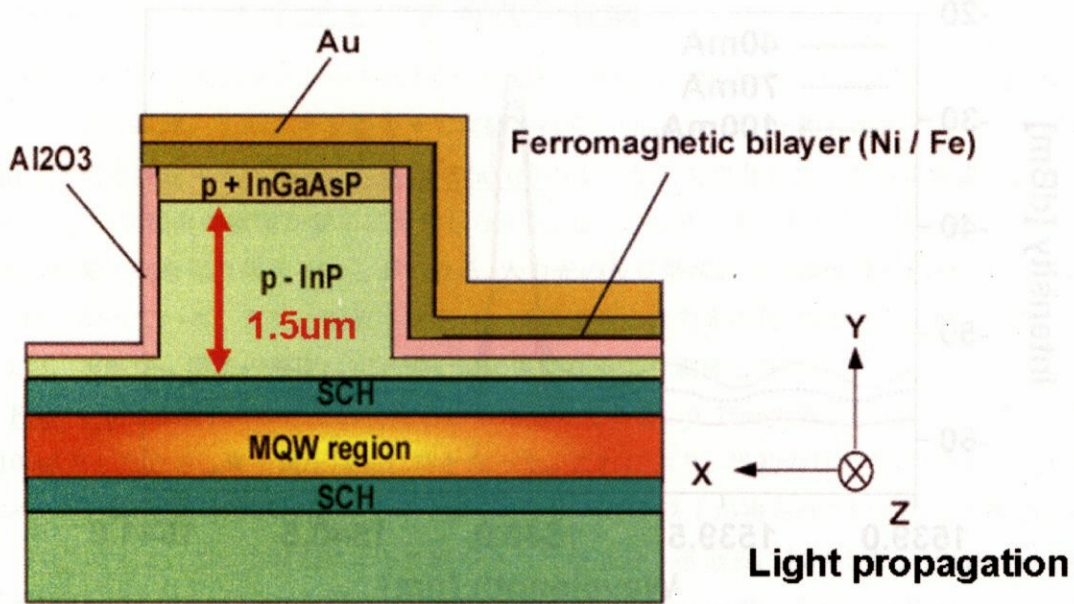


Fig. 4-1 SOA の利得特性を測定するための素子。SOA 部分はアイソレータで用いたものと同じ構造である。クラッド層を 1.5 μ m, コンタクト層を 50nm とした。レーザ構造になっているとも言える。

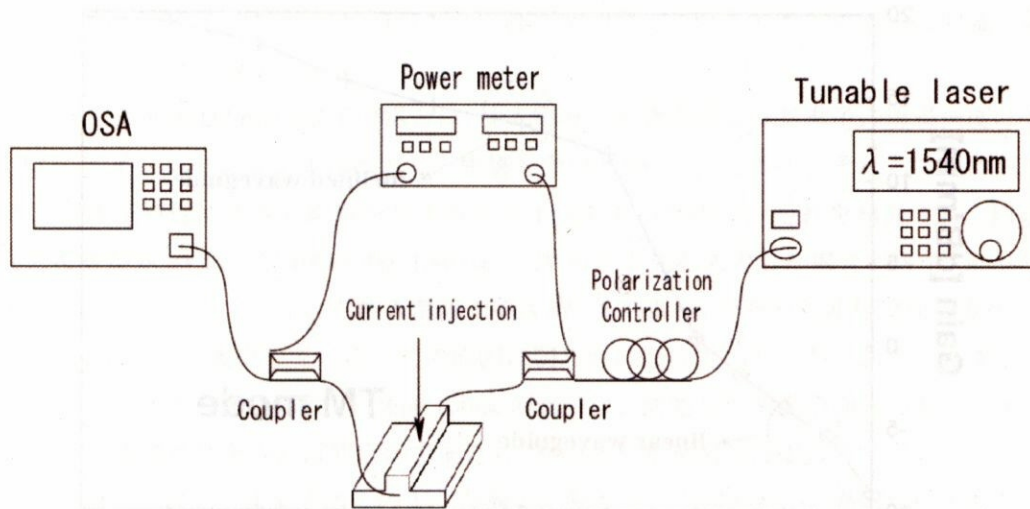


Fig. 4-2 SOA の利得測定系 (素子長 0.4mm)。SOA からの出射光または tunable laser からの透過光を OSA および Power meter で観測する。入射光強度および波長はそれぞれ 0dBm, 1540nm。

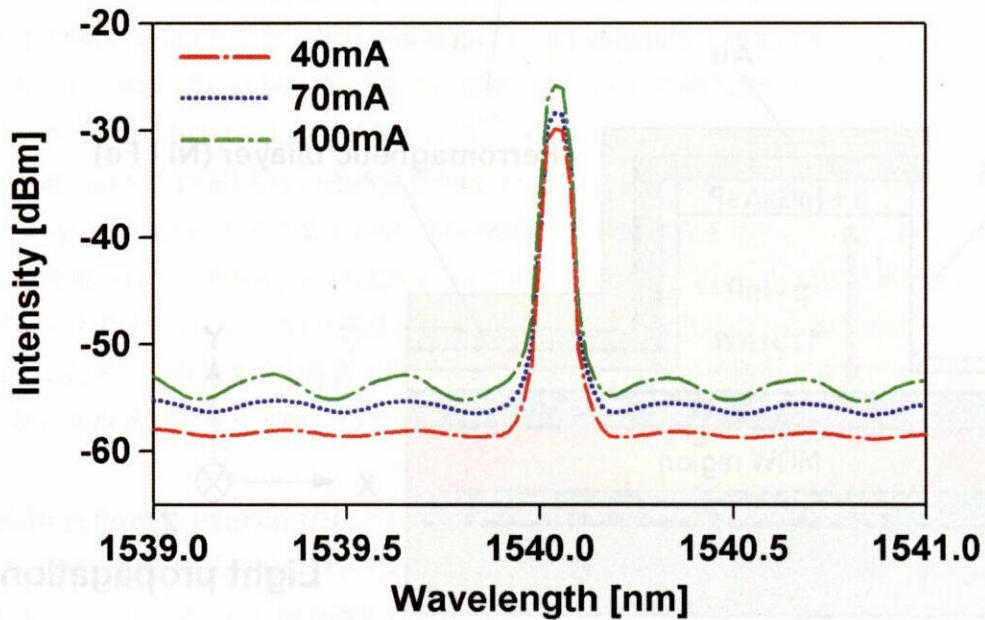


Fig. 4-3 7度の傾斜型導波路における、SOAの透過特性(素子長0.5mm)。3つの線はそれぞれ、SOAに40mA, 70mA, 100mAの電流を流したときのもの。この結果により、作製したSOAでは、およそ20dB/mmの増幅機能を持つことが分かった。

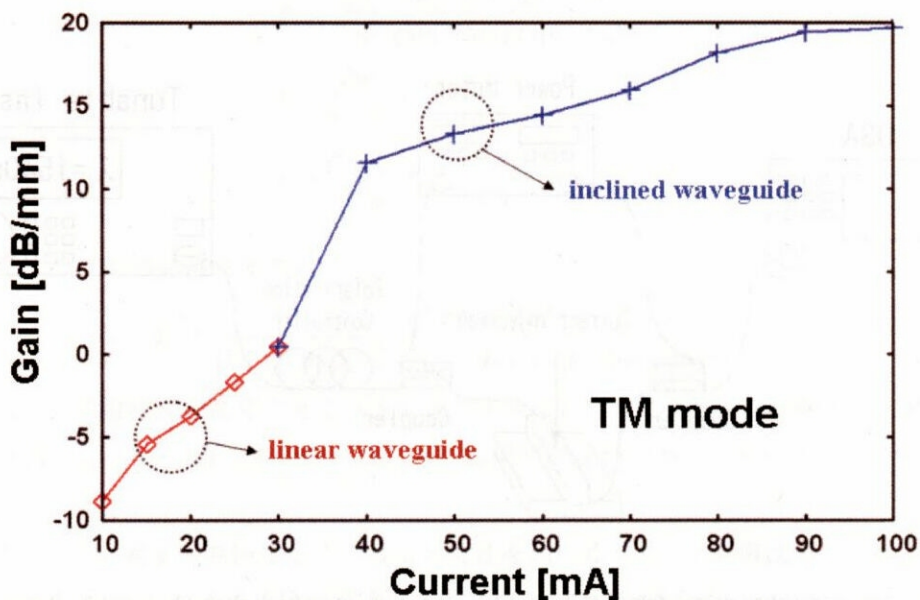


Fig. 4-4 作製したSOAにおけるTMモード利得の電流依存性。発振が確認されるまでは直線導波路により、ファブリ・ペロー法から、発振が観測された後は7度の傾斜型導波路の光透過特性を調べることで、この結果を得た。

4-2. アイソレータ特性の評価

前節により、本アイソレータにおけるSOAは1540nmにて利得ピークを持ち、その値は20dB/mmであった。以降、このことを踏まえて実験を行う。Chapter 3で作製したアイソレータの非相反損失変化を測定するために、Fig. 4-5(a) (b)のような系を用意した。この実験系では、永久磁石により1kG程度の磁場を素子に印加しながら、2つの光サーキュレータと光スイッチを用いて、光の伝搬方向を切り替えることができる。入力光の波長帯域および強度はそれぞれ1520-1560nm, 5dBmとなっている。また、偏波コントローラにより、入力光のTE, TMモード変換が可能である。なお、実験中、素子の温度は15°Cで一定に保たれるよう調節した。

Fig. 4-5は本素子におけるIV特性を示したものである。0.75mmの素子においてバイアス電流を100mAとしたとき、素子電圧は約1.7Vとなった。これにより、当初の目的の1つであった半導体コンタクト層/強磁性金属層間の良好なオーミックコンタクトが得られていることが確認された。

Fig. 4-6に、この実験系によって測定された前進波・後退波における素子 (MnAs200nm) の透過特性を示す。Fig. 4-6(a)は、注入電流が70mAおよび100mA時、1540nm (利得ピークであるため) のTMモード光を入力した場合の透過特性を示している。伝搬方向によってアイソレーション比は、大きく変化し、最大で(素子長0.65mmを考慮して)9.8dB/mmの非相反損失変化が得られた。なお、このとき注入電流の大きさによって素子の透過強度は変化するものの、アイソレーション比はほとんど影響を受けなかった。一方、Fig. 4-6(b)は、注入電流が100mA時、1540nmのTEモード光を入力した場合の素子の透過測定を示している。透過特性は前進波・後退波ともほとんど変化が見られず、アイソレーション比は0dB/mmであった。これより、この素子は明確な偏波依存性を示していることが分かる。

前述のように MnAs200nm の素子の場合、注入電流の大きさによって素子の透過強度は変化するものの、アイソレーション比はほとんど影響を受けなかった。しかし、それとは逆に注入電流の大きさが素子特性に大きく影響を与えるデバイスもあったので、それを紹介する。Fig. 4-8は、注入電流が60mA および100mA 時、1540nm の TM モード光を入力した場合の素子 (MnAs100nm) 透過特性を示している。このとき注入電流100mA 時、8.8dB/mm であった非相反損失変化が60mA 時では、7.8dB/mm に減少している。この原因は明らかになっていないが、おそらく素子の過剰な損失のためであると考えられる。MnAs100nm の素子は、前述した MnAs200nm の素子に比べて損失が大きい (透過特性をみれば明らかである)。そのため本来出るはずのアイソレーションがノイズに埋もれてしまい、結果的にこのような減少に繋がったと思われる。過剰な損失のために素子性能が悪くなる事例をもうひとつ挙げておく。Fig. 4-9は MnAs100nm における素子の特性波長依存性を示したものである。最も損失が補償され、ノイズの乗らないゲインピーク波長である1540nm にて最大のアイソレーションが得られている。その波長を中心にして、アイソレーション特性が山なりになっていることから、損失の大きさがダイレクトにアイソレーションに効いてくることを示唆している。

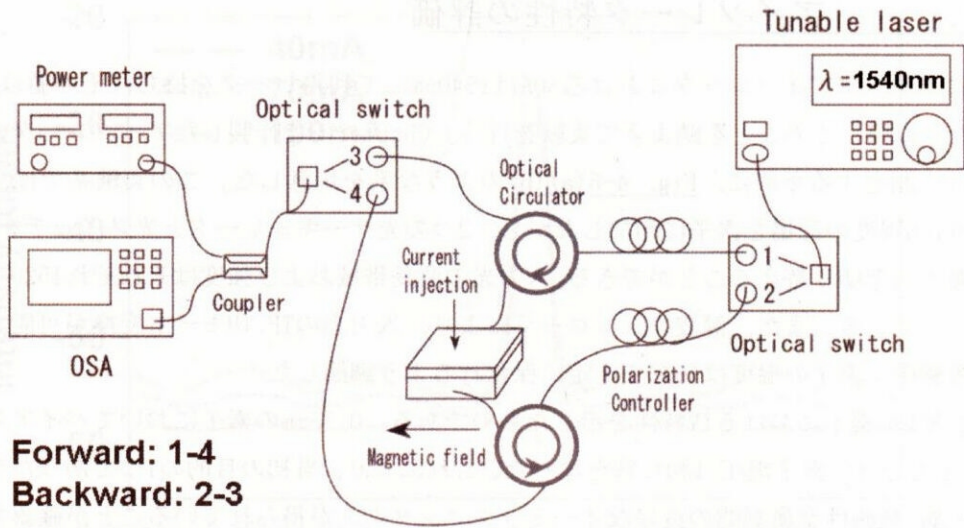


Fig. 4-5(a) 測定系の概要。非相反損失変化の測定は、素子に永久磁石 (1kG) により磁場を印加し、2つの光サーキュレータと光スイッチを用いて、伝搬方向を切り替えて行った。入力光は 1520-1560nm, 偏波制御あり。

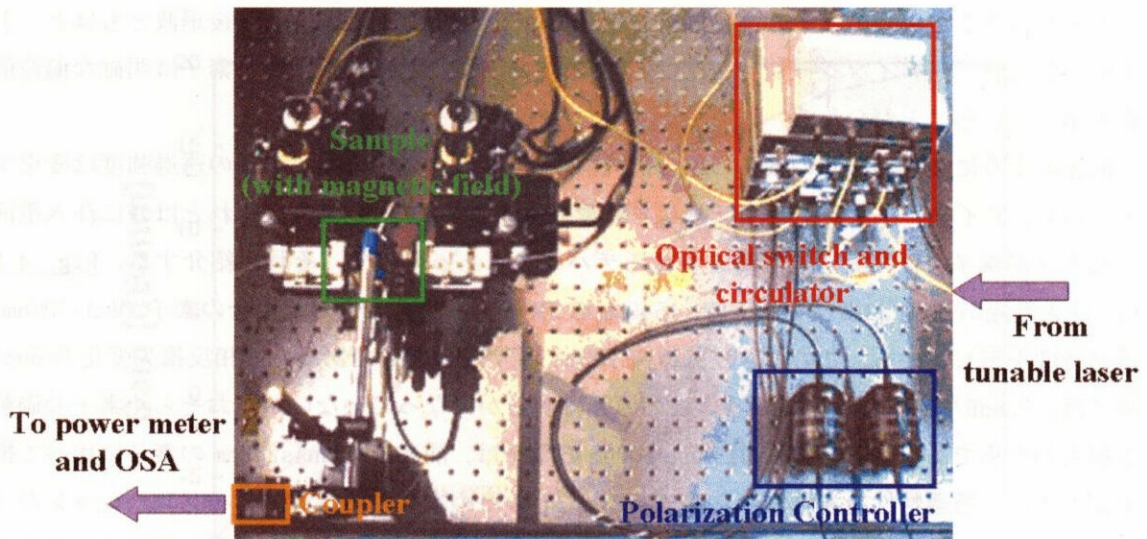


Fig. 4-5(b) 実際の測定系。このとき外部磁場を印加するために、2つの永久磁石を上部から近づけ、素子をはさむような形にする。その他は Fig. 4-4(a) と対応しているので参照されたし。

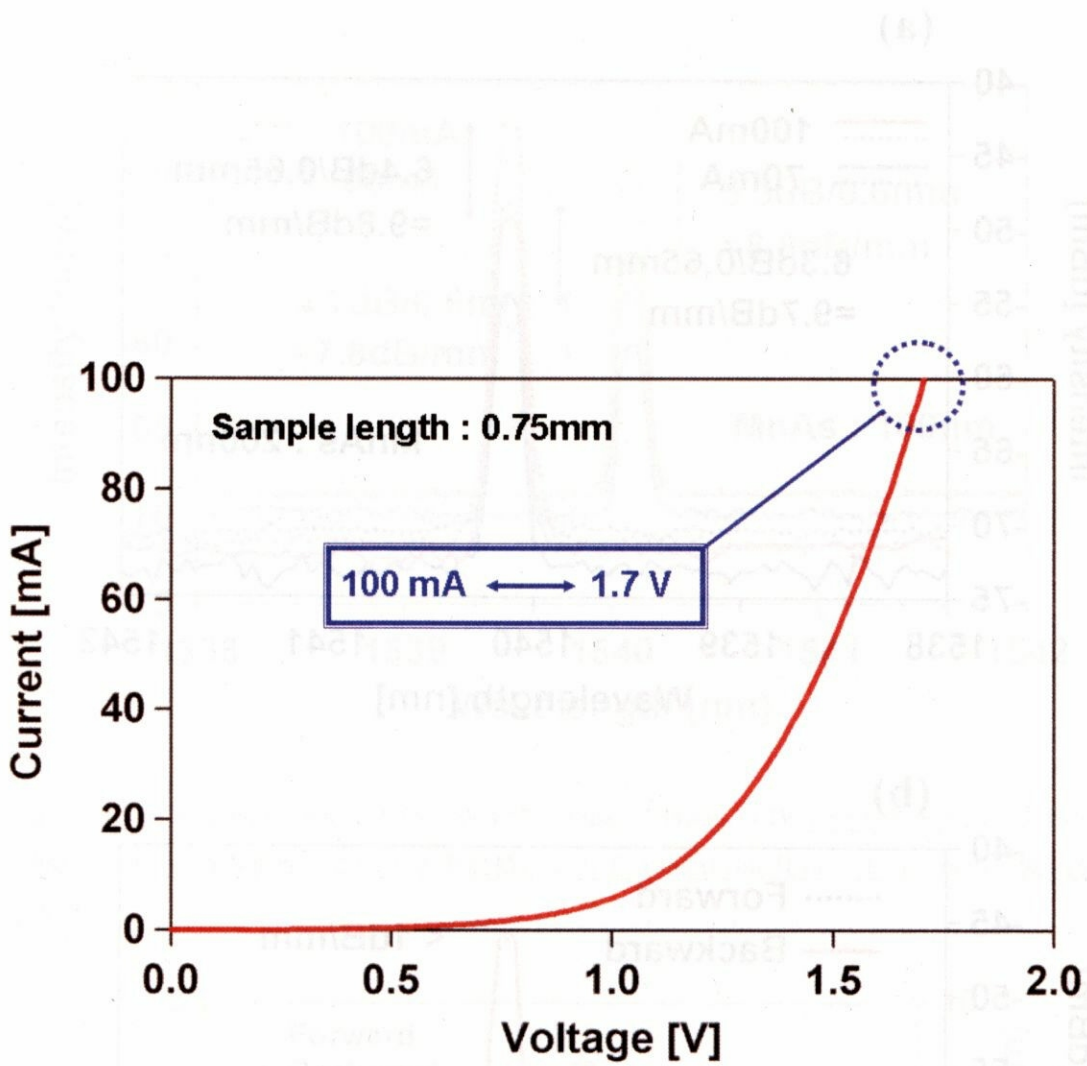


Fig. 4-6 素子長 0.75mm のときの IV 特性。100mA にて 1.7V 程度の電圧値となっている。これは一般的な強磁性金属と半導体コンタクト間の抵抗に比べはるかに良い値である。これにより当初の目的の 1 つであった半導体コンタクト層/強磁性 MnAs 間の良好なオーミックコンタクトが得られているといえる。

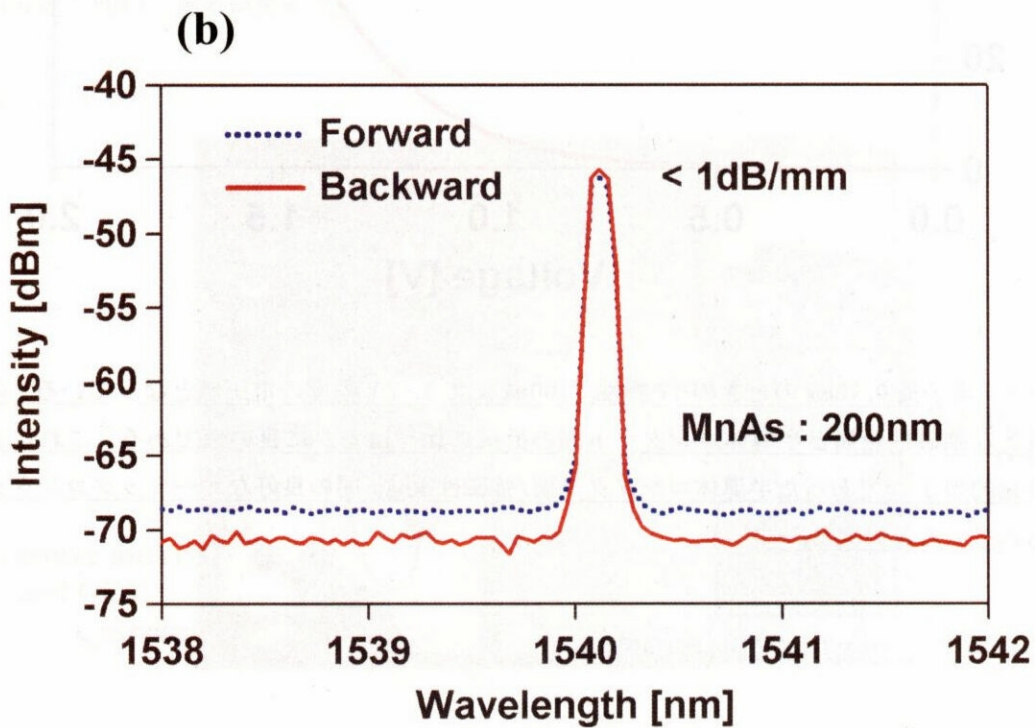
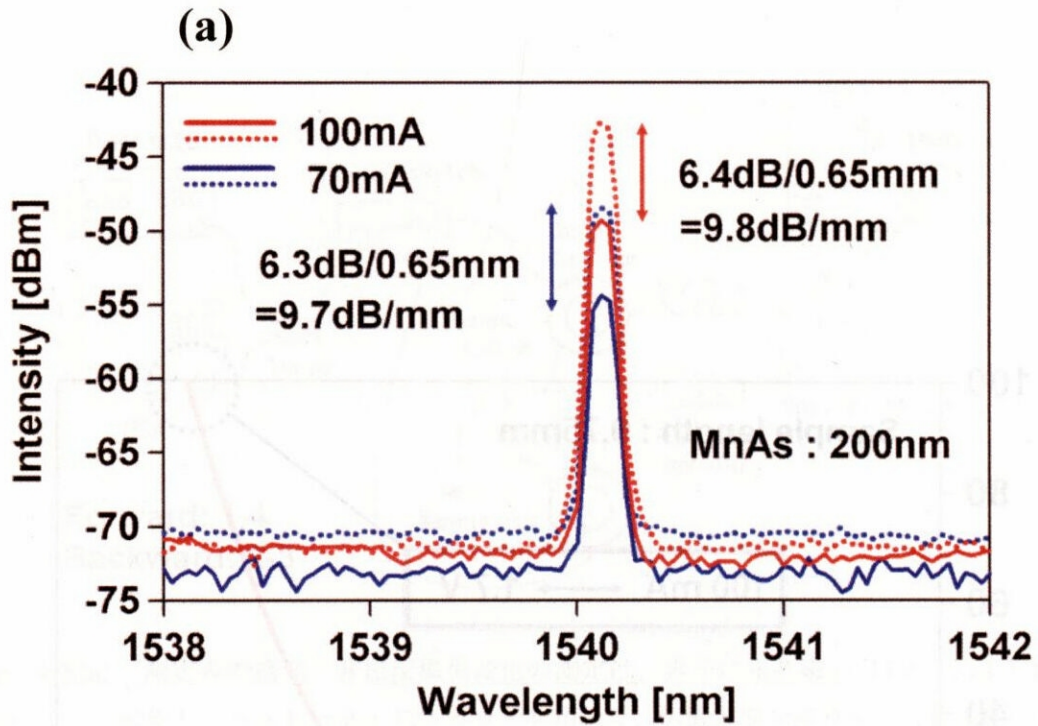


Fig. 4-7 (a) 注入電流が 70mA および 100mA 時、5dBm、1540nm の TM モード光を入力した時の素子 (MnAs:200nm) 透過特性。このとき電流値によって isolation 比は、ほとんど変化せず、9.8dB/mm の非相反損失変化が観測された。(b) 注入電流が 100mA 時、5dBm、1540nm の TE モード光を入力した時の透過特性。isolation 比はほぼ 0 dB/mm となった。

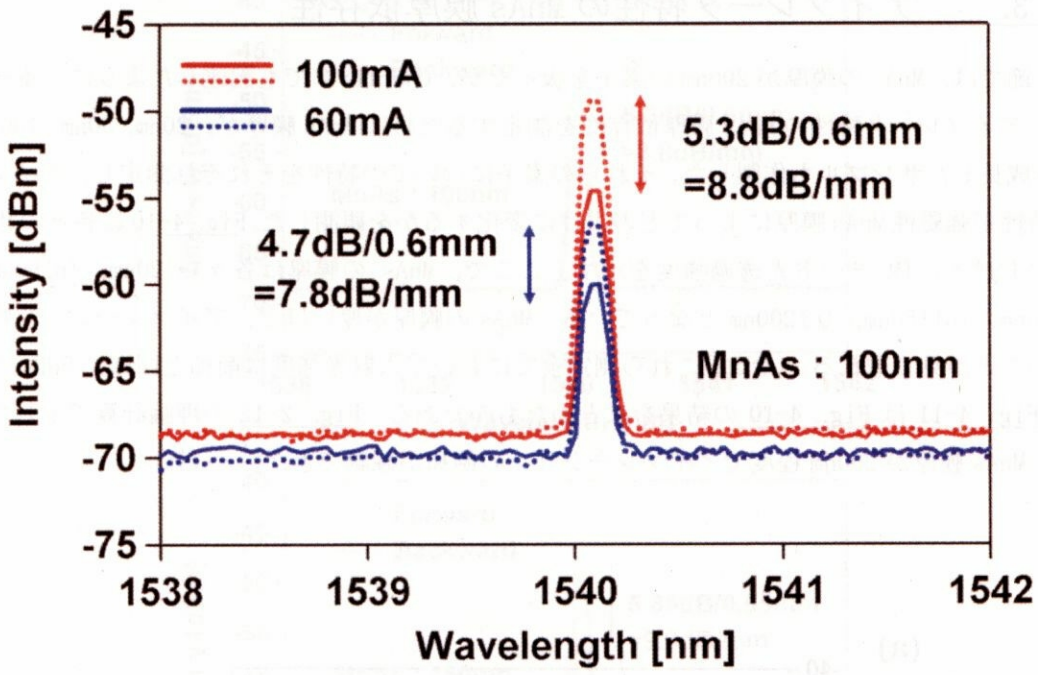


Fig. 4-8 注入電流が 60mA および 100mA 時、5dBm、1540nm の TM モード光を入力した時の素子 (MnAs:100nm) 透過特性。このとき電流値によって isolation 比は、1 dB/mm の変化が観測された。

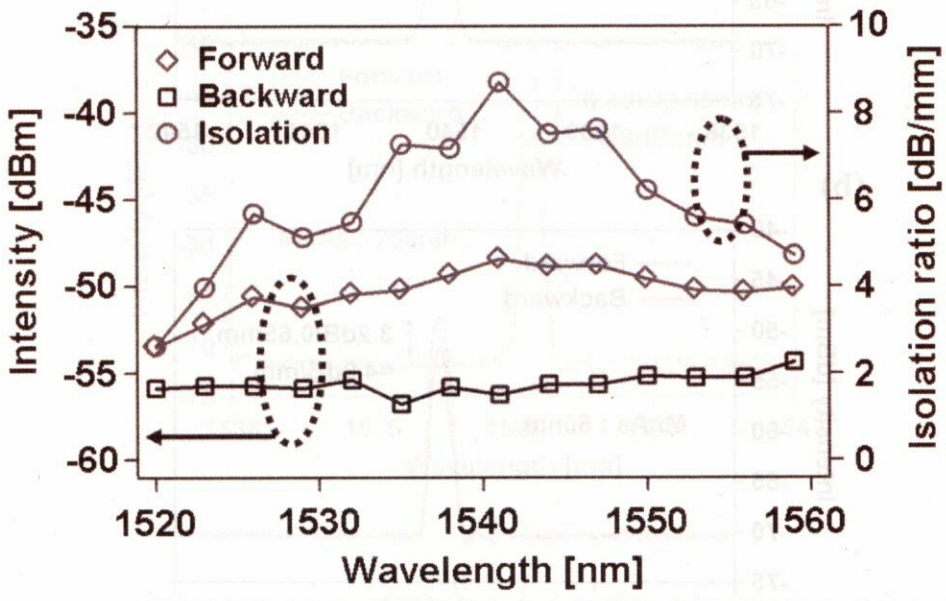
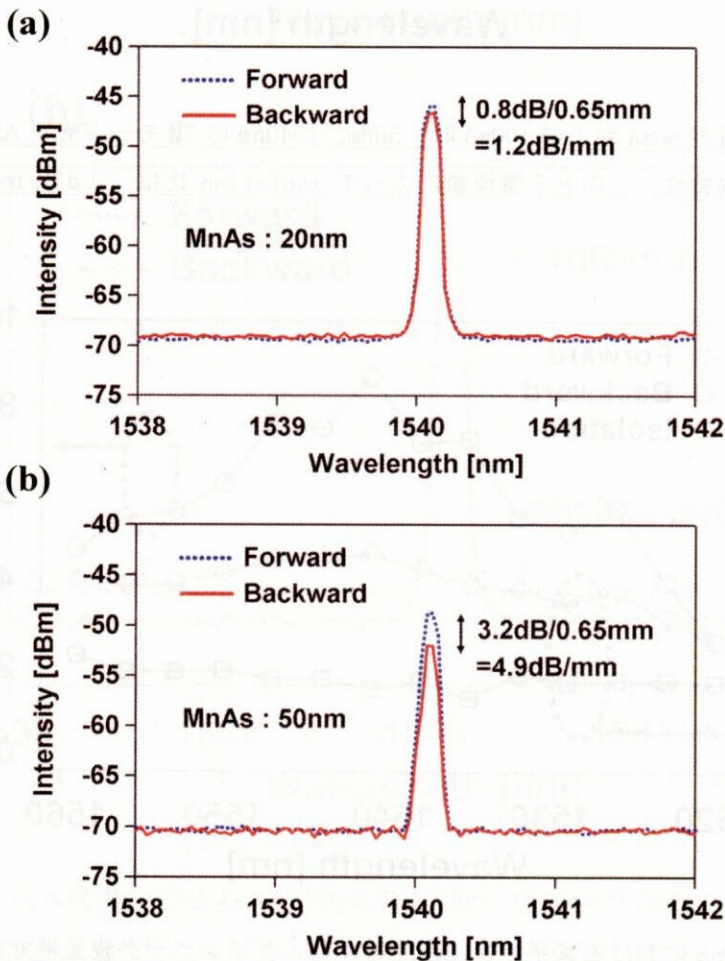


Fig. 4-9 MnAs100nm における素子の特性波長依存性。ゲインピーク波長帯である 1540nm にて最大のアイソレーションが得られている。

4 - 3. アイソレータ特性の MnAs 膜厚依存性

4-2 節では、MnAs の膜厚が 200nm の素子を扱ったが、Chapter 3 でも記述したように、本研究では、アイソレータ特性の MnAs 膜厚依存性を測定するために MnAs 膜厚が、20nm, 50nm, 100nm, 150nm 成長したサンプルも作製した。それらの素子についての特性をそれぞれ測定し、アイソレータ特性が強磁性 MnAs 膜厚によってどのように変化するかを観測した。Fig. 4-10 に各々の MnAs 膜厚における、TM モード光透過強度を示す。ここで、MnAs の膜厚は各々 (a) 20nm, (b) 50nm, (c) 100nm, (d) 150nm, (e) 200nm となっている。MnAs の膜厚が厚いほど、アイソレーション特性がよいことが見て取れる。(なお、これら測定全てにおいて入射光強度は前節と同様に 5dBm である。) Fig. 4-11 は Fig. 4-10 の結果をまとめたものである。Fig. 2-12 の理論計算で示したとおり、MnAs 膜厚が 200nm 程度でアイソレーションの飽和が確認できた。



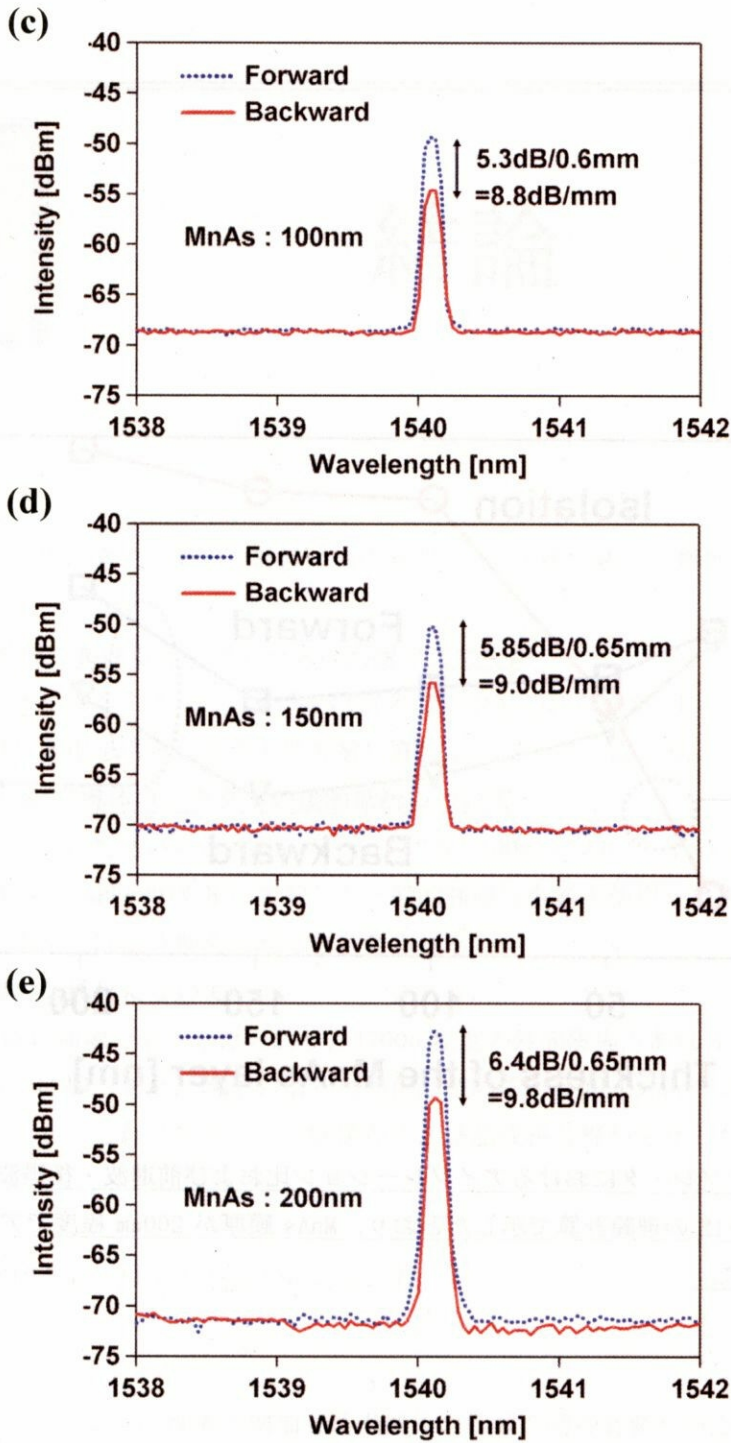


Fig. 4-10 アイソレータ特性の MnAs 膜厚依存性。MnAs の膜厚は各々 (a) 20nm, (b) 50nm, (c) 100nm, (d) 150nm, (e) 200nm となっている。MnAs の膜厚が厚いほど、アイソレーション特性がよいことが見て取れる。なお、これら測定全てにおいて入射光強度は 5dBm であり、偏波は TM モードに調節してある。

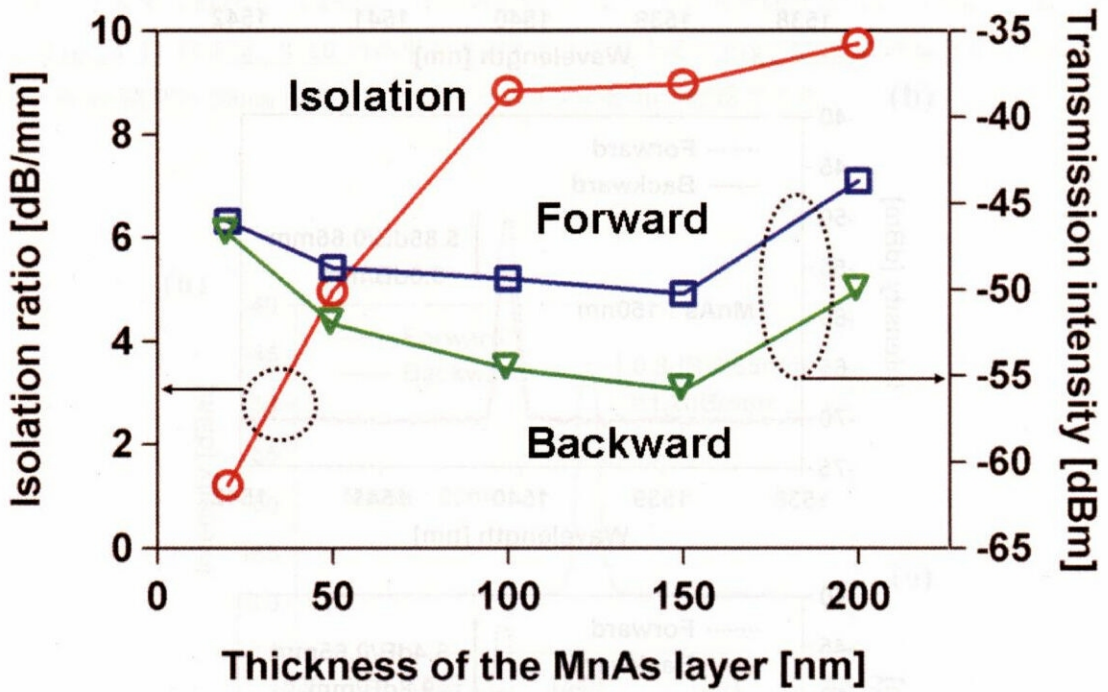


Fig. 4-11 本アイソレータにおけるアイソレーション比および前進波・後退波損失の MnAs 膜厚依存性。Fig. 2-12 の理論計算で示したとおり、MnAs 膜厚が 200nm 程度でアイソレーションの飽和が確認できた。