

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-240711

(43)公開日 平成8年(1996)9月17日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B	5/30		G 0 2 B	5/30

審査請求 未請求 請求項の数3 F D (全 6 頁)

(21)出願番号	特願平7-68859	(71)出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号
(22)出願日	平成7年(1995)3月3日	(72)発明者	安藤 慎治 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(72)発明者	澤田 孝 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(72)発明者	岩澤 晃 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(74)代理人	弁理士 中本 宏 (外2名) 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光波長板の製造方法

(57)【要約】

【目的】 延伸操作に供するフィルムの形状を最適化し、偏波変換度の高いポリイミド波長板をできるだけ効率的に製造する方法を提供する。

【構成】 テトラカルボン酸又はその誘導体とジアミンから合成されるポリアミド酸のフィルムを縦横比1.5以上の長方形又は中央部が縦横比1.5以上の長方形からなるダンベル形状に切り出し、それを(1)長軸方向を固定した状態で熱イミド化するか、(2)長軸方向に延伸した後、金属枠等で固定した状態で熱イミド化するか、あるいは(3)長軸方向に延伸しながら熱イミド化する、ポリイミド膜により構成される光波長板の製造方法。

【効果】 製造が容易で柔軟性があり、水晶を用いた光波長板に比べて膜厚が薄いため挿入損失が少なく、高い耐熱性を持った光波長板を高い生産性で提供することができる。

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 テトラカルボン酸又はその誘導体とジアミンから合成されるポリアミド酸のフィルムを縦横比 1.5 以上の長方形又は中央部が縦横比 1.5 以上の長方形からなるダンベル形状に切り出し、長軸方向を固定した状態で熱イミド化することを特徴とするポリイミド膜により構成される光波長板の製造方法。

【請求項 2】 テトラカルボン酸又はその誘導体とジアミンから合成されるポリアミド酸のフィルムを縦横比 1.5 以上の長方形又は中央部が縦横比 1.5 以上の長方形からなるダンベル形状に切り出し、長軸方向に延伸した後、金属枠等で固定した状態で熱イミド化することを特徴とするポリイミド膜により構成される光波長板の製造方法。

【請求項 3】 テトラカルボン酸又はその誘導体とジアミンから合成されるポリアミド酸のフィルムを縦横比 1.5 以上の長方形又は中央部が縦横比 1.5 以上の長方形からなるダンベル形状に切り出し、長軸方向に延伸しながら熱イミド化することを特徴とするポリイミド膜により構成される光波長板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は光波長板の製造方法に関し、特に加工性、耐熱性、経済性に優れ、可視光と近赤外光に対して有効なプラスチック系の光波長板の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 石英系の光導波路を用いた導波型光デバイスは、光損失が少なく実用的な光受動部品として期待されているが、その実用化に当たっての最大の問題として光導波回路の偏波依存性が指摘されている。これは石英系の光導波路を用いて光導波回路を作製した場合に、光導波路の複屈折に起因した信号品質の低下（水平偏波成分と垂直偏波成分との位相ずれ）として現われてくる。この原因は、石英系の光導波路を作製する際に 1000℃を超える高温を使用するためであり、基板であるシリコンと石英導波路の熱膨張率差により生じた残留応力に起因している。この複屈折を排除するため、光路の丁度中間地点に水晶からなる 1/2 波長板を挿入することにより、光信号の出射端での水平偏波成分と垂直偏波成分の位相ずれを補償する方法が知られている〔高橋 浩ほか、オプティックス レターズ (Optics Letters)、第 17 巻、第 7 号、第 499～501 頁 (1992)〕。この方法は構成が簡単であり、しかも導波型光デバイスの偏波依存性解消には極めて効果的である。但し、光波長板とその挿入溝の部分では導波光が閉じ込められずに放射してしまい、これが信号強度の減衰を引き起こすという問題を有している。高橋らは特開平 4-241304 号公報において、水晶の光波長板を用いた場合に光波長板部分での損失（過剰損失）が 4 dB にも上ることを

明らかにしている。本発明者らは、特願平 6-39368 号明細書において、テトラカルボン酸又はその誘導体とジアミンから合成されるポリアミド酸のフィルムに熱イミド化と一軸延伸を行うことにより、水晶に比べて大きな複屈折を有するポリイミドフィルムを作製することができ、このフィルムから作製した光波長板を導波型光デバイスに組込むことによって、光波長板挿入に伴う過剰損失を 0.3 dB まで低減できることを明らかにした。ここに見られる過剰損失の大幅な低減は、ポリイミド波長板の膜厚が水晶波長板の 1/6 以下であることに起因している。ポリイミド波長板は、300℃以上の耐熱性を持ち、加工性や経済性の点からも水晶波長板に比して優れている。本発明者らは前記明細書において、ポリイミド波長板の製造方法として以下の 6 つの方法が有効であることを明らかにした。すなわち、テトラカルボン酸又はその誘導体とジアミンから合成されるポリアミド酸の溶液を基板上に塗布し、短時間乾燥させた後、溶媒を含んだ状態のまま基板からはく離してフィルムとし、これを一軸延伸した後、金属枠等で固定した状態で熱イミド化する方法、上記と同様の方法で作製したポリアミド酸のフィルムを、一軸方向に延伸しながら熱イミド化する方法、上記と同様の方法で作製したポリアミド酸のフィルムを、金属枠等で一軸方向のみを固定した状態で熱イミド化する方法、テトラカルボン酸又はその誘導体とジアミンから合成されるポリアミド酸の溶液を面に熱膨張率異方性を有する基板に塗布し、それを熱イミド化する方法、上記いずれかの方法により作製されたポリイミド膜を 300℃以上の高温下において一軸方向に延伸する方法、同じく上記いずれかの方法により作製されたポリイミド膜を、300℃以上の高温下において熱処理する方法である。ポリイミドを用いた光波長板を得るためには、面内複屈折 (Δn) × 膜厚 (d) で定義されるリターデーションの値 (R) を導波光波長の 1/2 や 1/4 に正確に合せることが必要である。上記の方法のうち初めの 3 つの方法から得られるポリイミド波長板は、延伸操作を行ったポリイミドフィルムの全域から得られるわけではなく、リターデーションの調整が行われたフィルムの中央部分から得られるのであって、その他の部分ではリターデーションが目的値からずれているために光波長板として使用することができない。導波型光デバイスに用いられるポリイミド波長板の代表的な形状は 5mm × 2mm であり、延伸操作を行った 1 枚のポリイミドフィルムからできるだけ多くのポリイミド波長板を得ることが、生産性向上の観点から重要である。このことは、1 枚のフィルム中に占める一定のリターデーションを持つ領域の面積を広げることの重要性を示している。

【0003】 導波型光デバイスに用いられるポリイミド波長板には、通常 3 dB 以上の偏波変換度が要求される。ここで偏波変換度とは、入射光の偏光状態を光波長

板によって変換した場合、変換されずに残ってしまった偏光成分に対する変換された偏光成分の割合を示している。本発明者らは前記明細書において、ポリイミド波長板作製に用いるフィルム形状として縦 6 cm×横 3 cm を採用したが、延伸に供するフィルムの形状がそこから切り出すことのできるポリイミド波長板の枚数に及ぼす影響、すなわちフィルムの形状が偏波変換度 30 dB 以上のリターデーション精度を持つ面積分率に対して及ぼす効果については検討を行わなかった。また、これまで同様の検討が行われたという報告はなされていない。しかし上述の理由によって、ポリイミド波長板の生産性を更に向上するためにはフィルム形状の最適化が不可欠である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の技術で述べたように、ポリイミド波長板の製造工程において、ポリイミドフィルム中に占める所定の値以上のリターデーション精度を持つ面積の割合をできるだけ増加させることが、ポリイミド波長板の製造工程を効率化し、生産性を向上する上で重要である。本発明は延伸操作に供するフィルムの形状を最適化し、偏波変換度の高いポリイミド波長板をできるだけ効率的に製造することを目的としている。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明を概説すれば、本発明は光波長板の製造方法に関する発明であって、その 1 は、テトラカルボン酸又はその誘導体とジアミンから合成されるポリアミド酸のフィルムを縦横比 1.5 以上の長方形又は中央部が縦横比 1.5 以上の長方形からなるダンベル形状に切り出し、長軸方向を固定した状態で熱イミド化することを、その 2 はテトラカルボン酸又はその誘導体とジアミンから合成されるポリアミド酸のフ*

表 1

＊ィルムを縦横比 1.5 以上の長方形又は中央部が縦横比 1.5 以上の長方形からなるダンベル形状に切り出し、長軸方向に延伸した後、金属枠等で固定した状態で熱イミド化することを、その 3 はテトラカルボン酸又はその誘導体とジアミンから合成されるポリアミド酸のフィルムを縦横比 1.5 以上の長方形又は中央部が縦横比 1.5 以上の長方形からなるダンベル形状に切り出し、長軸方向に延伸しながら熱イミド化することを特徴としている。

10 【0006】本発明者らはまず、ほぼ同一の面積でしかも形状の異なる種々の長方形フィルムに加重をかけ延伸した場合の応力分布を有限要素法により計算し、偏波変換度の面積的広がり最も大きくなる形状を探索した。

(図 1) に縦 8 cm×横 6 cm のフィルムについて計算した場合のモデルを示す。フィルムの下辺には 0.5 cm 置きに 1 kg 重の下向きの応力がかかっており、フィルムの単位断面積当りの加重がほぼ等しくなるように設定されている。ポリイミドフィルムのヤング率は 100 kg/mm²、ポアソン比は 0.33、膜厚は 25 μm と仮定した。有限要素法における計算要素は、図中に示すように 0.5 mm 間隔のメッシュを更に対角線で 2 等分したものであり、例えば図 1 のフィルムにおける計算要素の総数は 384 個である。ここで、フィルムの上辺は固定されているが、他のすべての点は下辺に加えられた応力に応じて自由に移動することができる。計算に用いたモデルの縦横比（延伸方向の長さ÷延伸方向と直角方向の長さ：以後 η で表す）と実際の形状（縦 A cm×横 B cm）を（表 1）に示す。η が大きくなるほど延伸方向に細長い形状となっている。

【0007】

【表 1】

縦横比：η	A (cm)	B (cm)	加重 (kg)	面積 (cm ²)
4.0	20	5	11	100
2.67	16	6	13	96
2.0	14	7	15	98
1.5	12	8	17	96
1.22	11	9	19	99
1.0	10	10	21	100
0.82	9	11	23	99
0.67	8	12	25	96
0.50	7	14	29	98
0.37	6	16	33	96

【0008】また、η = 1 すなわち正方形のフィルムに延伸を行った場合の形状変化を（図 2）に示す。すなわち、図 2 は、η = 1 の計算モデルの下辺に荷重を印可し

た場合に生ずる形状の変化と応力楕円を示す図である。

（図 2）において、○印は延伸前の各点の位置、●印は延伸後の各点の位置を模式的に示している。延伸によ

て下辺の各点が下方に変位すると共に、左右辺の各点には内向きの応力がかかるため、フィルムは全体としてくびれた形状となる。フィルム面内における応力楕円の形状変化も併せて示した。また、フィルム中心部のリターデーションが波長の $1/2$ に丁度合致したと仮定した場合の、各点での $1/2$ 波長板としての偏波変換度(単位dB)を計算し、その分布形状を等高線で(図3)に示した。フィルムの面内複屈折発現に寄与するのは延伸軸方向の主応力 σ_1 とそれに直交する主応力 σ_2 の差($\Delta\sigma$)であることから、 $\Delta\sigma$ が最も大きくなるフィルムの中心部付近で最大の Δn が発現することがわかる。全体のフィルム面積に対するこの領域の割合を増やすことが生産性の向上につながる。 η を0.375から4.0まで変化させた場合の偏波変換度の面内分布をまとめた結果を(図4)に示す。図中において、□印はフィルムの中心位置における面内応力異方性($\Delta\sigma$)、△印は偏波変換度が30dB以上の計算単位が全計算単位に占める割合を示している。 $\Delta\sigma$ は $\eta < 1$ において η の増加と共に急速に増加し、 $\eta \geq 1.5$ ではほぼ一定値を示している。これは $\eta < 1.5$ の形状を持つフィルムに均等な荷重をかけても、中心部で得られる面内複屈折が $\eta \geq 1.5$ に比べてかなり小さいことを意味している。一方、30dB以上の偏波変換度を有する領域の割合は $\eta < 1.5$ まではほぼ一定であり、一方、 $\eta \geq 1.5$ で増加傾向にある。このことは、ポリイミド波長板の生産性向上のために $\eta \geq 1.5$ の形状が適しており、特に $\eta \geq 3$ が効果的であることを意味している。 $\eta \geq 3$ を満たす形状として、フィルムの力学試験に用いられるダンベル形状がよく知られている。ダンベル状の試験片形状にはいくつかの型が規定されている。そのほとんどは中央の $\eta \geq 3$ の長方形部分に平均的な引張り応力が印可される形状となっている。例えば、日本工業規格K6301の1号型と呼ばれるダンベル形状では、中央部は $\eta = 4$ の長方形であり、しかもチャック部分へつながる形状は漸次幅広になっているため、効果的な延伸が可能であると共に、チャック部分でのフィルム切断を防止する上で効果的である。このことは、延伸フィルムの形状としてダンベル形状が $\eta \geq 3$ の長方形に比べ更に優れていることを示している。すなわち、偏波変換度が30dB以上である領域の面積が50%以上であることが、コスト、量産性の観点からは必要であることを示している。

【0009】

【実施例】以下、本発明を実施例により更に具体的に説明するが、本発明はこれら実施例に限定されない。なお、ポリイミドフィルムのリターデーション(R)は、波長 $1.55\mu\text{m}$ のレーザーダイオードを光源とし、2つのグラントムソンプリズムを偏光子、検光子として「平行ニコル回転法」により測定した。またポリイミドフィルムの偏波変換度は、同様の測定系において検光子を偏光子に対して90度回転させることにより測定し

た。偏波変換度の単位はすべてデシベル(dB)表示とした。

【0010】実施例1

ピロメリット酸二無水物と2,2'-ビス(トリフルオロメチル)-4,4'-ジアミノビフェニルから合成されたポリアミド酸のN,N-ジメチルアセトアミド(DMAc)溶液を直径6インチのシリコンウェハにスピコート法により塗布し、70℃、1時間の熱処理をしてはく離できる程度に溶媒を蒸発させた。はく離したフィルムを縦 $10.5\text{cm} \times$ 横 4.25cm に切り出し、金属枠に縦方向だけを固定して、最高温度350℃で熱イミド化を行った。縦方向の両端に1cmのチャック部分を確保したことにより、延伸フィルムの大きさは縦 $8.5\text{cm} \times$ 横 4.25cm ($\eta = 2$)、面積は 36cm^2 となる。ポリアミド酸フィルムは熱処理によるイミド化過程で収縮するため、縦方向に引張り応力がかかりフィルムは延伸される。得られたポリイミドフィルムの中心部における Δn は0.053であった。これを波長 $1.55\mu\text{m}$ の $1/2$ 波長板として使用するためには、膜厚が $14.6\mu\text{m}$ である必要がある。そこでポリアミド酸溶液のスピコートの条件を、熱イミド化後の膜厚が $14.6\mu\text{m}$ となるように変えて上記の処理を再度繰り返した。 $\eta = 2$ の場合について計算した偏波変換度の分布形状を(図5)に、また得られたフィルムについて測定した偏波変換度の分布形状を等高線で(図6)に示す。実測と計算の結果は、比較的良く一致している。すなわち、(図5)は、 $\eta = 2$ の計算モデルにおいて、フィルム中心部のリターデーションが波長の $1/2$ に丁度合致したと仮定した場合の、各点での $1/2$ 波長板としての偏波変換度(単位dB)を計算し、その分布形状を等高線で示した図である。また、(図6)は、 $\eta = 2$ の延伸ポリイミドフィルムにおける $1/2$ 波長板としての偏波変換度(単位dB)の分布形状を等高線で示した図である。

【0011】全体のフィルム面積に占める30dB以上の偏波変換度を有する領域の面積の割合は、計算値が26%、実測値が18%であった。縦 $10.4\text{cm} \times$ 横 3.46cm ($\eta = 3$)、面積 36cm^2 のフィルムに対しても同様の操作を行い、偏波変換度の計算と実測を行ったところ、全体のフィルム面積に占める30dB以上の偏波変換度を有する領域の面積の割合は、計算値が57%、実測値が41%であった。また、同様の操作により作製した縦 $7.4\text{cm} \times$ 横 4.9cm ($\eta = 1.5$)、面積 36cm^2 のフィルムについて偏波変換度の計算と実測を行ったところ、偏波変換度30dB以上を示す面積の割合は、計算値が13%、実測値が10%であった。以上に示したように、フィルムの面積は一定であっても、1枚のフィルムから得られるポリイミド波長板の枚数は η によって大きく異なり、しかもそれは $\eta \geq 1.5$ において η の増加と共に急速に増加することが明

らからである。次いで、上記と同様の方法により得られたポリアミド酸フィルムを、日本工業規格K6301（加硫ゴム物理試験方法）試験片1号型の打ち抜き型（東洋精機製作所製、長さ12cm、チャック部分の幅：2.5cm、中央部の形状：4cm×1cm）を用いて打ち抜き、ダンベル形状のフィルムを得た。これを金属枠に長軸方向（縦方向）だけを固定して、最高温度350℃で熱処理を行った。引張り応力が均等にかかる中央の長方形部分について偏波変換度の計算と実測を行ったところ、30dB以上の偏波変換度を有する領域の面積の割合は、計算値が73%、実測値が60%であった。全体のフィルム面積に占める30dB以上の偏波変換度を有する領域の面積比は、 $\eta=1.5$ 、2、3の各形状について計算値：実測値=1：約0.7であったが、ダンベル形状では計算値：実測値=1：0.82となり、実測値が計算値に近づく傾向が見られた。このことは延伸フィルムの形状として、ダンベル形状が $\eta \geq 3$ の長方形よりも更に優れていることを示している。

【0012】実施例2

実施例1と同様の方法で得たポリアミド酸フィルムをシリコン基板からはく離し、縦10cm×横5cmに切り出し後、縦方向の両端をチャックで押えて延伸し、縦12cm×横5cmのフィルムを得た。このフィルムを金属枠に縦方向だけを固定して最高温度350℃で熱処理を行った。両端に長さ1cmのチャック部分を確保したため、フィルムの大きさは縦10cm×横5cm（ $\eta=2$ ）であった。得られたポリイミドフィルムの厚さは13.2 μm 、中心部のリターデーションは0.77 μm であり、全体のフィルム面積に占める30dB以上の偏波変換度の割合は19%であった。次いで同様の方法により、縦7.5cm×横5cmの延伸ポリイミドフィルム（ $\eta=1.5$ ）を作製した。得られたポリイミドフィルムの厚さは13.3 μm 、中心部のリターデーションは0.76 μm であり、30dB以上の偏波変換度の割合は10%であった。また、実施例1で用いた打ち抜き型を用いて上記の延伸ポリアミド酸フィルム（縦12cm×横5cm）を打ち抜き、ダンベル形状のフィルムを得た。これを金属枠に縦方向だけを固定して、最高温度350℃で熱処理を行った。得られたポリイミドフィルムの厚さは13.1 μm 、リターデーションは0.77であった。引張り応力が均等にかかる中央の長方形部分について偏波変換度30dB以上を有する領域の面積の割合を測定したところ58%であった。

【0013】実施例3

実施例1と同様の方法で得たポリアミド酸フィルムを基板からはく離し、縦12cm×横5cmに切り出し後、縦方向の上部1cmをチャックで固定した。次いでフィルムの縦方向の長さが10cm（ $\eta=2$ ）となるようにフィルムの下部に300gの重りを固定し、フィルムを重力方向に垂らし、フィルムに均一荷重をかけながら最

高温度350℃で熱処理を行った。得られたポリイミドフィルムの厚さは13 μm 、中心部のリターデーションは0.78であり、偏波変換度30dB以上の面積の割合は21%であった。次いで同様の方法により縦方向の長さが7.5cm（ $\eta=1.5$ ）となるように300gの重りを付け、フィルムを垂直方向に垂らし、フィルムに均一荷重をかけながら最高温度350℃で熱処理を行った。得られたポリイミドフィルムの厚さは13.1 μm 、中心部のリターデーションは0.77であり、偏波変換度30dB以上の面積の割合は11%であった。更に実施例1で用いた打ち抜き型を用いてダンベル形状に切り出したポリアミド酸フィルムの縦方向上部を固定し、下部に60gの重りをぶら下げ、均一荷重をかけながら最高温度350℃で熱処理を行った。得られたポリイミドフィルムの膜厚は13 μm 、中心部のリターデーションは0.78であり、偏波変換度30dB以上の部分の割合は62%であった。

【0014】比較例1

実施例1と同様の方法により、基板からはく離したポリアミド酸フィルムを縦8cm×横6cmに切り出し、金属枠に縦方向だけを固定して、最高温度350℃で熱処理を行った。縦方向の両端に1cmのチャック部分を確保したことにより、延伸フィルムの大きさは縦6cm×横6cm（ $\eta=1$ ）、面積は36 cm^2 となる。得られたフィルムについて測定した1/2波長板としての偏波変換度（単位dB）の分布形状を等高線で（図7）に示す。実施例1で示した $\eta=2$ の場合と同様、この実測結果と（図3）に示した計算結果はよく一致しており、本発明で用いた計算手法に妥当性を示している。全体のフィルム面積に占める30dB以上の偏波変換度を有する領域の面積の割合は、計算値が10%、実測値が7%であった。

【0015】比較例2

実施例3と同様の方法により、基板からはく離したポリアミド酸フィルムを縦7cm×横5cmに切り出し、縦方向の上部1cmをチャック部分で固定した。次いでフィルムの縦方向の長さが5cm（ $\eta=1$ ）となるようにフィルムの下部に300gの重りを固定し、フィルムを重力方向に垂らし、フィルムに均一荷重をかけながら最高温度350℃で熱処理を行った。得られたポリイミドフィルムの厚さは13.3 μm 、中心部のリターデーションは0.75であり、30dB以上の偏波変換度の割合は5%であった。

【0016】

【発明の効果】本発明によれば、製造が容易で柔軟性があり、水晶を用いた光波長板に比べて膜厚が薄いため挿入損失が少なく、しかも300℃以上の高い耐熱性を持った光波長板を高い生産性で提供することができ、主に導波型光デバイスの高性能化、低価格化と作製プロセスの効率化といった点に寄与することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】有限要素法の計算に用いたモデルを示す図である。

【図2】 $\eta = 1$ の計算モデルの下辺に荷重を印可した場合に生ずる形状の変化と応力楕円を示す図である。

【図3】 $\eta = 1$ の計算モデルにおいて、フィルム中心部のリターデーションが波長の $1/2$ に丁度合致したと仮定した場合の、各点での $1/2$ 波長板としての偏波変換度(単位dB)を計算し、その分布形状を等高線で示した図である。

【図4】 η を変化させた場合の偏波変換度の面内分布の計算結果を示す図である。

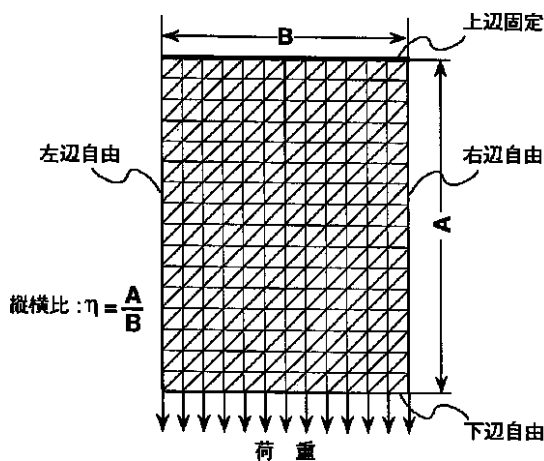
*【図5】 $\eta = 2$ の計算モデルにおいて、フィルム中心部のリターデーションが波長の $1/2$ に丁度合致したと仮定した場合の、各点での $1/2$ 波長板としての偏波変換度(単位dB)を計算し、その分布形状を等高線で示した図である。

【図6】 $\eta = 2$ の延伸ポリイミドフィルムにおける $1/2$ 波長板としての偏波変換度(単位dB)の分布形状を等高線で示した図である。

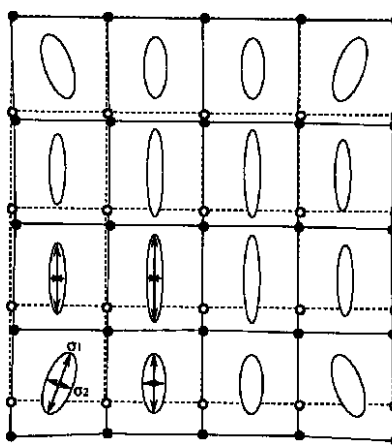
10 【図7】 $\eta = 1$ の延伸ポリイミドフィルムにおける $1/2$ 波長板としての偏波変換度(単位dB)の分布形状を等高線で示した図である。

*

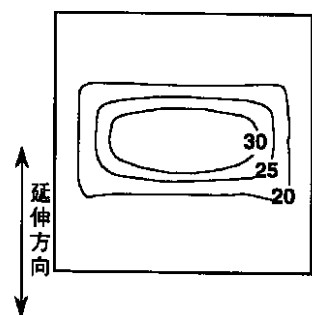
【図1】



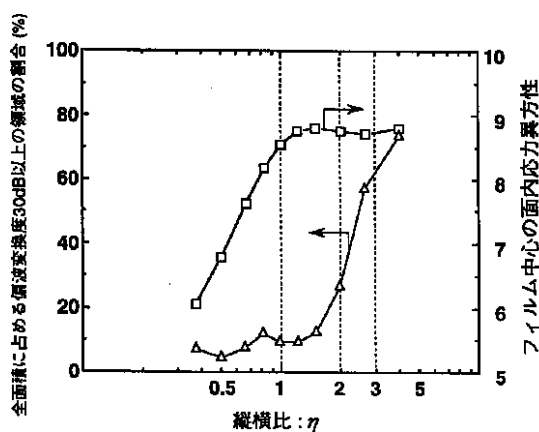
【図2】



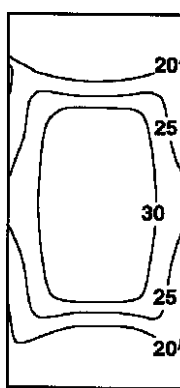
【図3】



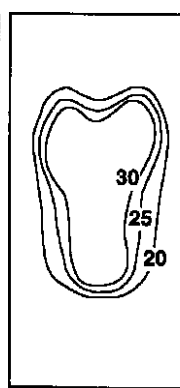
【図4】



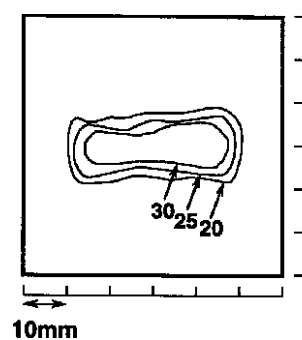
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 佐々木 重邦

東京都千代田区幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内