

(資料)

イオン交換型光方向性結合器を用いた光波長フィルタの検討*

水 本 秀 志 **
宮 本 徳 夫 **

Directional coupler type Optical Wavelength Filter Fabricated by Ion-Exchange Technique

Hideshi MIZUMOTO and Tokuo MIYAMOTO

Key Words: Optical Filter, Wave Guide

まえがき

インターネット時代を担う大容量光通信方式として、波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)方式が大きな進展を見せている。この方式では波長間隔が高密度で多重度が16~64波と大きいDWDM (Dense of Wavelength Division Multiplexing)がよく知られている。しかし、機器の精度、安定度が要求されるこの方式に対して、多重度は4~8と小さいが、これらの要求がそれほどでもなく安価なCWDM (Course Wavelength Division Multiplexing)もまた着目されている。これまではWDMは大容量の中継系への適用が中心に開発導入が進められ、DWDMが一般的であったが、安価なCWDMを地域ネットワークやユーザ宅系へ導入する動きがでてきているといわれている。いずれにせよこのような通信方式では特定波長を分離するための光波長フィルタ素子が必須のデバイスとなる。

今回は、DWDMほどの狭帯域特性は求められないが安価であるCWDM用で使用されるフィルタの検討を目的とし、イオン交換を用いて作製する方向性結合器型の光波長フィルタ素子について実験的検討を行った。方向性結合器型の光波長フィルタは方向性結合器を構成する二本の導波路の波長分散差を利用しており、金属拡散導波路では拡散源の金属の量を制御して実現している。今

回の試作においては、各々の導波路の断面の屈折率分布をイオン交換及びアニール処理によって変化をもたせ、これによって、二本の導波路のそれぞれの分散特性に差を生じさせることができる事を確かめた。

本資料では、まず、方向性結合器型光フィルタの原理、つぎに試作方法の概略、そして測定方法及び測定結果、本実験結果における考察、今後の課題の順で述べる。また、付録として素子作製データ、ガウス分布導波路を例にとった場合の屈折率分布と分散特性の関係について述べ、方向性結合器型光フィルタの数値計算例、作製手順の詳細、マスク図面を付け加える。

1. 光方向性結合器型フィルタの原理

図1-1のような二平行導波路が十分近接した状態においては二導波路を伝搬する光波は結合(相互作用)し、互いの導波路の光波の振幅は結合距離で変化する。そして各々の導波路中の電力も結合距離で変化する。例えば図1-1の導波路2に光波が励起された場合、両導波路を伝搬する光波の電力は入力電力で規格化した値としてつ

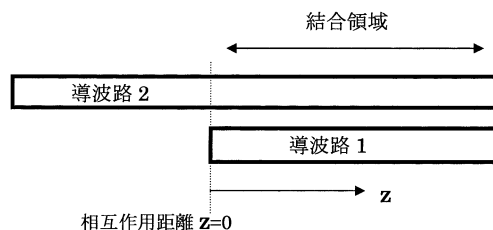


図1-1 二平行導波路

* 平成17年5月31日受付

** 電子情報工学科

ぎのように表される.

$$\begin{cases} P_2(z) = 1 - F \sin^2 \beta_c z \\ P_1(z) = F \sin^2 \beta_c z \end{cases} \quad (1-1)$$

ただし, κ を導波路の近接状態に依存する結合係数として

$$F \equiv \frac{1}{1 + (\Delta/\kappa)^2}, \quad \beta_c \equiv \sqrt{\kappa^2 + \Delta^2}, \quad \Delta \equiv \beta_2 - \beta_1 \quad (1-2)$$

である. ここに β_1, β_2 は各導波路の位相定数である. この式で F は最大電力移行率で式 (1-2) で示されるように両導波路の位相定数の差 Δ に依存し, その Δ の値が 0 のとき最大値 1 となる (位相整合). 式(1-1)を図に描くと図1-2のようになる.

図中の波線は導波路 2 (励起側導波路) の電力で, 実線は導波路 1 (結合側導波路) の電力を示す. また図には最大電力移行率 F が 1 の場合 (位相整合) と 1 より小さい場合 (位相不整合) の場合についての電力の様子を併記している.

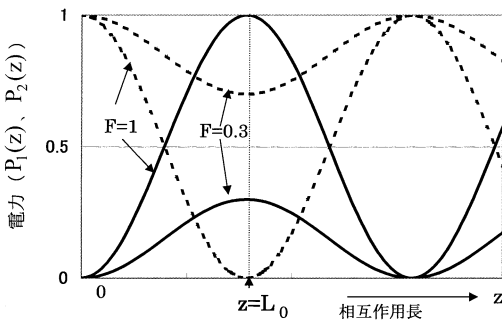


図1-2 電力の移行

この図から位相整合している場合, $z=L_0$ の完全結合長においては導波路 2 の電力は完全に導波路 1 に移るが, 位相不整合の場合では導波路 1 には入力電力の一部しか移らないことがわかる. このことが以下に述べる波長フィルタの原理に関係することになる.

つぎに図1-3に示すような異なった伝搬定数 β_1, β_2 をもつ 2 本の導波路の光方向性結合器について考えてみる. ここで方向性結合器の相互作用長は完全結合長 L_0 であるとする. さらに, 各導波路の分散特性が図1-4(a)で示されるように異なっていて波長 λ_1 で交差しているもの

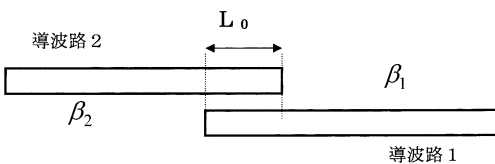


図1-3 光方向性結合器

とする. この場合, 各導波路は λ_1 で位相整合しているので導波路 1 に入力電力のすべてが移り, この導波路からそれを取り出すことができる. しかしながら中心波長 λ_1 から離れた波長 (λ_0, λ_2) においては位相不整合のため, 上で述べたように入力電力の一部しか導波路 1 には移ってこない. この様子を図1-4(b)に説明している. この導波路 1 への電力の移行は, 導波路 2 を入力端, 導波路 1 を出力端としたフィルタとした場合の透過特性でもある.

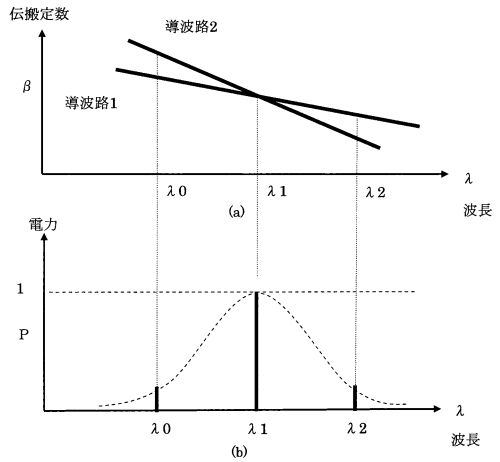


図1-4 波長分散 (a) と電力の移行 (フィルタ特性) (b)

このように方向性結合器型波長フィルタを作製するには, それを構成する二本の導波路の分散特性が異なる必要がある. そして, このような導波路の一例としては導波路幅が広く屈折率変化の小さい分布をもつ導波路と, 幅がせまく, 屈折率変化の大きい分布の導波路との組み合わせが考えられる. このことについては付録 2 で述べている.

2. 作製方法

2-1 二平行導波路形状と導波路マスクパターンの概略

今回製作した二平行導波路を図2-1に示し, そのマスクパターンの概略を図2-3に示す. また, 導波路および目あわせパターンの詳細については付録 5 に掲載している.

製作において, 導波路 1, 2 の導波路幅をそれぞれ $3 \mu\text{m}, 9 \mu\text{m}$ (この値の選択に関しては付録 3 を参照) として二種類のマスクパターンを用いる. 二平行導波路はこの二種類のマスクパターンを組み合わせで作製することになる. 導波路間隔は各導波路パターンを描いたマスクの上部に記された目あわせマークを用いて $10 \sim 25 \mu\text{m}$ の範囲で調整できる. 今回は導波路中心距離を $10 \sim 13 \mu\text{m}$

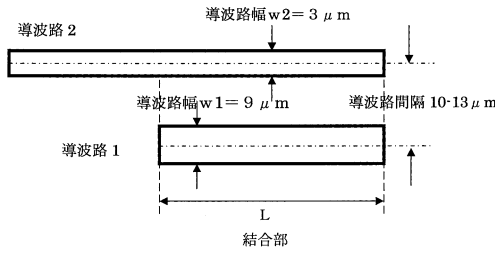


図2-1 二平行導波路の形状

で作製した。さらに結合部の長さを0.5mm 間隔で異なる10種類の二平行導波路を同一基板上にならべている。

2-2 異なる波長分散を持つ二平行導波路の作製方法

イオン交換で二平行導波路を作製する方法として、一般的には同時にイオン交換によって作製するのであるが、今回は2段階で二平行導波路を作製し導波路幅の広い方の導波路1にはイオン交換後の熱処理(アニール処理)によって屈折率変化量を小さくする方法をとった。この方法について図2-2で説明する。

まず、幅の大きな導波路1をカリウム置換によって作製する。次に幅の小さな導波路2をカリウム置換によって作製する。なお、この時、先に作製された導波路1の表面はマスクされており、この部分はカリウム置換されず、形成されていたカリウムイオンの分布のみが熱拡散によって広がり(アニール処理)、屈折率変化量が小さく、導波路幅の広い導波路が作製される。なお、この作製手順の詳細は付録4に後述している(図付3-1の丸印の交点を選択している)。今回作製した試料の条件をまとめると、下のようになる。今回は各試料作製毎に同じ条件で数多くの作製を試みたが実験技術、状況により各試料毎にかなりのばらつきが生じた。結果として比較的良好なパワ移行が確認できた3個の試料(No.1~No.3)について詳しく測定を行っている。

表2-1 作製条件

	導波路	導波路
マスク幅	9 μm	3 μm
イオン交換時間	50min	50min
アニール時	50min	0min

導波路間隔 10~13 μm

3. 測定および結果

3-1 ニアフィールドパターンの測定方法

図3-1に測定系の概略を示す。導波路励振用光源は、

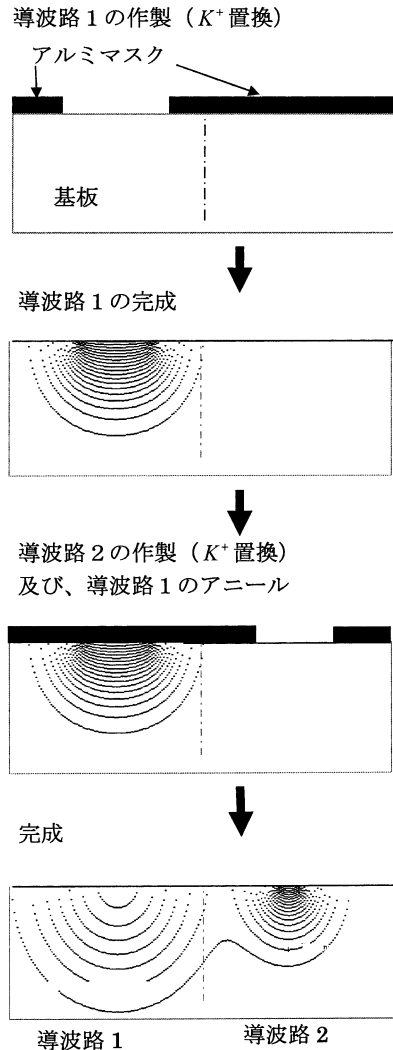


図2-2 導波路作製工程

波長0.633, 0.612μm, 0.604μm, 0.594μmの直線偏光の可変波長 He-Ne レーザを用いた。プリズム結合器により導波路2へ光波を導波し、研磨した出力端面より導波路1, 2からの出力光対を CCD カメラで撮影し、TV モニタ上の出力光電力のニアフィールドパターンを観測し、その光強度をカメラで記録した。またそれぞれの導波路の光電力の相対値は太陽電池を用いて測定した。この際、プリズムへの入射角は端面のパターンを観測しながらシングルモードで励振するように注意する必要がある。

3-2 ニアフィールドパターン測定結果 (写真)

図3-2は試料1を用いて波長0.633μmを入射させたときのニアフィールドパターンの例である。残りの2つの

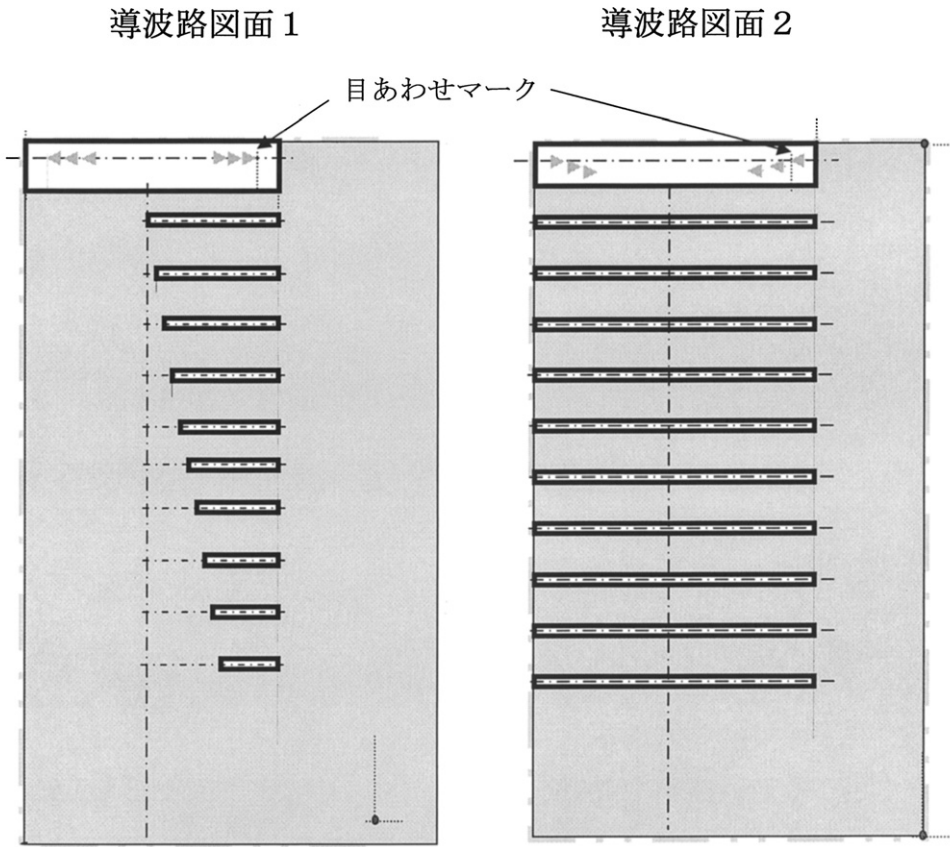


図2-3 マスクの概略

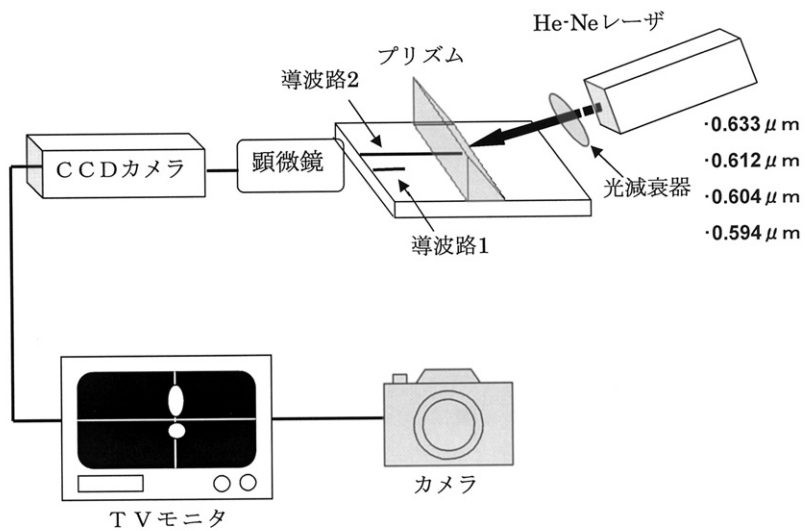


図3-1 測定系

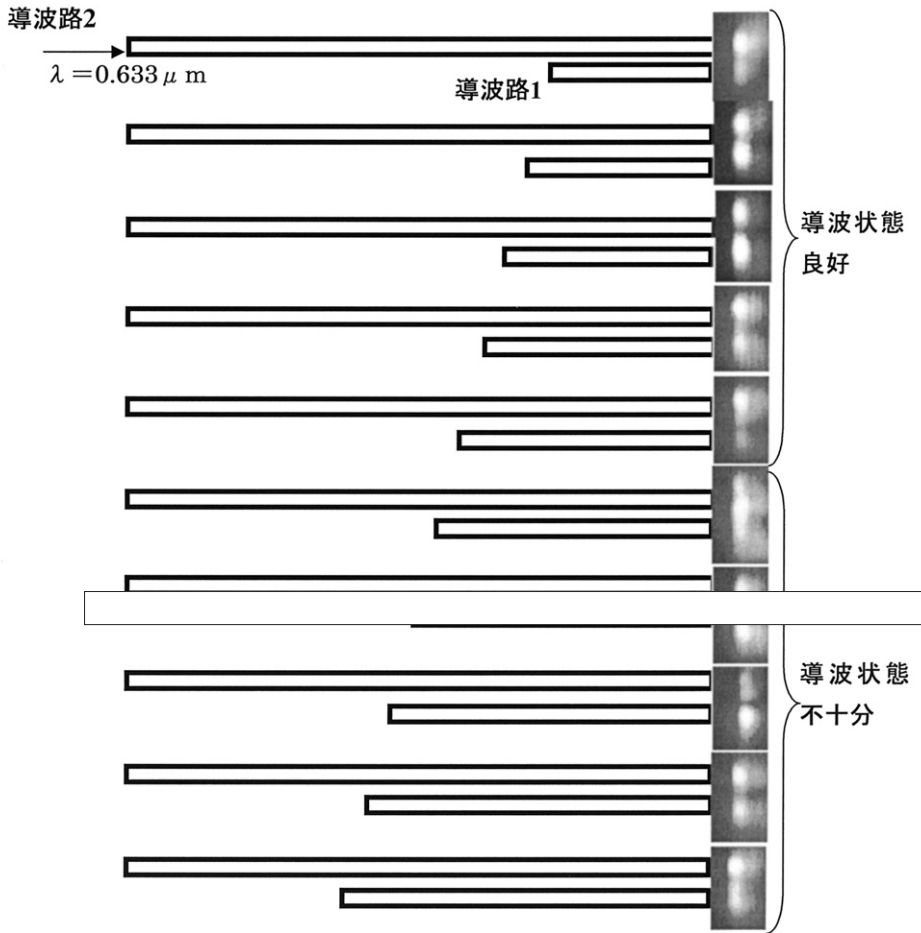


図3-2 ニアフィールドパターン

試料についての測定結果は付録1に添付している。図の導波路群の中で、導波路1及び導波路2を一組とすると、下から5セットは顕微鏡での導波路チェックの段階で導波路の状況が悪く、実験値として不十分だったので、比較的良好的な実験値であった上から5セットのみの測定となった。導波状態の悪い導波路に関しては、アルミエッチングの段階で必要以上にアルミがはげ、イオン交換での導波路製作が不完全であったためだと考えられる。さらに図3-3～3-5には波長を変えて測定したニアフィールドパターンの変化を相互作用長との関係で示している。

3-3 電力移行測定結果

上で示した導波路1, 2の光電力についてはその相対値を太陽電池で測定し、各相互作用長での各導波路の電力比を計算した。それを図3-6～図3-8に示している。図中の、●でプロットした実験値1は導波路1の電力の測定値を示し、■でプロットした実験値2は導波路2の電

力の測定値である。導波路2から励起された光波の電力が相互作用長の変化とともに導波路1に移行していく様子がわかる。また、理論値1, 2はそれぞれ式(1-1)を用いて実験値にフィットさせたものである。

この式の最大電力移行率Fは、光源の波長が $0.633\mu\text{m}$ のとき0.95である。また、波長が $0.612\mu\text{m}$ のときFは0.5であり、波長が $0.604\mu\text{m}$ のときFは0.35である。波長が変化すると、最大電力移行率Fが変化し、中心波長(ここでは $0.633\mu\text{m}$)で最大となっている。

以上は試料No.1についてであったが、同様な測定を試料No.2, 3について行った結果を表3-1にまとめている(附録1参照)。

この表の実験値を用いて素子一段の場合のフィルタ特性を図3-9に示す。なお、今回の実験では使用波長が $0.633\mu\text{m}$ までであったため、中心より長波長側は推定を示している。

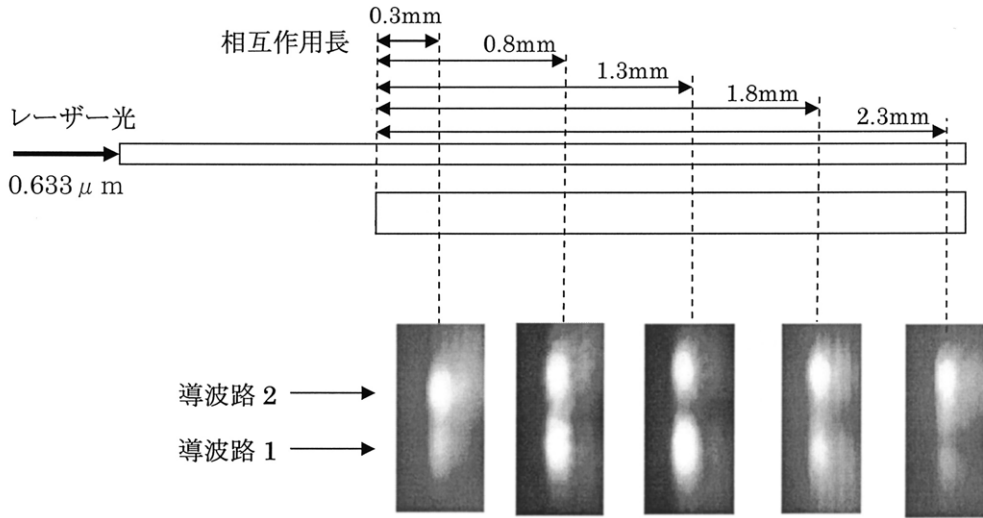


図3-3 $\lambda = 0.633\mu\text{m}$ の時のニアフィールドパターン

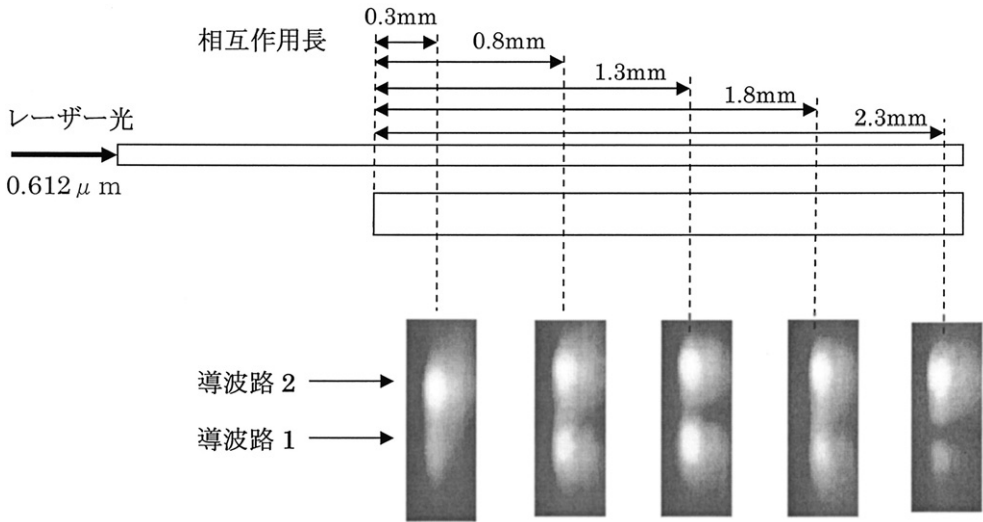


図3-4 $\lambda = 0.612\mu\text{m}$ の時のニアフィールドパターン

表3-1 最大電力移行率

λ (μm) 試料 No.	0.633	0.612	0.604	0.594
1	0.95	0.50	0.35	—
2	1.0	0.84	0.75	0.65
3	1.0	0.75	0.6	—

この結果より、素子の透過特性についてみると、その半値全幅は試料により40nm から100nm と大きくばらついてはいるが、ある程度フィルタ特性を示していることが確認できる。

4. 多段接続の場合のフィルタ特性

以上の実験結果は素子一段の場合のフィルタ特性についてであったが、方向性結合器型の光波長フィルタはその特性上、サイドローブでの透過を抑えるために素子一段（一個の方向性結合器部をもつもの）で用いられることは考えられず、多段接続の場合の特性を考える必要が

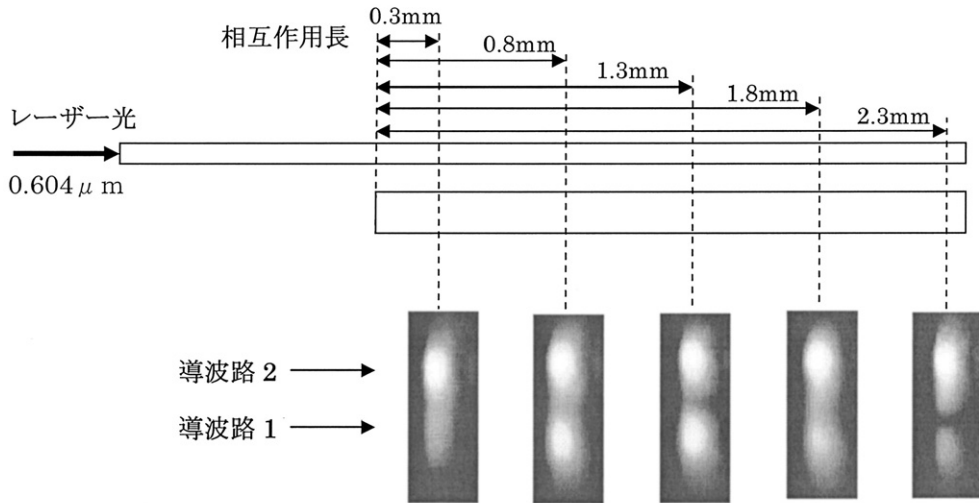


図3-5 $\lambda=0.604\mu\text{m}$ の時のニアフィールドパターン

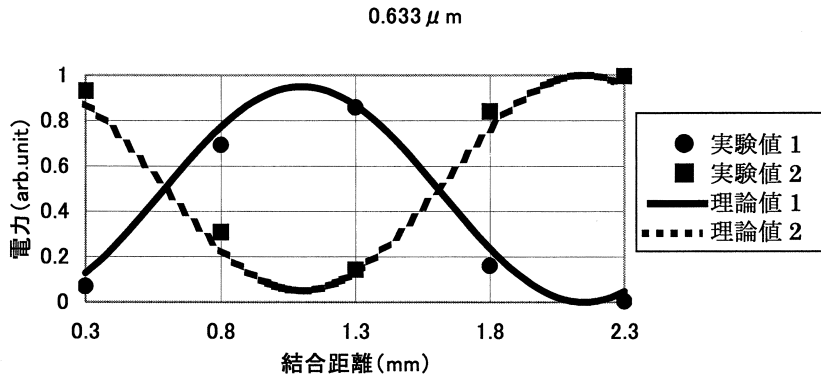


図3-6 $\lambda=0.633\mu\text{m}$ での電力移行

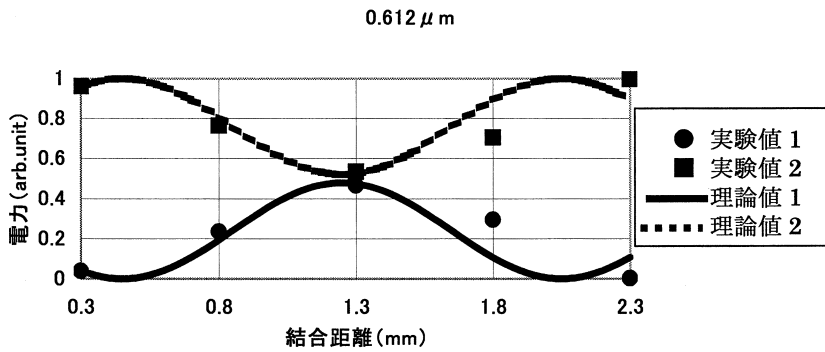


図3-7 $\lambda=0.612\mu\text{m}$ での電力移行

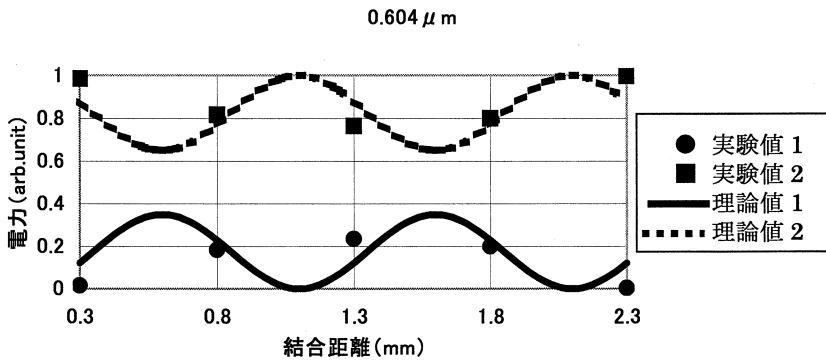


図3-8 $\lambda = 0.604\mu\text{m}$ での電力移行

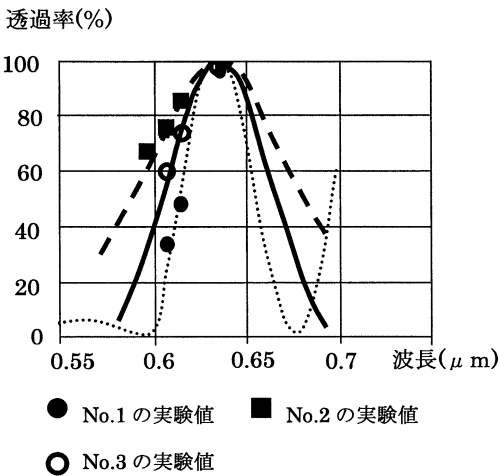


図3-9 測定結果から推測される素子一段の透過特性曲線

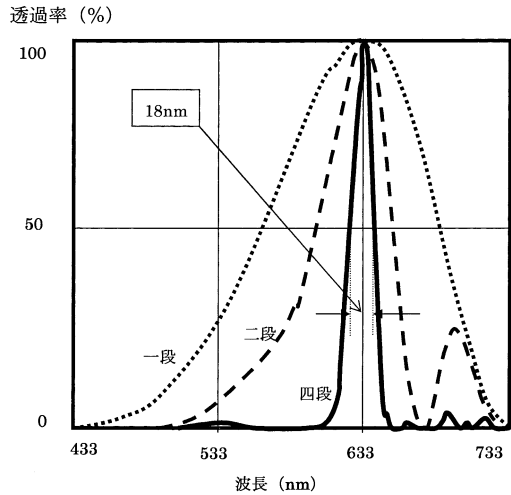


図4-1 素子 No.2の透過特性の計算値

ある。そこで、最も透過帯域の広がった試料 No.2のデータから多段接続の場合の透過特性を計算し、図4-1に示す。四段接続の場合の透過曲線の半値全幅は一段の場合にくらべて小さくなり、18nm となんとか CWDM に使える幅となる。しかしながら図4-2の多段接続の構造から、多段接続により素子長は長大になる。四段の接続には最低完全結合長の16倍の長さが必要とし、完全結合長を2mm とすると最低32mm となる。素子長に制限がある場合、透過帯域を狭くするためにはフィルタを構成する二本の導波路の分散特性の差を大きくしてすることが重要であり、今後の課題となる。

5. 考 察

イオン交換を用いた方向性結合器型光波長フィルタについて検討したが、同じ条件で試料を作製したにもかかわらず、

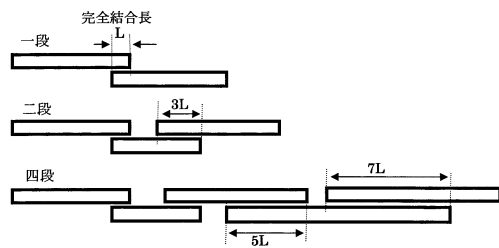


図4-2 多段接続構造

ならず、その特性のばらつきは大きかった。この原因のひとつとして、イオン交換時の温度のばらつきが考えられる。今回の実験においては、素子を構成する2本の導波路を別々にイオン交換で作製するため、1本目の導波路の作製時及び、2本目の導波路の作製時での温度条件

が微妙に異なっていた可能性がある。通常の方向性結合器であれば問題にならないが、2本の導波路の微妙な特性の違いを利用して実現する今回の素子の作製には、この作製温度条件の微妙な違いは素子特性に大きく影響すると思われる。したがって、特性のそろった(ばらつきの小さい)素子を得るには、硝酸カリウム融液中の温度をさらに精密にコントロールする必要があると思われる。最後に、本報告は平成15年、16年度の卒業実験で得られた結果をもとにしており、15年度大学院生坪島清太郎君をはじめ関与された卒業生諸君に深く謝意を表す。

参 考 文 献

西原浩, 春名正光, 栖原敏明: 光集積回路 (オーム社)

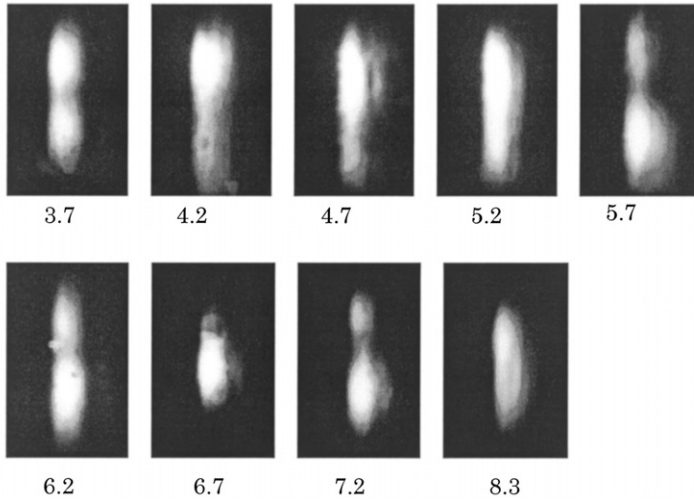
付録1. 測定データ (補足)

付録1-1 ニアフィールドパターン写真

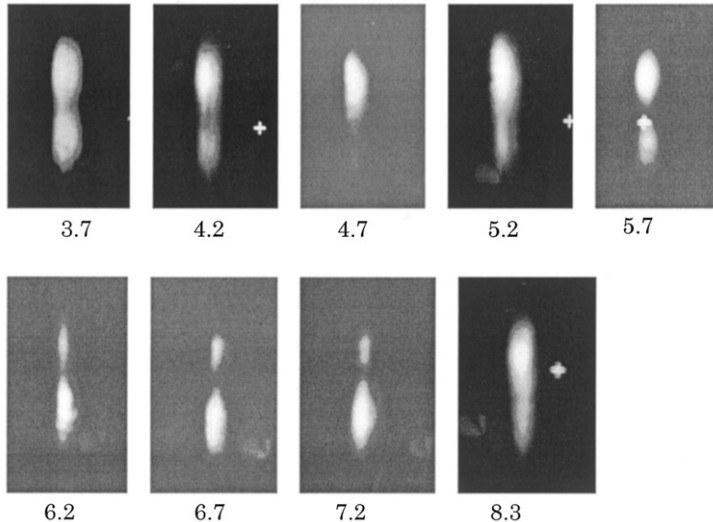
ここでは、測定に用いた他の2個の試料の測定で得られた9個の相互作用長点での出力光ニアフィールドパターンを測定波長毎に掲載した。測定波長は0.633~0.594 μm の4波長である。なお試料3については波長0.594 μm での測定において、高次のモードが発生したため有効なデータをとれなかった。

〈試料1〉ニアフィールドパターン (写真下の数値は相互作用長[mm])

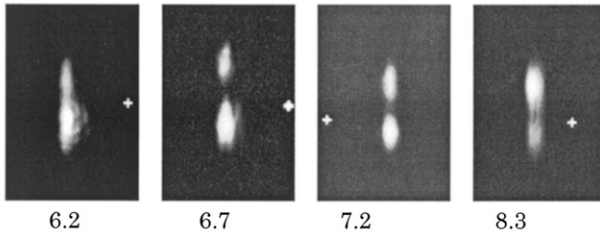
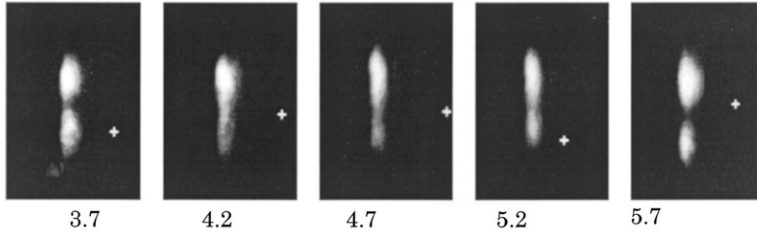
波長: 0.633 μm



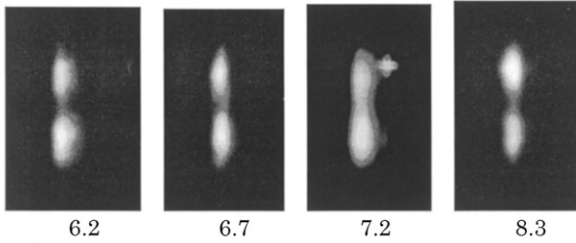
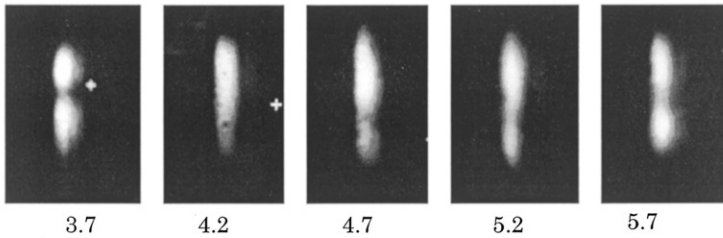
波長: 0.612 μm



波長 : 0.604 μm

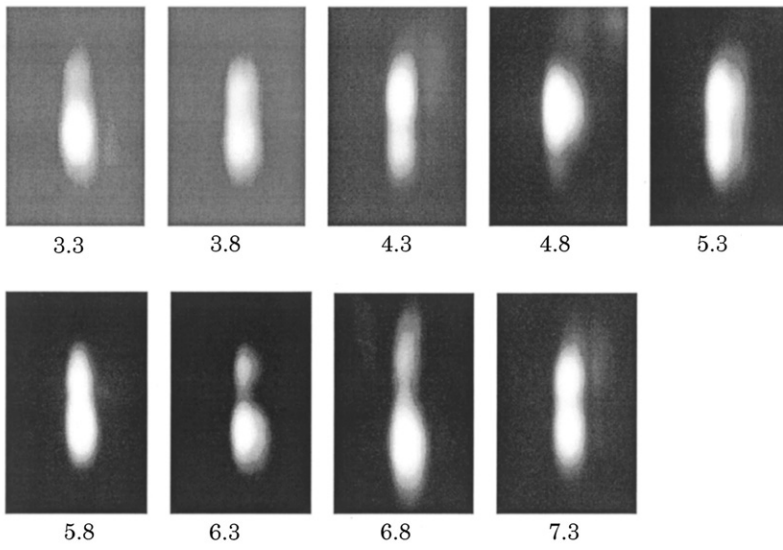


波長 : 0.594 μm

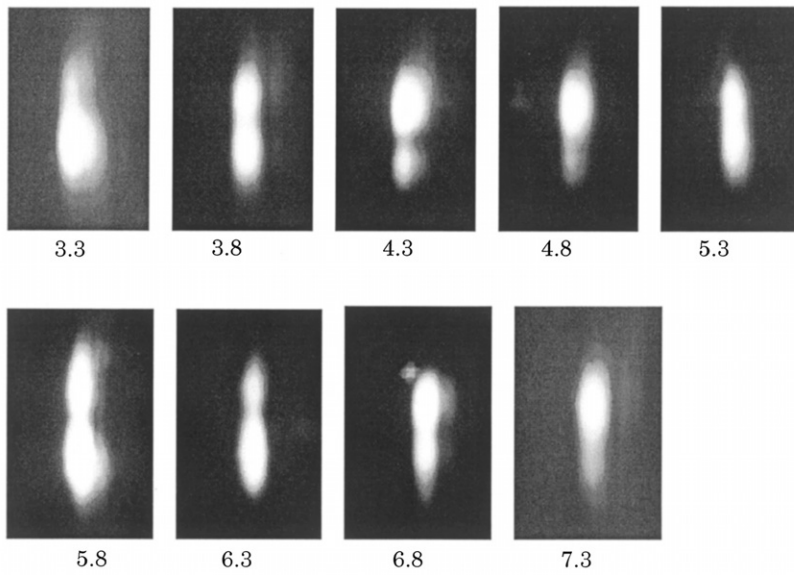


〈試料 2〉 ニアフィールドパターン

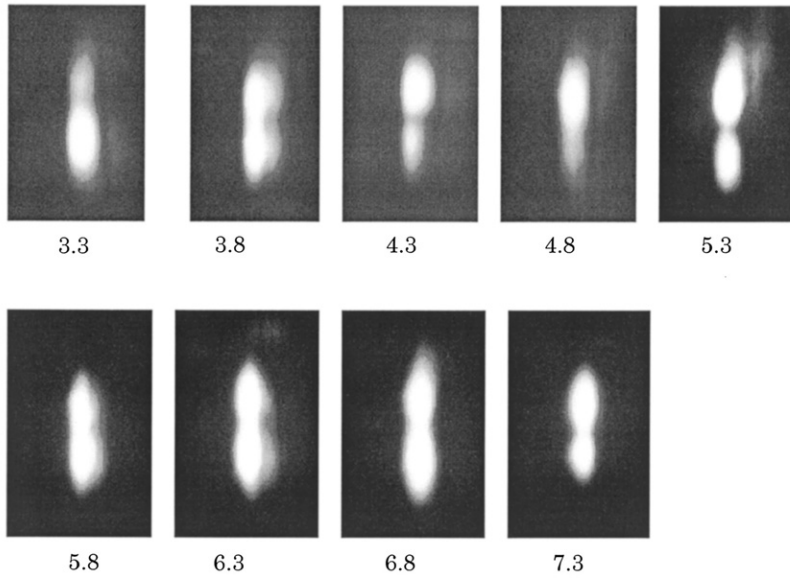
波長 : $0.633\mu\text{m}$



波長 : $0.612\mu\text{m}$



波長 : 0.604 μm

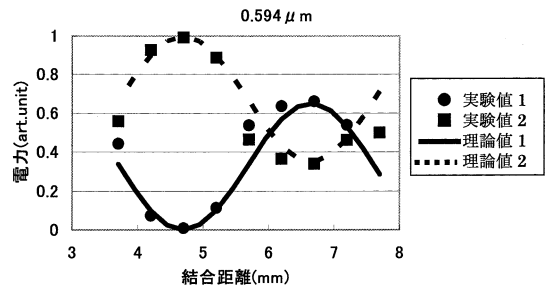
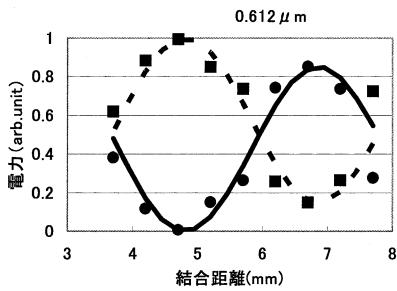
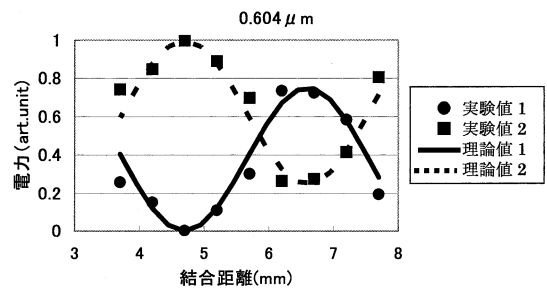
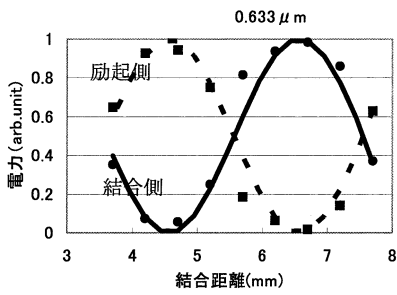


付録1-2 電力移行データ

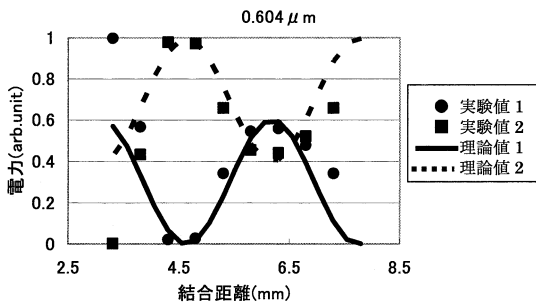
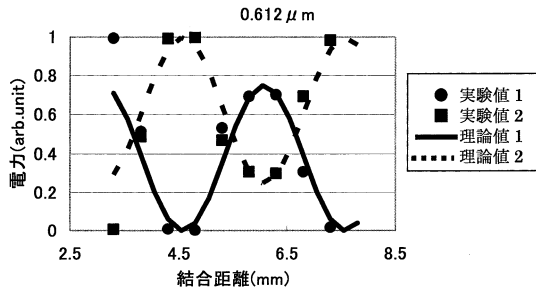
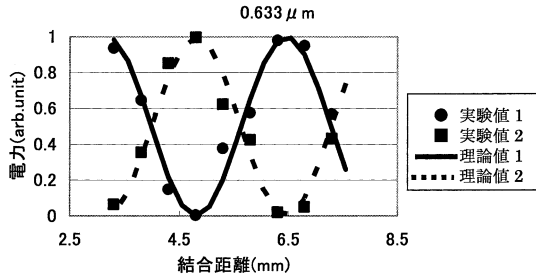
定波長毎の電力移行の様子を図にしている。

ここでは各試料について付録1-1をもとに得られた測

(試料 1)



(試料 2)



付録2. 導波路の屈折率分布と分散特性

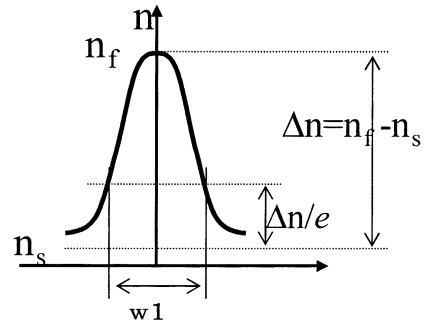
方向性結合器型光波長フィルタ素子を実現するためには、波長分散特性の異なる二本の導波路を用いて二平行導波路を作製する必要がある。ここではガウシアン屈折率分布をつ導波路を例にとり、その屈折率分布形状と分散特性について述べる。

付図2-1はガウシアン屈折率分布である。図では横軸に導波路幅、縦軸に屈折率変化を示しており、 Δn は n_f (最大屈折率) と n_s (基板屈折率) との差で定義される最大屈折率変化量である。導波路幅 w_1 は屈折率分布が Δn の $1/e$ になる全幅を記述している。このような導波路の規格化分散曲線の模式図を付図2-2に示す。

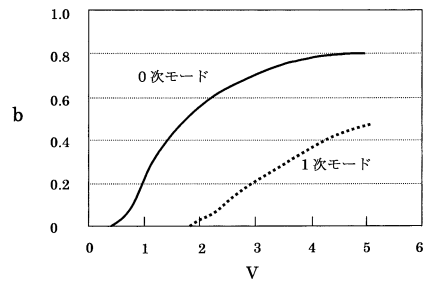
縦軸は規格化等価屈折率で

$$b = \frac{N_{\text{eff}}^2 - n_s^2}{n_f^2 - n_s^2} \quad (1)$$

で定義される。



付図2-1 屈折率分布



付図2-2 規格化分散曲線

横軸は規格化周波数で

$$V = kw\sqrt{(n_f^2 - n_s^2)} \quad (2)$$

で定義されている。

ただし、 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (3)

は波数である。(2)、(3)から

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{k}{2\pi} = \frac{V}{2\pi w\sqrt{(n_f^2 - n_s^2)}} \quad (4)$$

また、導波モードのカットオフを与える V_d 値は m 次モードで

$$V_{dm} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left(m + \frac{1}{2} \right) \quad (5)$$

である。いま、基本モードのみに着目すると、

$$V_{d0} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \quad (6)$$

である。

(3)、(5)、(6)から

$$\lambda_{d0} = 4\sqrt{2\pi} w\sqrt{(n_f^2 - n_s^2)} \quad (7)$$

式(7)から基本モードのカットオフ波長は導波路幅、最大屈折率変化量で決まることがわかる。ここで、

$w\sqrt{(n_f^2 - n_s^2)}$ の値が大小異なる二種類の導波路 1 と導波

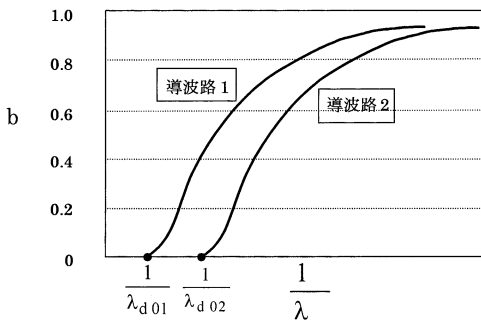
路2を考へる。そして、二種類の導波路幅 w_1, w_2 , 最大屈折率変化量 n_{f1}, n_{f2} がつぎのような関係にあるとする。

$$\lambda_{d01} = 4\sqrt{2\pi} w_1 \sqrt{(n_{f1}^2 + n_s^2)} > \lambda_{d02} = 4\sqrt{2\pi} w_2 \sqrt{(n_{f2}^2 + n_s^2)} \quad (8)$$

したがって

$$\frac{1}{\lambda_{d01}} < \frac{1}{\lambda_{d02}} \quad (9)$$

となり、縦軸に規格化等価屈折率 b , 横軸に波長の逆数 $\frac{1}{\lambda}$ をとって分散特性の図を描くと付図2-3のようになる。



付図2-3 横軸を波長の逆数とした分散曲線

さらに、この図から縦軸を等価屈折率変化量 $N_{eff} - n_s$ として描く。このとき N_{eff} については(1)式を変形して

$$N_{eff} = \sqrt{n_s^2 + b(n_f^2 - n_s^2)} \\ = n_s \left(1 + \frac{b}{2} \left(\frac{(n_f - n_s)(n_f + n_s)}{n_s} \right) \right) \approx n_s + b(n_f - n_s) \quad (10)$$

ここで変形には $n_f - n_s$ が微小であることを考慮している。

したがって

$$N_{eff} - n_s = b(n_f - n_s) = b \cdot \Delta n \quad (11)$$

$$\text{ただし, } \Delta n = n_f - n_s \quad (12)$$

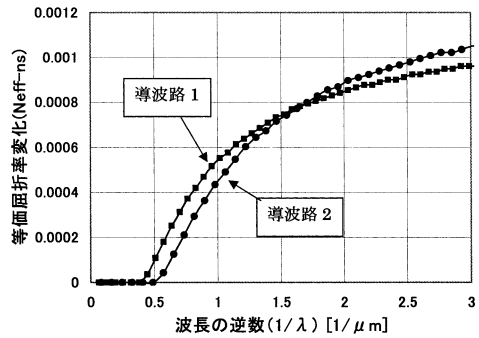
である。式(11)より等価屈折率変化量 $N_{eff} - n_s$ は b の値に Δn を乗じたものであるから、付図2-3より、カットオフ値の大きな導波路2の Δn の値を、導波路1のそれより大きな値を選ぶと付図2-4のように各分散曲線は交差することになる。

この図はつぎの導波路パラメータを用いて数値計算したものである。

導波路1 : $w_1 = 8.3 \mu\text{m}$, $\Delta n_1 = 0.0012$

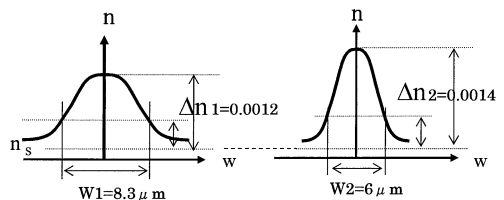
導波路2 : $w_2 = 6 \mu\text{m}$, $\Delta n_2 = 0.0014$

この両導波路の屈折率形状を付図2-5で比較すると、導波路1は幅が広くて最大屈折率変化量が小さく、導波

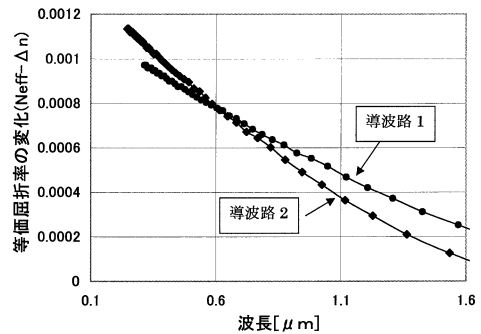


付図2-4 等価屈折率変化と波長の逆数

路2は幅が狭くて最大屈折率変化量は大きい。さらに、この図を横軸波長 λ でとり、等価屈折率波長分散の特性として付図2-6に示す。



付図2-5 導波路1と導波路2の屈折率分布



付図2-6 二導波路の分散特性

この図から二つの系列の導波路の分散曲線は、波長 $0.633 \mu\text{m}$ で交差し両導波路の波長分散差が生じ、さきに本文で述べたようにフィルタ素子を構成する導波路として使える。

付録3. 導波路の波長分散についての数値計算結果

次に、本文図2-3の方法によって作られる二平行導波路の各導波路波長分散の数値計算結果を述べる。また、計算で得られた分散差特性を用いて、これらの導波路を用いた場合のフィルタの透過特性を計算する。ここでは、

導波路1, 2の導波路幅としてここでは $9\mu\text{m}$ と $3\mu\text{m}$ としている。他に導波路1として $7\mu\text{m}$, $11\mu\text{m}$, 導波路2としては $5\mu\text{m}$ 等でも作製を試みたが, パワ移行が実験的に確認しやすい $9\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$ の組み合わせを選択している。ここでは, 導波路1, 2のイオン交換時間及び導波路1のアニール時間を変化させて調べ, どの条件で中心波長(ここでは $0.633\mu\text{m}$)で等価屈折率が一致するか調べる。なお, 計算に用いたガラス基板の定数は

拡散定数: $1.5 \times 10^{-15} [\text{m}^2/\text{sec}]$

最大屈折率変化量: 0.007

基板屈折率: 1.5065

基板の材料分散: 0.00912 (F-C 分散)

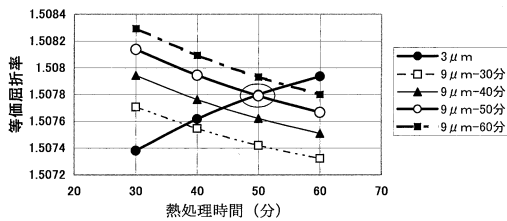
とした。

付表3-1は30-60分でイオン交換された導波路1を30-60分アニールしたものと30-60分イオン交換時間した導波路1の等価屈折率を計算した結果である。この表で, 熱処理時間とは, 導波路1(導波路幅 $9\mu\text{m}$)については30分~60分のイオン交換時間で既につくられている導波路(表記例: $9\mu\text{m}$ -30分...導波路幅 $9\mu\text{m}$ で30分のイオン交換を終えているもの)のアニール時間, 導波路2(導波路幅 $3\mu\text{m}$)については新たに導波路が作製されるイオン交換を意味する。

付表3-1 最大電力移行率

	3 μm	9 μm -30分	9 μm -40分	9 μm -50分	9 μm -60分
熱処理時間(分)					
30	1.50738	1.507707	1.507943	1.508137	1.508292
40	1.507617	1.507546	1.507763	1.507944	1.508084
50	1.507799	1.50742	1.507622	1.50779	1.507932
60	1.507936	1.507322	1.507509	1.507666	1.507801

この付表3-1をまとめると図付3-1のようになる。

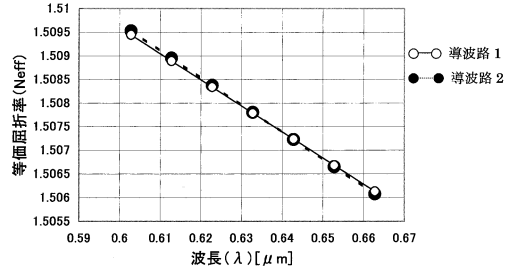


付図3-1 透過屈折率

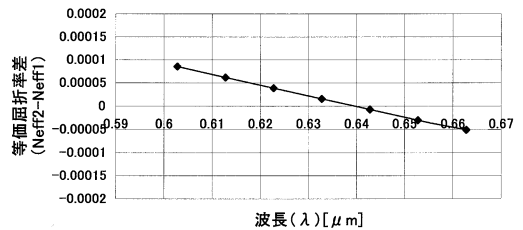
付図3-1より, 導波路1(導波路幅 $9\mu\text{m}$, イオン交換時間50分, アニール時間50分)と導波路2(導波路幅 $3\mu\text{m}$, イオン交換時間50分)の等価屈折率がほぼ等しくなっていることがわかる(図中の丸印の交点)。

この条件で作製した二つの導波路の等価屈折率の波長分散について計算すると付図3-2の結果を得る。この図では二つの分散特性は波長 $0.64\mu\text{m}$ 付近で交差している

ことがわかる。さらにわかりやすくするため両導波路の等価屈折率差を縦軸にとって表現すると付図3-3のようになる。

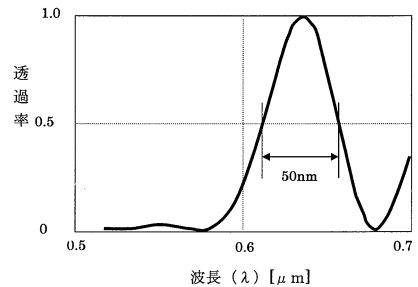


付図3-2 各導波路の分散特性



付図3-3 波長と2導波路の分散差

グラフから波長 $0.04\mu\text{m}$ の変化に対して 0.00009 程度の等価屈折率差を得ることができている。この値を用いて一段のみのフィルタの透過特性を計算すると付図3-4のようになる。透過特性の半値全幅は約 50nm 程度が期待できる。



付図3-4 フィルタ特性

付録4. 二平行導波路の作製方法

ここでは, 今回の作製手順について全工程を記述する。

- (1) 基板カット
スライドガラスをダイヤモンドカッターを用いて2分割にする。
- (2) 基板洗浄
カットした基板を超音波洗浄する。
洗浄の手順は, まず中性洗剤で基板を洗浄する。次に,

基板洗浄

アルミ蒸着



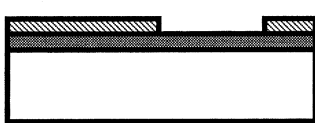
レジスト塗布



露光



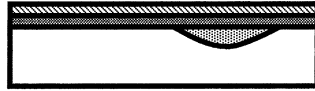
現像



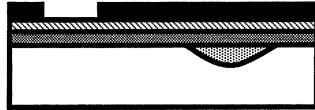
アルミ蒸着



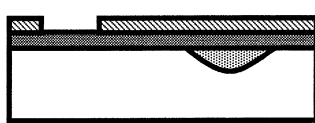
レジスト塗布



露光



現像



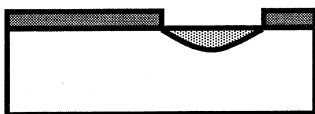
アルミエッチング



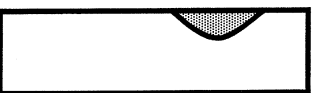
レジスト除去



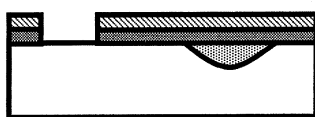
導波路1のカリウム置換



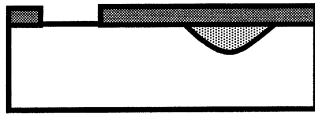
アルミエッチング



アルミエッチング

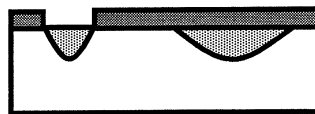


レジスト除去



導波路2のカリウム置換及び

導波路1のアニール



アルミエッチング



スパッタリング

付図4-1 導波路の作製工程

シャーレにアセトンを少量入れてその中に基板を入れ、超音波洗浄機で約3分間洗浄を行う。次に、同じ手順でエタノール、超純水の順番で洗浄する。その後、自然乾燥する。

(3) アルミ蒸着

洗浄した基板の表面に蒸着装置を用いてイオン交換用マスクのアルミニウムを蒸着する。これは後で行うカリウム置換によって起こるイオン交換を、アルミニウムを施した部分だけ防ぐためである。

なお、蒸着装置の使用方法は蒸着装置の取扱説明書に拠る。

排気圧： 5.0×10^{-6} Torr

(4) レジスト塗布

アルミニウムを蒸着した基板の上にレジストを塗布する。

次にスピナを用いて高速回転させ、基板上に均一なレジスト膜を作る。

スピナ回転数及び時間：1st 700rpm 5sec
2nd 4000rpm 30sec

レジスト：Shiplay 社マイクロポジット S1805

(5) プリベイク

レジストを塗布した基板をシャーレの中に入れて、それを電気炉で乾燥させレジストを焼き固める。電気炉に入れる際にはシャーレの上蓋を少し浮かせた状態で入れる。これはレジスト垂れを防ぐためである。

電気炉の温度：90℃

時間：21min

プリベイク後は自然乾燥で十分冷えるのを待つ。

(6) 露光 (1回目)

プリベイクが終了した基板に導波路1マスクを用いて露光を行う。まずマスクに付着している埃や汚れを取り除くために、綿棒にエタノールをつけ、マスクの両面に傷を付けないように軽くなぞる。次にマスクを露光器に取り付け、マスクのパターン面と基板上のレジストを向かい合わせ密着させた後、以下の条件で露光を行う。

露光器の光量：約9.8dBm

露光時間：4.0sec

(7) 現像

露光した基板を現像液を用いて攪拌しながら現像を行う。

現像液：Shiplay 社マイクロポジット・デベロップ MF319

現像時間：20sec

現像したらすぐに超純水で1分間洗浄を行う。その後、基板に付着している水を吹き払い、十分に自然乾燥させる。次に顕微鏡で導波路上にゴミが付着していないか、また鮮明に露光できているかを確認する。

(8) アルミエッチング

基板をアルミニウムエッチャントに浸し、導波路部分のアルミニウムを除去する。

アルミニウムエッチャント (りん酸：硝酸：酢酸：水=16：1：1：2)

(9) レジスト除去

基板をアセトン、エタノール、超純水の順番で洗浄し、レジストを除去する。

(10) 導波路1のカリウム置換

基板を370℃の電気炉中の硝酸カリウム融液に浸してカリウム置換を行う。これを行うことによって、導波路部分に光が導波しやすい高屈折率層ができる。

(11) 基板洗浄

(10)の工程の終了後、基板を取出しアセトン、エタノール、超純水の順番で洗浄する。

(12) レジスト塗布

(13) プリベイク

(14) 目合わせ保存用の露光 (2回目)

3回目の露光の時に合わせられるように目合わせ△点にマスクをする ((16)のアルミエッチングで目合わせマークがエッチングされないように)。

(15) 現像

(16) アルミエッチング

(8)と同様にアルミニウムエッチャントを用いて基板上に残っているアルミニウムを除去する。その後、顕微鏡を用いてエッチングや導波路がうまくできているか確認する。

(17) レジスト塗布

(18) アルミ蒸着

(19) レジスト塗布

(20) プリベイク

(21) 露光 (3回目)

導波路2マスクを用いて(6)と同様に行う。このとき、目合わせマークを利用して導波路間隔を調整する。

(22) 現像

(23) アルミエッチング

(24) レジスト除去

(25) 導波路2のカリウム置換

基板を硝酸カリウム融液に浸け、370℃の電気炉に入れてカリウム置換を行う。これを行うことによって、第一段階で作製した導波路1は第二段階で作製するカリウム置換によってアニールされることになる。

ここでいうアニールとは熱イオン交換に対して拡散源を遮断した状態で単に熱を加えることを意味する。

これによって屈折率変化が小さく、導波路幅が広い屈折率分布を持つ導波路を作製することができる。

(26) アルミエッチング

(27) スパッタリング

基板を洗浄した後、スパッタ装置を用いて SiO_2 を堆積する。スパッタリングを行う理由は、後で述べる研磨を行う際に端面が欠けるのを防ぐためである。なお、スパッタリングは以下の条件の通りである。

電極間隔：45mm

高周波出力：250W

ガス圧： 3.0×10^{-2} Torr

時間：75min

排気圧： 2.0×10^{-6} Torr

(28) 基板切断

素子出力端面を考慮してダイヤモンドソーで切断する。

(29) 研磨

研磨器を用いて端面の研磨を行う。

研磨剤 (15分おきに加える)

600番：15~20hour

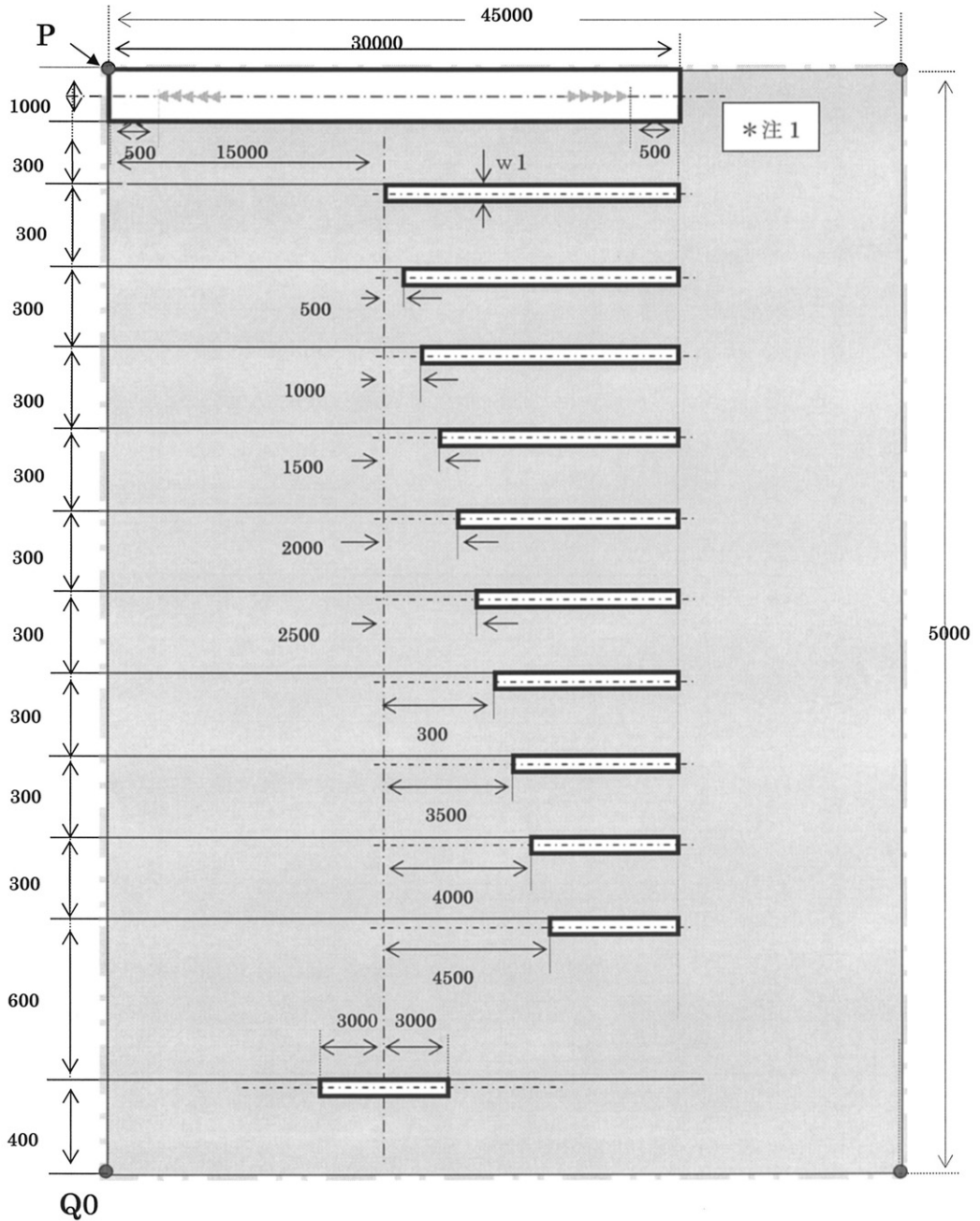
1500番：10~15hour

3000番：5hour

重りなし：3hour

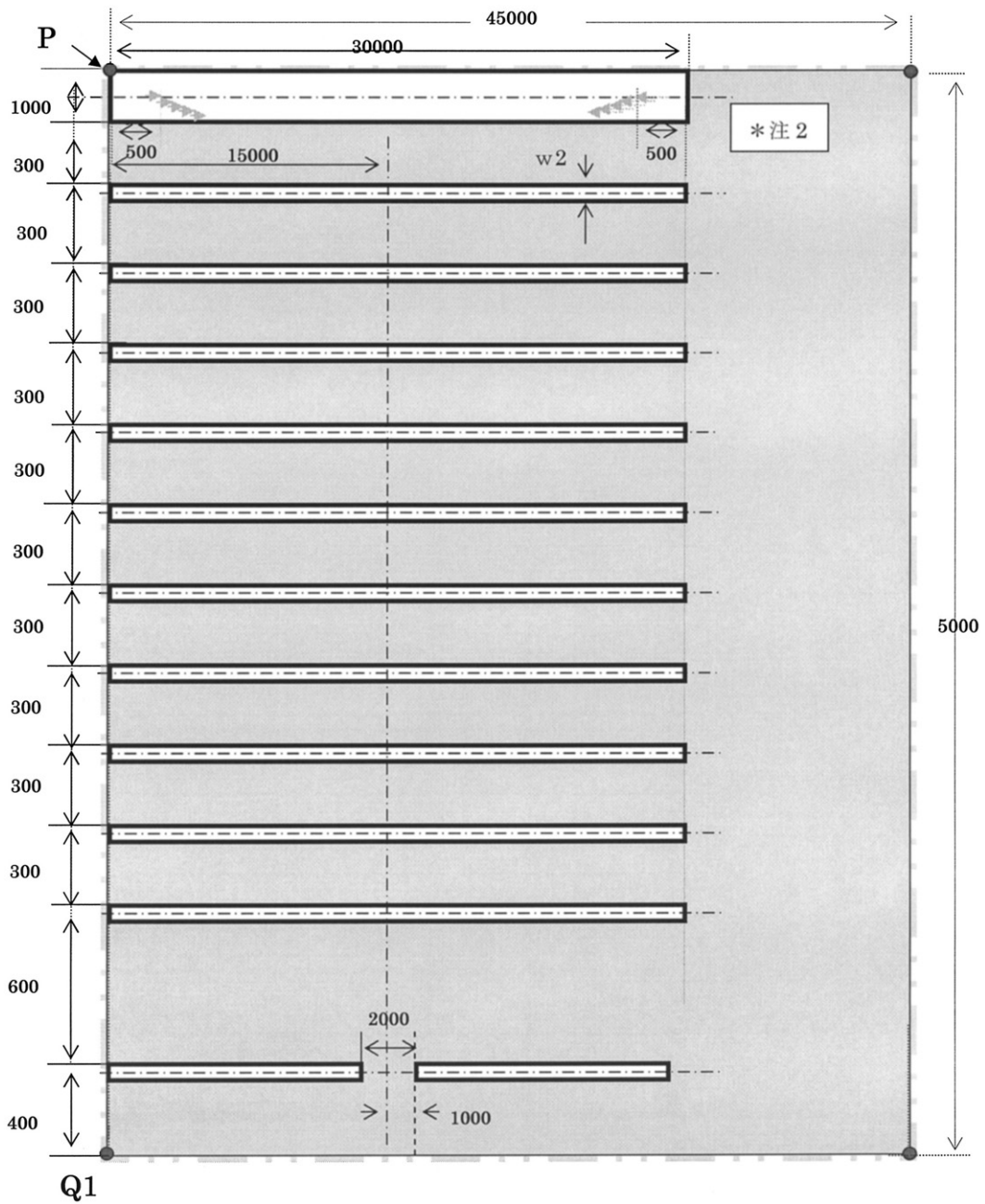
付録 5. マスク図面

5-1. 導波路 1



付図5-1 導波路 1 図面

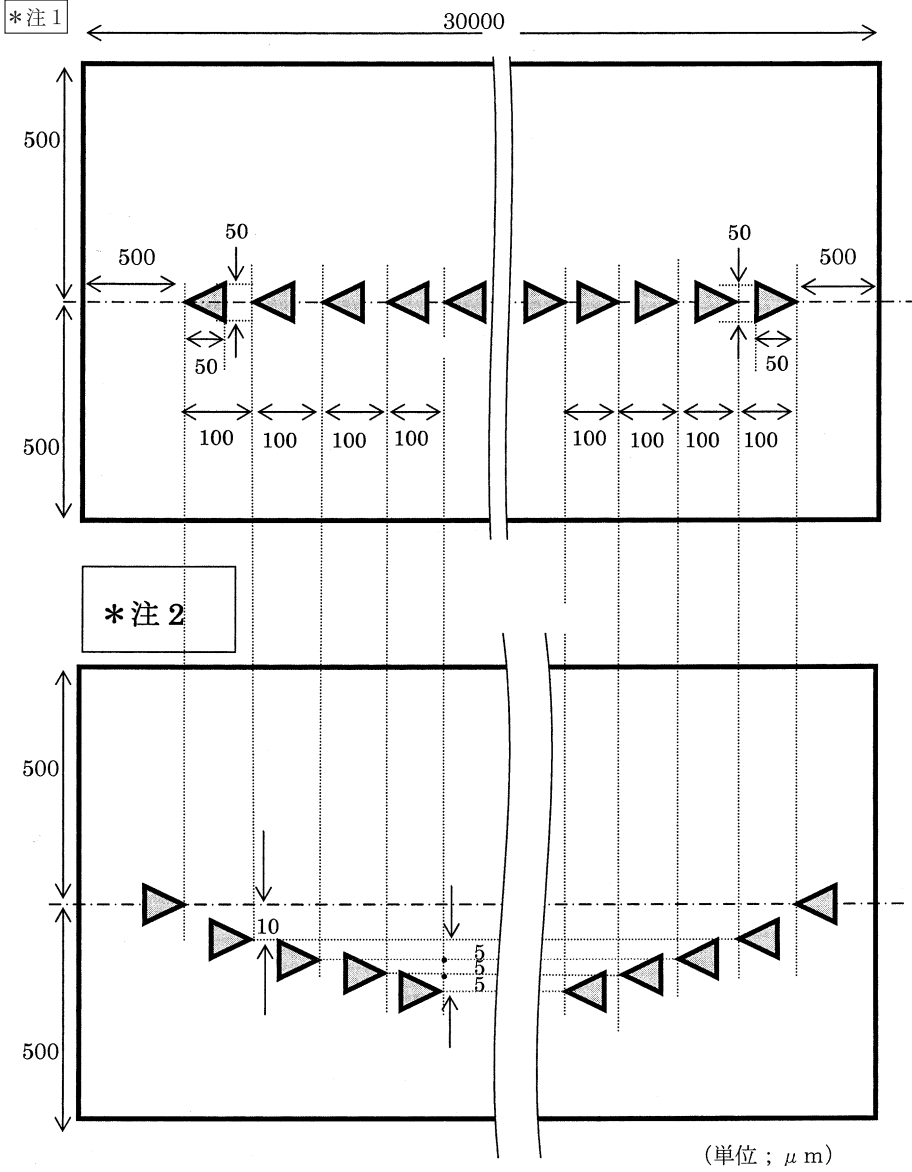
5-2. 導波路 2



付図5-2 導波路 2 図面

5-3. 目合わせマーク

上図中の注1, 注2の詳細図 (マスクの目合わせマーク)



付図5-3 目合わせマーク詳細図

