



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I872140 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 02 月 11 日

(21)申請案號：109136443

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 10 月 21 日

(51)Int. Cl. : G01B9/02 (2022.01)

G01C11/06 (2006.01)

G02B5/18 (2006.01)

G02B27/10 (2006.01)

(30)優先權：2019/10/25 日本

2019-194654

(71)申請人：日商大塚電子股份有限公司 (日本) OTSUKA ELECTRONICS CO., LTD. (JP)
日本(72)發明人：新家俊輝 SHINKE, TOSHIKI (JP) ; 井上展幸 INOUE, NOBUYUKI (JP) ; 大川内
真 OKAWAUCHI, MAKOTO (JP) ; 岡本宗大 OKAMOTO, SOTA (JP) ; 川口史朗
KAWAGUCHI, SHIRO (JP) ; 水口勉 MIZUGUCHI, TSUTOMU (JP)

(74)代理人：洪澄文；洪茂

(56)參考文獻：

TW 201923305A

CN 110062952A

JP H10-122824A

JP 2011-117777A

JP 2019-20419A

US 2019/0302083A1

審查人員：黃彥豪

申請專利範圍項數：9 項 圖式數：24 共 69 頁

(54)名稱

光學測定裝置、波長校正方法及標準試料

(57)摘要

光學測定裝置，包含理論干擾光譜取得手段，根據標準試料的已知厚度、折射率及衰減係數，取得數值上算出關於上述標準試料的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為理論干擾光譜；實測干擾光譜取得手段，透過以受光器經由繞射光柵接收照射測量光在標準試料上產生的反射光或透射光，取得產生的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為實測干擾光譜；對應資訊取得手段，取得用於決定關於理論干擾光譜與實測干擾光譜的波長之對應的對應資訊；以及波長校正手段，為了使應用規定複數受光元件的波長值之波長校正式至實測干擾光譜的結果與理論干擾光譜一致，參照對應資訊，決定波長校正式。

指定代表圖：

符號簡單說明：
S1~S10:步驟

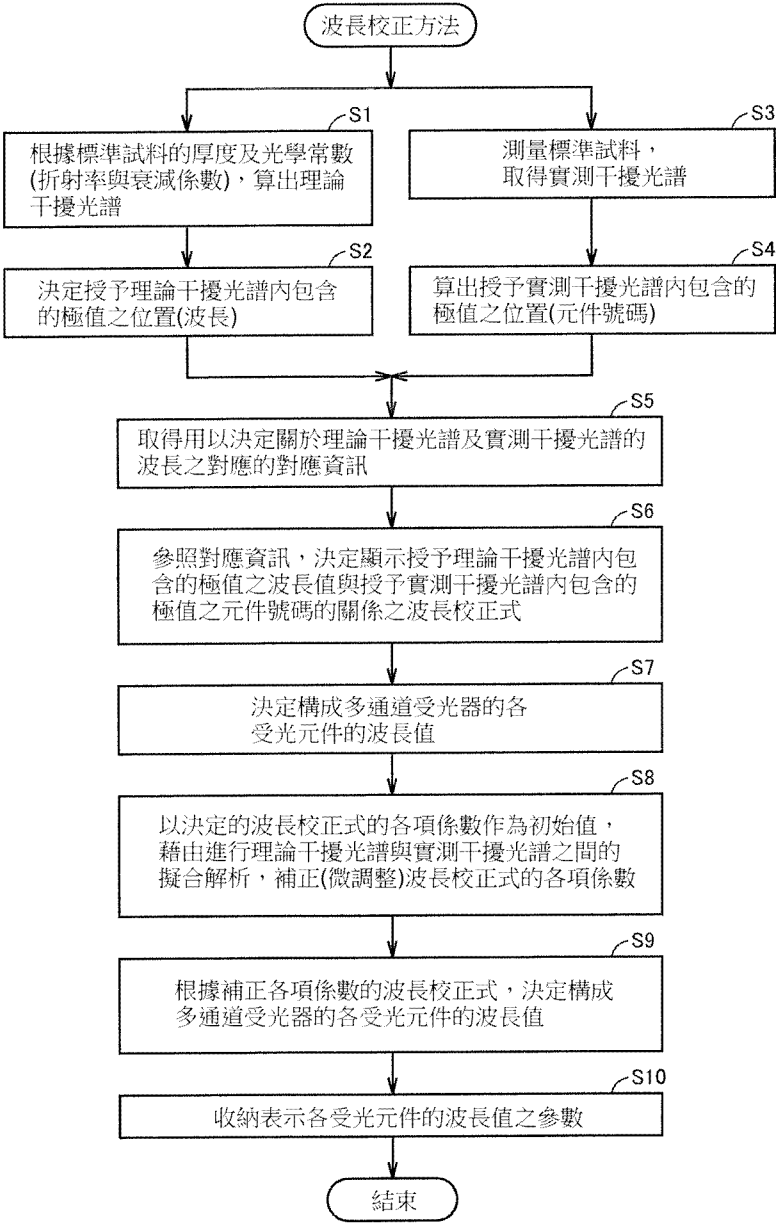


圖6



I872140

【發明摘要】

【中文發明名稱】 光學測定裝置、波長校正方法及標準試料

【中文】

光學測定裝置，包含理論干擾光譜取得手段，根據標準試料的已知厚度、折射率及衰減係數，取得數值上算出關於上述標準試料的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為理論干擾光譜；實測干擾光譜取得手段，透過以受光器經由繞射光柵接收照射測量光在標準試料上產生的反射光或透射光，取得產生的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為實測干擾光譜；對應資訊取得手段，取得用於決定關於理論干擾光譜與實測干擾光譜的波長之對應的對應資訊；以及波長校正手段，為了使應用規定複數受光元件的波長值之波長校正式至實測干擾光譜的結果與理論干擾光譜一致，參照對應資訊，決定波長校正式。

【指定代表圖】 圖6

【代表圖之符號簡單說明】

S1~ S10:步驟

【發明說明書】

【中文發明名稱】 光學測定裝置、波長校正方法及標準試料

【技術領域】

【0001】 本發明，係有關於可波長校正的光學測定裝置、其波長校正方法及其波長校正方法中使用的標準試料。

【先前技術】

【0002】 一般，分光測定裝置必須波長校正。這樣的波長校正中，常使用產生包含國際度量衡委員會(CIPM)的建議值即已知的亮線波長(以下，也稱作「基準亮線」)的光之水銀燈等的基準光源。關於這樣的波長校正，以下的先行技術係眾所周知的。

【0003】 日本專利公開平成4年第106430號公報揭示的方法，係引導從亮線放射源得到特定波長的複數亮線至分光測定裝置，預先根據分光測定裝置的線分散，對於分別的亮線，求出相當於得到最大受電輸出的受光器陣列元件的理論位置之位址。

【0004】 日本專利公開第2011-117777號公報揭示的方法，係藉由取得入射光內包含的亮線波長以及分光測定裝置的感應器中亮線的第1檢出位置及亮線在感應器中的第2檢出位置，實行分光測定裝置的校正。

【0005】 日本專利公開第2014-098653號公報揭示的方法，係從校正用光源照射作為複數峰值具有包含複數亮線的既定亮線光譜之光，實行校正。

【0006】 又，有時候組合一般使用的光源與光學濾波器，實行波長校正。例如，日本專利公開第2013-253820號公報揭示的校正裝置，用以實行包括波長分散元件以及改變波長分散元件位置的驅動裝置之分光器的波長校正。

【0007】 如上述先行技術文獻所示之使用基準光源內包含的基準亮線實行波長校正的方法，有時候很難應用至測量波長範圍窄小的分光測定裝置。即，校正對象的分光測定裝置具有的測量波長範圍內包含的基準亮線數少的話，不能維持充分的校正精度。又，有時候很難準備校正對象的分光測定裝置具有的測量波長範圍內包含的基準亮線。

【發明內容】

【0008】 本發明的目的之一，係提供新手法，即使測量波長範圍窄小，且測量波長範圍內不能包含充分數量的基準亮線的情況下，也可以波長校正。

【0009】 根據本發明某形態的光學測定裝置，包含：光源，產生測量光；繞射光柵，照射測量光在試料上產生的反射光或透射光入射；受光器，以接收繞射光柵分離波長的光之排列配置的複數受光元件構成；理論干擾光譜取得手段，根據標準試料的已知厚度、折射率及衰減係數，取得數值上算出關於上述標準試料的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為理論干擾光譜；實測干擾光譜取得手段，透過以受光器經由繞射光柵接收照射測量光在標準試料上產生的反射光或透射光，取得產生的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為實測干擾光譜；對應資訊取得手段，取得用於決定關於理論干擾光譜與實測干擾光譜的波長之對應的對應資訊；以及波長校正手段，為了使應用規定複數受光元件的波長值之波長校正式至實測干擾光譜的結果與理論干擾光譜一致，參照對應資訊，決定波長校正式。

【0010】 波長校正手段，根據授予以理論干擾光譜內包含的極值之位置與授予以實測干擾光譜內包含的極值之位置的對應，評估理論干擾光譜與實測干擾光譜的一致度也可以。

【0011】 波長校正手段，關於標準試料數值上算出的反射率干擾光譜是理

論干擾光譜，從標準試料取得的反射率干擾光譜是實測干擾光譜的情況下，根據授予以理論干擾光譜內包含的極小值之位置與授予以實測干擾光譜內包含的極小值之位置的對應，評估理論干擾光譜與實測干擾光譜的一致度也可以。

【0012】 對應資訊取得手段，根據關於透過以受光器經由繞射光柵接收包含亮線光源產生的已知亮線波長的光取得的測量結果中出現的亮線波長的特徵，產生對應資訊也可以。

【0013】 波長校正手段，使用用以明確指定受光器內包含的各受光元件之元件號碼，決定授予以實測干擾光譜內包含的極值之元件號碼也可以。

【0014】 波長校正手段，根據授予以理論干擾光譜內包含的各極值之波長以及授予以實測干擾光譜內包含的各極值之元件號碼，決定波長校正式也可以。

【0015】 波長校正式，包含的關係式係根據包含繞射光柵及受光器的光學系統也可以。

【0016】 波長校正手段，也可以包含：應用先決定的波長校正式至實測干擾光譜的手段；根據先決定的波長校正式更新理論干擾光譜的手段；根據應用先決定的波長校正式至實測干擾光譜的結果與更新的理論干擾光譜之比較結果，更新波長校正式的手段；以及直到滿足既定條件為止，重複上述手段的手段。

【0017】 根據本發明另一形態的波長校正方法，包含：根據標準試料的已知厚度、折射率以及衰減係數，取得數值上算出關於上述標準試料的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為理論干擾光譜之步驟；以及透過以受光器經由繞射光柵接收照射光源產生的測量光在標準試料上產生的反射光或透射光，取得產生的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為實測干擾光譜之步驟。受光器，包含用以接收由繞射光柵分離波長的光之排列配置的複數受光元件。波長校正方法，包含：取得用以決定關於理論干擾光譜與實測干擾光譜的波長的對應之

對應資訊的步驟；以及為了使應用規定複數受光元件的波長值之波長校正式至實測干擾光譜的結果與理論干擾光譜一致，參照對應資訊，決定波長校正式的步驟。

【0018】 根據本發明的又另一形態，提供上述波長校正方法中使用的厚度、折射率以及衰減係數是已知的標準試料。

【0019】 根據本發明的某形態，即使測量波長範圍窄小且測量波長範圍內不能包含足夠數量的基準亮線的情況下，也可以波長校正。

【0020】 本發明的上述及其它目的、特徵、形態及優點，根據與附加圖面關聯理解關於本發明的以下詳細說明，應很清楚。

【圖式簡單說明】

【0021】

[圖1]係顯示根據本實施形態的光學測定系統構成例的模式圖；

[圖2]係顯示構成根據本實施形態的光學測定系統之光學測定裝置的機能構成例的模式圖；

[圖3]係顯示根據本實施形態的光學測定裝置內包含的分光測定部的一光學系統例的模式圖；

[圖4]係用以說明根據本實施形態的波長校正方法概要之圖；

[圖5]係用以說明根據本實施形態的波長校正方法中的理論干擾光譜與實測干擾光譜的對應之圖；

[圖6]係顯示根據本實施形態的波長校正方法的概略程序之流程圖；

[圖7]係用以說明根據本實施形態的波長校正方法中假想元件號碼的算出方法；

[圖8]係用以說明根據本實施形態的波長校正方法中利用亮線光源作為對應資訊時的圖；

[圖9]係用以說明本實施形態的波長校正方法中利用根據亮線光源的對應資訊之理論波谷波長與實測波谷元件號碼的對應之圖；

[圖10]係顯示根據本實施形態的波長校正方法中理論波谷波長與實測波谷元件號碼的一對應關係例之圖；

[圖11]係顯示根據本實施形態的波長校正方法中理論波谷波長與實測波谷元件號碼的對應關係決定的一波長校正式例之圖；

[圖12]係用以說明根據本實施形態的波長校正方法中波長校正式各項係數的補正處理之圖；

[圖13]係顯示根據本實施形態的波長校正方法中波長校正式各項係數補正處理(步驟S8)的詳細處理程序之流程圖；

[圖14]係顯示根據本實施形態的波長校正方法中關於波長校正式各項係數的一補正結果例之圖；

[圖15]係顯示根據本實施形態的波長校正方法中波長校正式各項係數的補正產生的一效果例之圖；

[圖16]係顯示根據本實施形態的波長校正方法中波長校正式各項係數的補正得到的一反射率干擾光譜例之圖；

[圖17]係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表之膜厚測量的一精度評估例之圖；

[圖18]係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表算出的一反射率干擾光譜例(試料A)之圖；

[圖19]係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表算出的一功率譜例(試料A)之圖；

[圖20]係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表算出的另一反射率干擾光譜例(試料B)之圖；

[圖21]係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表算出的另一功率譜例(試料B)之圖；

[圖22]係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表算出的又另一反射率干擾光譜例(試料C)之圖；

[圖23]係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表算出的又另一功率譜例(試料C)之圖；以及

[圖24]係顯示根據本實施形態的光學測定系統提供的一機能構成例的模式圖。

【實施方式】

【0022】 關於本發明的實施形態，參照圖面的同時，詳細說明。又，關於圖中的相同或相當部分，附上相同的符號不重複其說明。

【0023】 <A. 光學測定系統>

首先，說明關於根據本實施形態的光學測定系統1(反射光觀測系統)的構成例。以下，作為典型例，說明應用至分光干擾式的膜厚測定裝置之構成例，但不限於此，可應用至任意光學測定系統。尤其，以下的說明中，例示試料上照射光觀測其反射光的光學系統(反射光觀測系統)，但對於試料上照射光觀測其透射光之光學系統(透射光觀測光系統)當然也可以應用。

【0024】 (a1：光學測定系統1的構成例)

圖1，係顯示根據本實施形態的光學測定系統1構成例的模式圖。參照圖1，光學測定系統1，包含光學測定裝置100以及與光學測定裝置100光學連接的Y型光纖40。

【0025】 光學測定裝置100，對試料SMP照射測量用光(以下，也稱「測量光」)的同時，根據來自試料SMP的反射光，算出試料SMP的光學特性。

【0026】 作為試料SMP的代表例，舉出Si對之外具有特殊的表面形狀、細

微構造之半導體基板、形成薄膜的玻璃基板、機能性樹脂、機能性膜等。作為試料SMP的光學特性，典型地假設光學膜厚、膜厚、基準位置到表面的距離等。

【0027】 光學測定裝置100，作用為產生測量光的光源的同時，作用為接收來自試料SMP的反射光再輸出測量結果的受光器。

【0028】 對光學測定裝置100，連接以Y型光纖40的光纖耦合器43分岔的第1分岔光纖41以及第2分岔光纖42。測量光，經由第1分岔光纖41，往設置在Y型光纖40的另一端的投受光探針16引導。又，來自試料SMP的反射光，以投受光探針16接收，經由第2分岔光纖42，往光學測定裝置100引導。投受光探針16與Y型光纖40，經由連接器18連接。投受光探針16的內部，連接器18與投受光探針16的投受光開口之間配置透鏡20。

【0029】 光學測定裝置100，根據來自上位個人電腦(上位PC)的指令實行測量處理的同時，往上位PC傳送測量結果等。

【0030】 (a2：光學測定裝置100的構成例)

其次，說明關於構成光學測定系統1的光學測定裝置100的構成例。

【0031】 圖2，係顯示構成根據本實施形態的光學測定系統1之光學測定裝置100的機能構成例的模式圖。參照圖2，光學測定裝置100，包含測量用光源110、分光測定部120、演算部130以及界面140。

【0032】 測量用光源110，產生測量光。測量用光源110產生的測量光，典型地包含近紅外區在波長範圍內也可以。作為產生包含近紅外區在波長範圍內的測量光之測量用光源110，採用ASE(Amplified Spontaneous Emission(放大自發放射))光源也可以。又，測量用光源110，最好產生低相干光作為測量光。測量用光源110，與Y型光纖40的第1分岔光纖41光學連接，產生經由第1分岔光纖41引導至試料SMP的測量光。

【0033】 分光測定部120，與Y型光纖40的第2分岔光纖42光學連接，接收

來自試料的反射光(即，測量光以試料等反射產生的光)，輸出表示接收的光在各波長的強度之強度分布作為測量結果(關於細節參照圖3)。

【0034】 演算部130，根據分光測定部120輸出的測量結果，算出試料的光學特性。演算部130，用實行程式的處理器組裝也可以，用FPGA(現場可程式化閘陣列)、ASIC(特殊應用積體電路)、SoC(單晶片系統)等的硬接線裝置(hard-wired device)組裝也可以。

【0035】 界面140，與未圖示的上位PC之間，交換演算部130算出的包含光學特性的測量結果等。作為界面140，可以使用乙太網路(註冊商標)、無線LAN(區域網路)、USB(通用序列匯流排)等眾所周知的傳送媒體。

【0036】 光學測定裝置100與上位PC之間，作為測量結果，交換算出的試料光學特性之外，還有試料的反射率干擾光譜等的算出過程中使用的資料、測量時的屬性資訊等。

【0037】 又，光學測定裝置100的內部或外部配置電源供給部也可以。

(a3：分光測定部120的光學系統)

圖3，係顯示根據本實施形態的光學測定裝置100內包含的分光測定部120的一光學系統例的模式圖。參照圖3，分光測定部120是分光儀(polychromator)的一例，包含狹縫121、快門122、截止濾波器123、準直鏡(collimating mirror)124、繞射光柵125、聚焦鏡126以及多通道受光器127。

【0038】 狹縫121，接著Y型光纖40的第2分岔光纖42配置，調整入射光的光點徑。

【0039】 快門122，構成為可遮斷入射至多通道受光器127的光。快門122，用於重置多通道受光器127等。作為快門122，典型地，採用以電磁力驅動的機械式構造。

【0040】 截止濾波器123，限制入射至多通道受光器127的光內包含的測量

波長範圍外的波長成分。截止濾波器123，最好盡量遮斷測量波長範圍外的波長成分。

【0041】 準直鏡(collimating mirror)124，反射經由狹縫121入射的光(擴散光)轉換成平行光的同時，往繞射光柵125傳播轉換成平行光的光。

【0042】 繞射光柵125，照射測量光至試料SMP產生的反射光或透射光入射的同時，根據波長分離入射的光之後，引導至多通道受光器127。具體地，繞射光柵125是反射型繞射光柵，構成為使每預定的波長間隔的繞射波往對應的各方向反射。光入射至具有這樣構成的繞射光柵125時，包含的各波長成分往對應的方向反射，入射至多通道受光器127對應的受光元件。作為繞射光柵125，典型地，採用全像閃耀式平面光柵。

【0043】 聚焦鏡126，以繞射光柵125反射往依照波長的方向反射的光，在多通道受光器127的檢出面上成像。

【0044】 多通道受光器127，接收由繞射光柵125分離波長的光。多通道受光器127，具有排列配置的複數受光元件，輸出表示入射至各受光元件的光強度之電信號。多通道受光器127，輸出表示由繞射光柵125分散的光內包含的各波長成分強度的光譜之電信號。多通道受光器127，典型地，採用近紅外區中直線狀配置複數具有感度的受光元件之線性影像感應器構成。作為受光元件，典型地，採用InGaAs(砷化鎵銻)。

【0045】 作為分光測定部120的光學系統，典型地，採用Czerny－Turner型或Fastie－Ebert型也可以。Fastie－Ebert型，相較於Czerny－Turner型，可以實現光學系統的小型化及高感度化。

【0046】 配置承擔準直鏡及聚焦鏡的功能之分別獨立的鏡子也可以，以單一的鏡子承擔準直鏡及聚焦鏡兩方的功能也可以。又，不限於圖3所示的光學系統構成，配置各個鏡子在不同的位置也可以。還有，配置承擔準直鏡的功能或

聚焦鏡的功能的又其它鏡子也可以。

【0047】 (a4：光學測定裝置100的光學特性測量處理)

根據本實施形態的光學測定裝置100，作為試料光學特性的一例，可以測量光學膜厚、膜厚、基準位置到表面的距離等。又，關於測量基準位置到表面的距離的細節，例如參照日本國專利第6402273號公報等。

【0048】 例如，光學測定裝置100，接收試料上照射測量光產生的反射光，根據其反射光內包含的各波長成分的強度分布，算出反射率光譜，利用對反射率光譜的既定波數轉換，算出波數轉換反射率光譜，關於波數傅利葉轉換波數轉換反射率光譜，算出功率譜，根據功率譜中出現的峰值位置，測量光學膜厚、膜厚、距離中之1項以上。又，頻率解析中，可以使用高速傅利葉轉換等的手法。又，根據光學膜厚算出膜厚之際，透過將算出的光學膜厚除以試料的折射率，可以算出試料的膜厚。

【0049】 這樣，光學測定裝置100，可以實行根據測量光的反射光算出試料的反射率光譜的處理、利用對反射率光譜的既定波數轉換算出波數轉換反射率光譜的處理、關於波數傅利葉轉換波數轉換反射率光譜算出功率譜的處理以及根據功率譜中出現的峰值位置算出光學特性的處理。

【0050】 還有，考慮試料在折射率的波長依存性，算出膜厚也可以。在此情況下，算出表示各波長 λ 的反射率之反射率光譜 $R(\lambda)$ 後，導入根據已知的各波長折射率 $n(\lambda)$ 算出的波數 $K(\lambda) = 2\pi n(\lambda)/\lambda$ ，根據各波長的反射率分別算出波數轉換反射率 $R' \equiv R/(1-R)$ 。關於波數 K 藉由傅利葉轉換表示分別算出的各波長的波數 K 與波數轉換反射率 R' 的關係之波數轉換反射率光譜 $R'(K)$ ，算出功率譜。根據算出的功率譜中出現的峰值位置，算出試料的膜厚。藉由考慮這樣的試料在折射率的波長依存性算出膜厚，可以高精度算出試料的膜厚。又，根據功率譜中出現的複數峰值，可以算出試料內包含的多層膜的各層膜厚。

【0051】 關於算出處理的細節，例如參照日本國專利第4834847號公報等。上述光學特性的算出處理，不只是反射率光譜，關於透射率光譜也可以應用。

【0052】 <B.背景及課題>

其次，說明關於分光測定裝置中的波長校正之背景及課題。

【0053】 根據本實施形態的一分光測定裝置例之分光干擾式膜厚測定裝置，在半導體晶圓的製造過程中，用於膜厚的In-Situ(現場)測量等。

【0054】 近年來，半導體晶圓的薄片化製程進步顯著。藉由半導體晶圓薄片化，可以實現各種元件的高機能化。例如，可以實現IC晶片的薄型化、行動裝置中使用的SiP(System in Package(系統單封裝))多層積體化、CMOS影像感應器等成像元件的高感度化、功率元件的高效率化等。

【0055】 量產化製程中，被視作必須確立 $50\ \mu\text{m}$ ～數百 μm (微米)、將來次微米的薄片化製程。為了實現此，薄片化加工中可以高精度且高速測量晶圓厚度的膜厚測定裝置必不可缺。薄片化製程中，晶圓，暴露在研磨加工水中的同時，以研磨石研磨。因此，晶圓厚度，不得不以非接觸且非侵入測量，可以應用利用光的測量法。

【0056】 以矽為首的半導體晶圓，因為對於比其半導體的能帶間隙(energy band gap)更低能量的光是透明的，利用晶圓內部產生的光干擾可以測量厚度。尤其，測量對象的晶圓，為了在薄片加工中研磨，不斷轉動，對於這樣的測量對象轉動，要求強力的測量法。關於這點，因為晶圓內部的光干擾也只依存於其晶圓厚度及折射率，測量對象的轉動不受到擾動，可以實現高精度下的測量。

【0057】 研磨測量對象的晶圓的同時，為了即時測量厚度，必須以分光測定部120(參照圖3)等的高速分光器測量晶圓內部的光干擾。一般的分光儀(polychromator)，採用256～2048個Si基受光元件(CCD、NMOS、CMOS等)配置

成陣列狀的多通道受光器，以數ms(毫秒)以下的響應延遲輸出測量波長範圍的光譜。

【0058】 另一方面，為了測量數百 μm (微米)的晶圓厚度，必須以可以當作晶圓足夠透明的波長範圍測量。更具體地，使用晶圓的衰減係數夠小($<10^{-4}$)的近紅外區的光(近紅外光)。起因於Si的能帶間隙，Si基受光元件不能提高近紅外光的受光感度。因此，為了測量近紅外光，不得不使用不是Si基而是InGaAs等複合半導體基受光元件。但是，複合半導體基受光元件，相較於一般Si基受光元件，難以積體化，作為多通道受光器可以構成的元件數最大限制於512個左右。即，薄片化製程中可以使用的分光儀，相較於一般的分光儀，會限制波長分解能。

【0059】 晶圓厚度變大時，晶圓內部產生的干擾光譜變得稠密，因為形成1個干擾波形的資料點變少，想儘量增加元件數，但構成近紅外光用分光儀的受光元件的元件數受限。因此，藉由縮小測量波長範圍並更增加每單位波長的受光元件，實行增加形成1個干擾波形的資料點的設計。另一方面，透過縮小測量波長範圍，厚度小的晶圓測量變得困難。因此，以構成分光儀的受光元件的元件數作為基準，根據測量對象的厚度範圍，設計測量波長範圍。

【0060】 在此，利用分光儀測量的厚度精度(正確度)，單純依存於分光儀的波長精度(正確度)。因此，對於分光儀的高精度波長校正成為必要。「波長校正」，意味決定入射至各受光元件的光的波長值。構成分光儀的各個受光元件，將會對應測量波長範圍，但「波長校正」包含決定各個受光元件與各受光元件內入射的測量波長的對應。

【0061】 如上述先行技術文獻所示，一般，利用已知的基準波長實行波長校正。典型地，使用國際度量衡委員會(CIPM)的建議值即水銀燈等的亮線波長實行波長校正。但是，關於以用於測量晶圓厚度的近紅外區作為測量波長範圍

之分光儀，根據測量對象的厚度範圍，因為選擇較窄小的近紅外區的波長範圍，測量波長範圍中常不存在適當的基準亮線。又，即使不存在基準亮線，對應其基準亮線的受光元件數也常只有2~3個。因此，例如，即使應用JIS Z 8725規定的重心波長算出，也有缺乏正確性的課題。

【0062】 尤其，測量數百 μm 的晶圓厚度之需求以往不曾存在，正確實行設定較窄的測量波長範圍之分光儀的波長校正的技術不存在。

【0063】 本申請發明者們，對於如上述的背景及課題，專心設法的結果，達成發明全新的波長校正方法。

【0064】 <C. 解決手段的概要>

其次，說明關於本申請發明者們發明的波長校正方法的概要。

【0065】 圖4，係用以說明根據本實施形態的波長校正方法概要之圖。圖4(A)中，顯示使用習知的基準亮線的波長校正方法的概略。參照圖4(A)，使用放射包含預先已知的基準亮線的光之基準光源STL，實行波長校正。導引從基準光源STL放射的光至分光測定部120，取得從多通道受光器127輸出的每受光元件的檢出結果。藉由對應取得的每受光元件的檢出結果與基準光源STL的已知基準亮線，實現波長校正。

【0066】 相對於此，圖4(B)顯示根據本實施形態的波長校正方法的概略。參照圖4(B)，根據本實施形態的波長校正方法中，使用厚度及光學常數(折射率與衰減係數)是已知的標準試料ST。

【0067】 本說明書中，「標準試料」意味可實現本實施形態的波長校正方法之精度，且厚度及光學常數(折射率與衰減係數)是已知的物質。「標準試料」，最好是長度的國家標準可追蹤，但不總是要求國家標準可追蹤。即，標準試料ST，包含本實施形態的波長校正方法中使用的厚度、折射率及衰減係數是已知的物質。

【0068】 對於標準試料ST，照射來自測量用光源110的測量光，測量反射率干擾光譜(或，透射率干擾光譜)。以下，實際測量的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜也稱作「實測干擾光譜」。在此情況下，照射來自測量用光源110的測量光之光譜不是已知的也可以。

【0069】 又，根據標準試料ST的已知厚度或光學常數，理論上算出反射率干擾光譜(或，透射率干擾光譜)。以下，根據標準試料ST理論上算出的反射率干擾光譜(或，透射率干擾光譜)也稱作「理論干擾光譜」。

【0070】 藉由對應根據多通道受光器127的各受光元件的檢出結果算出的實測干擾光譜與根據標準試料ST理論上算出的理論干擾光譜，實現波長校正。

【0071】 圖5，係用以說明根據本實施形態的波長校正方法中的理論干擾光譜與實測干擾光譜的對應之圖。

【0072】 圖5(A)中，顯示使用光學測定裝置100測量的實測干擾光譜的一例。圖5(A)所示的實測干擾光譜，顯示根據厚度 $194.028\ \mu\text{m}$ 的標準試料ST測量的反射率干擾光譜的一例。圖5(A)所示的實測干擾光譜中，構成多通道受光器127的受光元件的元件號碼為橫軸。

【0073】 圖5(B)中，根據標準試料ST的已知厚度及光學常數，顯示理論上導出的理論干擾光譜的一例。對應根據圖5(A)所示的標準試料ST測量的反射率干擾光譜，圖5(B)中顯示根據相同標準試料ST理論上導出的反射率干擾光譜的一例。圖5(B)所示的理論干擾光譜以波長為橫軸。

【0074】 本實施形態的波長校正方法，為了使圖5(A)所示的實測干擾光譜適於圖5(B)所示的理論干擾光譜，決定對應構成多通道受光器127的各個受光元件之波長值。

【0075】 圖6，係顯示根據本實施形態的波長校正方法的概略程序之流程圖。圖6所示的各步驟，典型地，由光學測定裝置100的演算部130(圖2)實行。

【0076】 參照圖6，光學測定裝置100，根據標準試料ST的已知厚度及光學常數(折射率與衰減係數)，算出反射率干擾光譜等的理論干擾光譜(步驟S1)。步驟S1，係根據標準試料ST的已知厚度、折射率及衰減係數，取得數值上算出之關於標準試料ST的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為理論干擾光譜之處理。於是，光學測定裝置100，決定授予以理論干擾光譜內包含的極值之位置(波長)(步驟S2)。

【0077】 又，使用光學測定裝置100測量標準試料ST，取得反射率干擾光譜等的實測干擾光譜(步驟S3)。步驟S3，係取得照射測量用光源110產生的測量光至標準試料ST發生的反射光或透射光經由繞射光柵125以多通道受光器127接收產生的反射率干擾光譜或透射干擾光譜作為實測干擾光譜之處理。

【0078】 於是，光學測定裝置100算出授予以實測干擾光譜內包含的極值之位置(元件號碼)(步驟S4)。這樣，光學測定裝置100，利用用以明確指定多通道受光器127內包含的各受光元件之元件號碼，決定實測干擾光譜內包含的各極值之元件號碼。

【0079】 又，關於步驟S1及步驟S2的處理以及步驟S3及步驟S4的處理，並排實行也可以，任一方先實行也可以。還有，關於步驟S1及步驟S2的處理，全部以光學測定裝置100實行也可以，例如，從外部接受預先算出的理論干擾光譜也可以。

【0080】 根據本實施形態的波長校正方法中，採用授予以理論干擾光譜及實測干擾光譜中出現的極小值的位置以及授予以極大值的位置中任一方也可以，或者採用授予以極小值的位置及授予以極大值的位置兩方也可以。但是，根據標準試料ST的反射率干擾光譜實行波長校正的情況下，考慮極值附近的光譜形狀的尖銳度等，最好採用授予以極小值的位置，以下的說明中，理論干擾光譜中授予以極小值的波長也稱作「理論波谷波長」。同樣地，實測干擾光譜中授予以極小值的

元件號碼也稱作「實測波谷元件號碼」。

【0081】 接著，取得用以決定關於理論干擾光譜及實測干擾光譜的波長之對應的對應資訊(步驟S5)。對應資訊，係關於波長對應理論干擾光譜及實測干擾光譜之際，為了不產生對應偏離即相位偏離而使用。例如，採用使用亮線光源得到的資訊作為對應資訊也可以(關於細節之後敘述)。

【0082】 光學測定裝置100，參照步驟S5中取得的對應資訊，決定顯示授予以理論干擾光譜內包含的極值之波長值與授予以實測干擾光譜內包含的極值之元件號碼的關係之波長校正式(步驟S6)。這樣，光學測定裝置100，根據授予以理論干擾光譜內包含的極值之位置(波長)與授予以實測干擾光譜內包含的極值之位置(元件號碼)的對應，決定波長校正式。換言之，光學測定裝置100，根據理論干擾光譜中出現的轉折點與實測干擾光譜中出現的轉折點的對應，決定波長校正式。

【0083】 根據步驟S6中決定的波長校正式，光學測定裝置100，決定構成多通道受光器127的各受光元件的波長值(步驟S7)。步驟S7中，對多通道受光器127的波長校正式暫且完成。

【0084】 但是，步驟S7中以決定的各受光元件的波長值作為初始值，還有追加實行用以提高精度(正確度)的補正處理也可以。

【0085】 更具體地，光學測定裝置100，以在步驟S7中決定的波長校正式的各項係數作為初始值，藉由進行理論干擾光譜與實測干擾光譜之間的擬合解析，補正(微調整)波長校正式的各項係數(步驟S8)。

【0086】 步驟S6及S7的處理以及步驟S6～S8的處理，相當於為了使應用規定多通道受光器127內包含的複數受光元件的波長值之波長校正式至實測干擾光譜的結果與理論干擾光譜一致，參照對應資訊，決定波長校正式的處理。

【0087】 最後，光學測定裝置100，根據步驟S8中補正各項係數的波長校

正式，決定構成多通道受光器127的各受光元件的波長值(步驟S9)。即，步驟S9中，對多通道受光器127的波長校正完成。光學測定裝置100，收納表示在步驟S9中決定的各受光元件的波長值之參數(步驟S10)。於是，波長校正完成。

【0088】 <D. 理論干擾光譜的算出(步驟S1)及授予以理論干擾光譜內包含的極值的位置(波長)的決定(步驟S2)>

其次，說明關於圖6所示的波長校正方法的處理程序中的理論干擾光譜的算出(步驟S1)及授予以理論干擾光譜內包含的極值的位置(波長)的決定(步驟S2)。

【0089】 步驟S1中，根據標準試料ST的已知厚度 d_1 以及光學常數(折射率 n_1 與衰減係數 k_1)，算出理論干擾光譜。理論干擾光譜的一例之反射率干擾光譜可以如下算出。又，沒記載詳細說明，但關於透射率干擾光譜也可以以同樣的程序算出。

【0090】 首先，假設空氣(複數折射率 N_0)中配置標準試料ST(複數折射率 N_1)的狀態。複數折射率 N_0 以及複數折射率 N_1 ，可以如以下的(1-1)式以及(1-2)式所示。

【0091】

$$N_0 = n_0 \qquad \dots (1-1)$$

$$N_1 = n_1 - jk_1 \qquad \dots (1-2)$$

【0092】 在此， $n_0 (= 1)$ 是空氣的折射率， n_1 是標準試料ST的折射率， k_1 是標準試料ST的衰減係數， j 是虛數單位。

【0093】 考慮標準試料ST內部的多重反射，導入標準試料ST中產生的反射光(空氣→標準試料ST→空氣)的振幅反射率 r_{01} 及相位因子 β_1 。

【0094】 關於振幅反射率 r_{01} ，根據菲涅耳(Fresnel)係數，算出s偏光的振幅反射率及p偏光的振幅反射率。測量光對標準試料ST垂直入射的情況下，因為s偏光與p偏光的差異沒有了，都可以處理作為相同振幅反射率 r_{01} 。

【0095】 在此，假設近紅外區中的複數折射率 N_1 是標準試料ST的光學常數時，相較於折射率 n_1 ，衰減係數 k_1 足夠小($n_1 \gg k_1$ ：例如， $n_1 \doteq 3 \sim 4$ ， $k_1 \doteq 10^{-5} \sim 10^{-4}$)。因此，近似衰減係數 $k_1 \doteq 0$ 時，可以得到如以下(2)式的近似式。此時，振幅反射率 r_{01} 以及相位因子 β_1 ，都成為實數。(2)式中的強度反射率 R 表示反射率干擾光譜。

【0096】

$$R = \frac{2r_{01}^2(1 - \cos 2\beta_1)}{1 + r_{01}^4 - 2r_{01}^2 \cos 2\beta_1}$$

$$r_{01} = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1}$$

$$\beta_1 = \frac{2\pi n_1 d_1}{\lambda}$$

... (2)

【0097】 關於強度反射率 R ，引起標準試料ST表面上的反射光與標準試料ST裏面中的反射光互相減弱的干擾之條件，可以如以下(3)式所示。

【0098】

$$\frac{4\pi n_1(\lambda) d_1}{\lambda} + \pi = (2m + 1)\pi \quad \dots (3)$$

【0099】 在此， $2m + 1$ 是干擾次數， m 是干擾次數索引($m = 1, 2, 3, \dots$)， $n_1(\lambda)$ 表示標準試料ST的折射率 n_1 具有關於波長 λ 的波長依存性。

【0100】 根據(3)式，可以決定理論干擾光譜中授予極小值的波長(理論波谷波長 λ_m)。(3)式的條件中，標準試料ST內部產生的多重反射光成分全部會互相減弱。

【0101】 在此，因為標準試料ST的折射率 n_1 比空氣的折射率 n_0 大，藉由標

準試料ST表面上的光反射相位只反轉 π 。上述(3)式左邊的 $4 \pi n_1(\lambda) d_1 / \lambda$ 的成分相當於理論干擾光譜中的相位因子 $(2 \beta_1)$ 。上述(3)式可以如以下(4)式變形。關於任意干擾次數索引 m ，藉由算出滿足(4)式關係的波長 λ ，可以決定對應的理論波谷波長。

【0102】

$$\frac{\lambda}{n_1(\lambda)} = \frac{2d_1}{m} \qquad \dots (4)$$

【0103】 根據如上述的程序，可以算出理論干擾光譜的同時，可以決定在對應授予以理論干擾光譜內包含的極值之波長與授予以實測干擾光譜內包含的極值之元件號碼的處理中必要的理論波谷波長。

【0104】 <E. 實測干擾光譜的取得(步驟S3)及授予以實測干擾光譜內包含的極值之位置(元件號碼)的算出(步驟S4)>

其次，說明關於圖6中所示的波長校正方法在處理程序中的實測干擾光譜的取得(步驟S3)以及授予以實測干擾光譜內包含的極值之位置(元件號碼)的算出(步驟S4)。

【0105】 步驟S3中，使用光學測定裝置100測量來自標準試料ST的反射光，取得實際測量的反射率干擾光譜(實測干擾光譜)。在此情況下，對標準試料ST照射的測量光，使用光學測定裝置100的測量用光源110產生的光。還有，算出授予以取得的實測干擾光譜內包含的極值之元件號碼。

【0106】 (e1：極值)

在此，研討關於反射率干擾光譜的波形特徵。對光透射性的標準試料ST照射測量光的情況下產生的光干擾，不是只以標準試料ST表面上的1次反射光與標準試料ST裏面中的1次反射光的1次干擾光構成。嚴格來說，1次干擾光之外還有標準試料ST內部在表面和裏面之間複數次反射之後，重疊全部從標準試料ST內

部透過標準試料ST表面的光的各成分(即，返回入射光側之光)出現干擾。

【0107】 這樣，標準試料ST內部在表面和裏面之間入射光發生多重反射。因此，反射率干擾光譜，嚴格來說不形成餘弦波($\cos 2\beta_1$ 的1次式)，峰值側的極值附近形成寬的形狀，波谷側的極值附近形成尖的形狀。

【0108】 又，測量透射率干擾光譜的情況下，與反射率干擾光譜相反，峰值側的極值附近形成尖的形狀，波谷側的極值附近形成寬的形狀。

【0109】 例如，使用Si(矽)構成的標準試料ST的情況下，因為折射率 $n_1 \doteq 3.5$ ，標準試料ST與空氣(折射率 $n_0 = 1$)之間的折射率差(嚴格來說，複數折射率差的絕對值)相對變大。結果，振幅反射率 r_{01} 的絕對值的平方值($|r_{01}|^2$)相較於1變得不能忽視，如上述極值中的形狀差顯著出現。又，如同玻璃(折射率 $n_1 \doteq 1.4 \sim 1.5$)，因為空氣(折射率 $n_0 = 1$)之間的折射率差(複數折射率差的絕對值)較小的情況下，振幅反射率 r_{01} 的絕對值平方值($|r_{01}|^2$)相較於1足夠小($|r_{01}|^2 \ll 1$)，上述的極值中的形狀差變得緩和。

【0110】 考慮以上的狀況，算出授予反射率干擾光譜(實測干擾光譜)內包含的極值之元件號碼的情況下，最好以波谷側的極值作為對象。比起峰值側，波谷側具有較尖的光譜形狀，可以提高授予極值的元件位置的算出精度。即，採用反射率干擾光譜作為理論干擾光譜，從標準試料ST取得的反射率干擾光譜作為實測干擾光譜的情況下，根據授予以理論干擾光譜內包含的極小值之位置(波長)與授予實測干擾光譜內包含的極小值之位置(元件號碼)，評估理論干擾光譜與實測干擾光譜的一致度也可以。

【0111】 (e2：元件號碼的算出)

算出授予反射率干擾光譜(實測干擾光譜)內包含的極值之元件號碼。實測干擾光譜的情況下，因為每受光元件輸出表示反射率的值，表示反射率的資料為離散的。

【0112】 當算出授予極值的元件號碼時，決定實測干擾光譜內包含的極值附近的離散資料中授予最小值(或最大值)的元件號碼(整數值)也可以。

【0113】 為了提高校正精度，採用根據每受光元件的輸出值算出的假想元件號碼(非整數值)也可以。作為假想元件號碼的一算出方法例，各受光元件的輸出值(或者，輸出值的轉換值)作為權重算出重心，決定算出的重心作為授予極值的元件號碼也可以。

【0114】 又，根據波谷側的極值算出假想元件號碼的情況下，因為越接近極值受光元件的輸出值越小，不是原封不動使用輸出值，最好根據既定的轉換處理轉換成適於重心算出的值(權重)。

【0115】 圖7，係用以說明根據本實施形態的波長校正方法中假想元件號碼的算出方法之圖。參照圖7(A)，極小值(波谷)附近輸出值(反射率值)為最小，離極小值(波谷)越遠輸出值越大。因此，不是原封不動採用測量的反射率的輸出值作為用以算出重心的權重資料，而是轉換成適於重心算出的值(權重)。

【0116】 具體地，也可以採用反轉每受光元件的輸出值符號(增減)，變更為越接近極值越顯示極大值(峰值)的處理(符號轉換處理)。又，為了使作為重心算出對象的區間(元件號碼方向)的端部附近的權重接近零，採用轉換輸出值的處理(偏離處理)也可以。實行這樣的轉換處理之後，如圖7(B)所示，算出假想元件號碼也可以。

【0117】 對於實測干擾光譜內包含的各極值(波谷)算出假想元件號碼(實測波谷元件號碼)的情況下，對強度反射率 R 設定臨界值 R_0 (例如， $R_0=0.31$)，只以各受光元件中的強度反射率 $R(p)$ 比其臨界值 R_0 小的元件號碼群作為重心算出對象也可以。在此情況下，應用符號轉換處理及偏離處理兩方，根據各受光元件的強度反射率 $R(p)$ 算出轉換值 $R'(p)$ ($= R_0 - R(p)$)，使用算出的轉換值 $R'(p)$ 作為權重，算出假想元件號碼也可以(參照圖7(B))。

【0118】 具體地，各極值(波谷)的假想元件號碼(實測波谷元件號碼 p_m)，可以如以下的(5)式算出。

【0119】

$$p_m = \frac{\sum_p^{R'(p) > 0} R'(p) \cdot p}{\sum_p^{R'(p) > 0} R'(p)} = \frac{\sum_p^{R(p) < R_0} \{R_0 - R(p)\} \cdot p}{\sum_p^{R(p) < R_0} \{R_0 - R(p)\}} \quad \dots (5)$$

【0120】 又，追加實行補正(微調整)波長校正式的各項係數之處理(步驟S8)的情況下，步驟S7為止的處理，係用以決定波長校正式的各項係數的初始值的處理，因為不必高精度算出元件號碼，決定整數值的元件號碼作為實測波谷元件號碼也可以。

【0121】 或者，透過使用多項式的擬合解析，根據實測干擾光譜內包含的極值附近的離散資料，決定實測波谷元件號碼也可以。在此情況下，根據擬合解析決定的多項式中，決定授予極值的點，根據決定的點算出的假想元件號碼(非整數值)成為實測波谷元件號碼。

【0122】 <F. 對應資訊的取得(步驟S5)>

其次，說明關於圖6所示的波長校正方法的處理程序中對應資訊的取得(步驟S5)。

【0123】 作為用以決定關於理論干擾光譜與實測干擾光譜的波長的對應之對應資訊，例如，使用包含已知波長的亮線之光源(以下，也稱作「亮線光源」)也可以。

【0124】 以下的說明中，對比產生包含如上述的國際度量衡委員會的建議值的已知基準亮線之光的基準光源的意義中，使用「亮線光源」的用語。通常，基準光源，儘量提高產生的光內包含的1或複數基準亮線的波長精度的同時，設計為儘量抑制產生的波長漂移。

【0125】 相對於此，本實施形態的波長校正方法中使用的亮線光源，相較於基準光源，關於波長精度及波長漂移的要求很鬆，只要波長誤差在理論干擾光譜或實測干擾光譜的1周期(授予鄰接的極大值之波長間隔或者授予鄰接的極小值之波長間隔)內，使用怎樣的光源都可以。即，因為亮線波長主要用於決定實測波谷元件號碼與理論波谷波長的對應關係，關於亮線光源30的穩定性及亮線峰值的出現位置精度等的要求度沒那麼高。

【0126】 例如，測量具有像Si對大的厚度之試料的情況下，因為測量的反射率干擾光譜內包含的極值(峰值及波谷)數量變多，有可能弄錯理論波谷波長與實測波谷元件號碼的對應關係(即，對應各實測波谷元件號碼的干擾次數索引m)。

【0127】 為了降低這樣的可能性，利用照射包含亮線波長的光之亮線光源30(Hg(水銀)燈、Xe(氙)燈、半導體雷射等)的資訊作為對應資訊，決定對應關係。

【0128】 圖8，係用以說明根據本實施形態的波長校正方法中利用亮線光源30作為對應資訊時的圖。參照圖8，引導從任意亮線光源30照射的光至光學測定裝置100的分光測定部120，以多通道受光器127測量亮線光源30的光譜。

【0129】 圖9，係用以說明本實施形態的波長校正方法中利用根據亮線光源30的對應資訊之理論波谷波長與實測波谷元件號碼的對應之圖。圖9(A)中，顯示亮線元件號碼與實測波谷元件號碼的關係，圖9(B)中，顯示亮線波長與理論波谷波長的關係。

【0130】 以下，說明關於對應理論干擾光譜中重疊的理論波谷波長與實測干擾光譜中重疊的實測波谷元件號碼之方法。

【0131】 亮線光源30的亮線波長 λ_{BL} 作為理論值是已知的。又，根據從亮線光源30照射的光以分光測定部120測量得到的亮線光源光譜，也可以算出亮線入射的受光元件位置(以下，也稱為「亮線元件號碼 p_{BL} 」)。因此，藉由利用亮

線波長 λ_{BL} 以及亮線元件號碼 p_{BL} ，可以決定對應各個實測波谷元件號碼的干擾次數索引 m 。

【0132】 理論干擾光譜中，因為對應各個干擾次數索引 m 的理論波谷波長 λ_m 是已知的，藉由決定對應各個實測波谷元件號碼的干擾次數索引 m ，可以對應理論干擾光譜內包含的理論波谷波長 λ_m 與實測干擾光譜內包含的實測波谷元件號碼 p_m 。

【0133】 更具體地，關於理論干擾光譜，有關任意干擾次數索引 m 中的理論波谷波長 λ_m 、位於理論波谷波長 λ_m 之次的干擾次數索引 $m+1$ 中的理論波谷波長 λ_{m+1} 以及亮線波長 λ_{BL} ，搜尋滿足 $\lambda_{m+1} < \lambda_{BL} < \lambda_m$ 關係的整數值 m 。因為滿足 $\lambda_{m+1} < \lambda_{BL} < \lambda_m$ 關係的整數值 m 是唯一的，可以專注決定目標干擾次數索引 m 。

【0134】 另一方面，關於實測干擾光譜，取得與測量的亮線元件號碼 p_{BL} 相鄰的2個實測波谷元件號碼。取得的2個實測波谷元件號碼，因為分別對應關於理論干擾光譜決定的整數值 m 及整數值 $m+1$ ，利用此對應關係，決定對應各個實測波谷元件號碼的干擾次數索引。

【0135】 如上述(4)式所示，因為理論波谷波長 λ_m 隨著干擾次數索引 m 的增加而減少，為了使 $p_{m+1} < p_{BL} < p_m$ 成立，決定分別對應與亮線元件號碼 p_{BL} 相鄰的2個實測波谷元件號碼之整數值 m 及整數值 $m+1$ 。

【0136】 即，元件號碼比亮線元件號碼 p_{BL} 更小(即，相當於短波長側)的受光元件對應干擾次數索引 $m+1$ (實測波谷元件號碼 p_{m+1})，元件號碼比亮線元件號碼 p_{BL} 更大(即，相當於長波長側)的受光元件對應干擾次數索引 m (實測波谷元件號碼 p_m)。

【0137】 關於除此之外的實測波谷元件號碼，以實測波谷元件號碼 p_m 或實測波谷元件號碼 p_{m+1} 為基準，依序決定對應的干擾次數索引。

【0138】 數值上說明上述處理時，關於亮線光源30的亮線波長 λ_{BL} ，導入

亮線索引 $|m_{BL}$ (非整數值)，可以規定與上述(4)式相同形式的以下(6)式。

【0139】

$$\frac{\lambda_{BL}}{n_1(\lambda_{BL})} = \frac{2d_1}{m_{BL}} \quad \dots (6)$$

【0140】 決定使上述(6)式成立的亮線索引 $|m_{BL}$ 。與決定的亮線索引 $|m_{BL}$ 相鄰的2個整數是上述整數值 m 以及整數值 $m+1$ 。

【0141】 使用決定的整數值 m 以及整數值 $m+1$ ，在實測干擾光譜中與亮線元件號碼 p_{BL} 相鄰的2個實測波谷元件號碼中，決定元件號碼較小的一方(即，短波長側)作為對應干擾次數索引 $|m+1$ 的元件號碼 p_{m+1} ，並可以決定元件號碼較大的一方(即，長波長側)作為對應干擾次數索引 $|m$ 的元件號碼 p_m 。

【0142】 根據這樣的處理程序，藉由利用亮線光源30的亮線元件號碼 p_{BL} 及亮線波長 λ_{BL} ，可以決定對應各個實測波谷元件號碼的干擾次數索引 $|m$ (整數值)。即，可以對應理論波谷波長 λ_m 與實測波谷元件號碼 p_m 。

【0143】 如上述，藉由利用亮線光譜中的亮線峰值出現位置與亮線波長，可以決定實測波谷元件號碼與理論波谷波長之間的對應關係。這樣，藉由以多通道受光器127經由繞射光柵125接收包含亮線光源30產生的已知亮線波長之光取得的測量結果中，根據關於出現的亮線波長之特徵，產生對應資訊也可以。

【0144】 <G. 波長校正式的決定(步驟S6)及各受光元件波長值的決定(步驟S7)>

其次，說明關於圖6所示的波長校正方法的處理程序中波長校正式的決定(步驟S6)及各受光元件波長值的決定(步驟S7)。

【0145】 如上述，透過步驟S1及步驟S2的實行，決定理論干擾光譜中授予各個極值的位置(波長)。又，透過步驟S3及步驟S4的實行，決定實測干擾光譜

中授予各個極值的位置(元件號碼)。此外，根據授予以理論干擾光譜內包含的極值之位置(波長)與授予實測干擾光譜內包含的極值之位置(元件號碼)，藉由評估理論干擾光譜與實測干擾光譜的一致度，決定波長校正式。

【0146】 如上述，作為較佳形態，著眼於授予以理論干擾光譜與實測干擾光譜內包含的極小值之位置也可以。在此情況下，根據授予以理論干擾光譜內包含的極小值之理論波谷波長以及授予實測干擾光譜內包含的極小值之實測波谷元件號碼的對應關係，評估理論干擾光譜與實測干擾光譜的一致度。

【0147】 (g1：波長校正式的決定)

圖10，係顯示根據本實施形態的波長校正方法中理論波谷波長與實測波谷元件號碼的一對應關係例之圖。圖10中，顯示關於厚度 $194.028\ \mu\text{m}$ 的標準試料ST得到的一對應關係例。

【0148】 圖10中，波谷號碼，係對波谷側的各極值依序分配的識別號碼，干擾次數索引 m (整數值)，係事後算出上述(3)式內包含的干擾次數索引 m 。

【0149】 波長校正的決定中，使用理論波谷波長 λ_m 與實測波谷元件號碼 p_m 的對應關係也可以。

【0150】 圖11，係顯示根據本實施形態的波長校正方法中理論波谷波長與實測波谷元件號碼的對應關係決定的一波長校正式例之圖。參照圖11，對於理論波谷波長對實測波谷元件號碼的變化應用回歸分析，決定波長校正式也可以。

【0151】 波長校正式，也可以包含對應包含繞射光柵125及多通道受光器127的光學系統之關係式。例如，作為波長校正式，採用根據光柵方程式的波長校正式也可以。但是，測量波長範圍窄小的分光測量位置中，因為元件號碼與波長值的關係可以看作大致線形，即使考慮補正項利用3次函數也可以實行充分高精度的近似。但是，使用更高次的波長校正式也可以，應用2次函數也可以。

【0152】 例如，藉由決定如以下所示的(7)式的參數，求出波長校正式也

可以。

【0153】

$$\lambda(p) = Ap^3 + Bp^2 + Cp + D \quad \dots (7)$$

【0154】 藉由使用上述(7)式，作為以元件號碼 p 的3次函數表示波長 λ ，可以實行回歸分析。規定(7)式的各項係數(A, B, C, D)，使用圖11所示的理論波谷波長 λ_m 與實測波谷元件號碼 p_m 的對應關係，可以決定。典型地，透過應用最小平方方法、非線形最小平方方法等，可以決定規定(7)式的各項係數值。

【0155】 即，透過應用最小平方方法、非線形最小平方方法等，搜尋及決定使理論干擾光譜與應用波長校正式至實測干擾光譜的結果的一致度最大(即，使偏差最小)的各項係數。

【0156】 圖11中，顯示根據這樣的程序決定的一波長校正式例。圖11中所示的波長校正式中，決定係數 $A=3.520090 \times 10^{-10}$ ，係數 $B=-7.769740 \times 10^{-6}$ ，係數 $C=2.676410 \times 10^{-2}$ ，係數 $D=1.047144 \times 10^3$ 。

【0157】 根據決定的係數規定的波長校正式的相關係數為 $R^2=1.000000$ (小數點以下第6位數為止的0)，明白可以以充分高的精度近似理論波谷波長 λ_m 與實測波谷元件號碼 p_m 的對應關係。

【0158】 代替上述(7)式所述高次波長校正式，採用考慮分光測定部120的光學系統(包含繞射光柵125及多通道受光器127)的波長校正式也可以。更具體地，可以採用依存於關於以下所示的光學系統之Grating方程式的波長校正式。

【0159】 例如，作為分光測定部120的光學系統，採用Czerny-Turner型的光學系統的情況下，可以採用如以下(8)式的波長校正式。

【0160】

$$\lambda(p) = \frac{t_0 \{\sin a + \sin(a + \Delta(p))\}}{\gamma} \quad \dots (8)$$

【0161】 在此， t_0 是繞射光柵在相鄰刻線的溝間隔， a 是入射角， γ 是調整係數， $\Delta(p)$ 是根據繞射光柵與多通道受光器127的幾何學配置關係以及多通道受光器127中受光元件的配置間隔決定的已知函數， $a + \Delta(p)$ 相當於繞射角。

【0162】 以非線形最小平方法，決定規定(8)式的入射角 a 及調整係數 γ 的值。

【0163】 又，作為分光測定部120的光學系統，採用Fastie—Ebert型的光學系統的情況下，可以採用如以下(9)式的波長校正式。

$$\lambda(p) = \frac{t_0 \cos \psi_0 \{\sin a + \sin(a + \Delta(p))\}}{\gamma} \quad \dots (9)$$

【0165】 在此， t_0 是繞射光柵在相鄰刻線的溝間隔， ψ_0 是仰角， a 是入射角， γ 是調整係數， $\Delta(p)$ 是根據繞射光柵與多通道受光器127的幾何學配置關係以及多通道受光器127中受光元件的配置間隔決定的已知函數， $a + \Delta(p)$ 相當於繞射角。

【0166】 在此，Fastie—Ebert型的光學系統中，說明關於來自仰角 ψ_0 的項存在的理由。首先，關於入射光(或者，繞射光)的傳播方向，考慮對繞射光柵刻線方向與繞射光柵法線方向延伸的平面上的投影。關於入射光(或者繞射光)的傳播方向，考慮往上述平面上投影的成分時，Czerny—Turner型的光學系統中，對於入射光(或者繞射光)的繞射光柵刻線方向的成分为零，Fastie—Ebert型的光學系統中，入射光(或者繞射光)往繞射光柵刻線方向的成分不為零。即，往上述平面投影入射光(或者繞射光)的傳播方向之方向與繞射光柵法線方向形成的角度

作為仰角 ϕ_0 ($\phi_0 \neq 0$) 存在。因此，Fastie—Ebert型的光學系統中，存在起因於仰角 ϕ_0 的補正項之 $\cos \phi_0$ 。

【0167】 以非線形最小平方法，決定規定(9)式的入射角 α 及調整係數 γ 的值。

【0168】 還有，波長校正式，如上述(7)～(9)式所示，代替使用一個函數近似全部點的方法，透過拉格朗日（Lagrangian）內插等，決定作為嚴密通過各點的曲線也可以。

【0169】 決定這樣的波長校正式的項係數之處理，意味為了使應用規定多通道受光器127內包含的複數受光元件波長值的波長校正式至實測干擾光譜之結果與理論干擾光譜一致，決定波長校正式的處理。

【0170】 (g_2 ：受光元件的波長值)

透過代入各元件號碼 p 至如上述決定的波長校正式，可以決定構成多通道受光器127的各受光元件波長值。例如，採用512通道的多通道受光器127的情況下，透過代入元件號碼 $p=1, 2, 3, \dots, 512$ 至分別決定的波長校正式，可以決定各受光元件的波長值。決定的各受光元件波長值，收納至光學測定裝置100。

【0171】 根據以上的處理，對多通道受光器127的波長校正式暫且完成。

<H. 波長校正式的各項係數的補正(步驟S8)>

其次，說明關於圖6所示的波長校正方法的處理程序中波長校正式各項係數的補正(步驟S8)。

【0172】 反映根據依照上述處理程序決定的波長校正式($\lambda(p)$)產生的波長校正表(規定對應每元件號碼的波長之表)至實測干擾光譜及理論干擾光譜，根據反映結果之間的比較結果補正(微調整)波長校正式。藉由重複這樣的波長校正表的反映及波長校正式的補正，可以決定高精度的波長校正式。

【0173】 圖12，係用以說明根據本實施形態的波長校正方法中波長校正式

各項係數的補正處理之圖。參照圖12，根據先決定的波長校正式50產生波長校正表52((1) 產生)。

【0174】 接著，反映產生的波長校正表52至實測干擾光譜及理論干擾光譜。

【0175】 具體地，對於根據標準試料ST測量的實測干擾光譜60(以元件號碼為橫軸的光譜)，藉由分配波長校正表52規定的對應各受光元件之波長值，更新實測干擾光譜62(以波長為橫軸的光譜)((2) 反映)。

【0176】 又，根據產生的波長校正表52，更新理論干擾光譜70((3)反映(再產生))。更具體地，代入上述(2)式所示的振幅反射率 r_{01} 及相位因子 β_1 至強度反射率 R 中時，使強度反射率 R 改變的參數，成為標準試料ST的複數折射率 N_1 及厚度 d_1 以及波長 λ 。在此，標準試料ST的厚度 d_1 是已知的，複數折射率 $N_1(=n_1 - jk_1)$ 是以波長 λ 的函數授予的。於是，波長 λ ，是藉由以元件號碼 p 為變數的波長校正式授予的。

【0177】 因此，強度反射率 R (即，理論干擾光譜70)可以只以構成波長 λ 的參數即只以規定波長校正式的各項係數(A, B, C, D)定義。這樣，根據先決定的波長校正式50的各項係數，更新理論干擾光譜70。

【0178】 比較實測干擾光譜62與理論干擾光譜70((4)比較)。根據比較結果，更新波長校正式的各項係數((5)係數更新)。又，此比較及係數更新中，使用最小平方擬合解析等也可以。

【0179】 直到波長校正式顯示充分精度為止，重複實行圖12所示的(1)～(5)的處理。

【0180】 圖13，係顯示根據本實施形態的波長校正方法中波長校正式各項係數的補正處理(步驟S8)的詳細處理程序之流程圖。圖13中所示的各步驟，典型地，由光學測定裝置100的演算部130(圖2)實行。

【0181】 參照圖13，光學測定裝置100根據先決定的波長校正式產生波長校正表(對應各受光元件的波長值之定義)(步驟S81)。

【0182】 接著，光學測定裝置100，反映步驟S81中產生的波長校正表或步驟S86中更新的波長校正表至實測干擾光譜(步驟S82)。更具體地，對於根據標準試料ST測量的實測干擾光譜60(以元件號碼為橫軸的光譜)，藉由分配波長校正表中規定的對應各受光元件之波長值，更新實測干擾光譜62(以波長為橫軸的光譜)。

【0183】 又，光學測定裝置100，反映步驟S81中產生的波長校正表或步驟S86中更新的波長校正表至理論干擾光譜(步驟S83)。更具體地，根據產生或更新的波長校正表，更新對應多通道受光器127的各受光元件之波長值。再算出對應更新後的各受光元件之波長值中的光學常數(折射率 n_1 與衰減係數 k_1)。還有，根據標準試料ST的厚度(已知)以及關於再算出的各波長值之光學常數(折射率 n_1 與衰減係數 k_1)，再算出對應各受光元件的波長值中的強度反射率的理論值。最後，集合對應各個受光元件的波長值中的強度反射率的理論值，更新理論干擾光譜。

【0184】 又，關於步驟S82的處理與步驟S83的處理，並排實行也可以，任一方先實行也可以。

【0185】 接著，光學測定裝置100，比較步驟S82中更新的實測干擾光譜與步驟S83中更新的理論干擾光譜(步驟S84)。更具體地，光學測定裝置100，算出每受光元件在步驟S82中更新的實測干擾光譜(實測波形)與在步驟S83中更新的理論干擾光譜(理論波形)的差數平方值，算出關於全部受光元件合計差數平方值的差數平方和。

【0186】 於是，光學測定裝置100，根據步驟S84中的比較結果，補正波長校正式的各項係數(步驟S85)。更具體地，光學測定裝置100，為了使步驟S84中算出的差數平方最小化，補正波長校正式的各項係數(A, B, C, D)值。

【0187】 於是，光學測定裝置100，根據步驟S84中補正後的各項係數(A', B', C', D')，更新波長校正表(步驟S86)。

【0188】 於是，光學測定裝置100，判斷用以結束補正波長校正式各項係數的處理之條件是否成立(步驟S87)。條件不成立的話(步驟S87中NO)，重複步驟S82以下的處理。

【0189】 相對於此，條件成立的話(步驟S87中YES)，光學測定裝置100，決定在步驟S86中更新的波長校正表為最後結果(步驟S88)。於是處理返回。

【0190】 這樣，光學測定裝置100，逐次更新波長校正表的同時，實行(非線形)最小平方擬合解析。

【0191】 又，Si的衰減係數 $k_1 \doteq 10^{-5} \sim 10^{-4}$ ，相較於折射率 $n_1 \doteq 3 \sim 4$ 是足夠小的值，但最後決定波長校正式的擬合解析中，藉由將衰減係數 k_1 放入考慮使用嚴密的理論波形也可以。藉由使用這樣的嚴密理論波形，可以提高擬合精度改善及膜厚測量精度。

【0192】 以下，說明關於上述波長校正式的各項係數補正(步驟S8)的一效果例。

【0193】 圖14係顯示根據本實施形態的波長校正方法中關於波長校正式各項係數的一補正結果例之圖。參照圖14，藉由補正波長校正式的各項係數，減少實測干擾光譜(實測波形)與理論干擾光譜(理論波形)之間的差數平方和的同時，明白相關係數(R^2)也成為更接近1的值。即，藉由實行波長校正式各項係數的補正(步驟S8)，明白可以實現更正確的波長校正。

【0194】 圖15，係顯示根據本實施形態的波長校正方法中波長校正式各項係數的補正產生的一效果例之圖。圖15所示的評估結果，係在補正各項係數後的波長校正式 $\lambda(p)$ 中，代入根據實測干擾光譜求出的實測波谷元件號碼 p_m ，算出對應的波長值(實測波谷波長 $\lambda(p_m)$)。此外，根據實測波谷波長 $\lambda(p_m)$ 對應的

理論波谷波長 λ_m ，評估哪種程度偏離(波長偏離 $\Delta \lambda$)。

【0195】 如圖15所示，各項係數補正後的理論波谷波長與實測波谷波長之間的波長偏離 $\Delta \lambda$ ，收納至1/1000[nm]的階次內，明白實現高的波長校正精度。

【0196】 圖16，係顯示根據本實施形態的波長校正方法中波長校正式各項係數的補正得到的一反射率干擾光譜例之圖。圖16中，描繪反映各項係數補正後的波長校正表得到之實測干擾光譜(反射率干擾光譜)及理論干擾光譜(反射率干擾光譜)在同一座標系中。

【0197】 如圖16所示，各項係數補正後，實測干擾光譜及理論干擾光譜大致重疊，還有明白理論干擾光譜的理論波谷波長及實測干擾光譜的實測波谷波長也存在於相同位置。

【0198】 其次，(A)使用利用以厚度194.028 μm 的Si構成的標準試料ST決定的波長校正表(各項係數有補正)，對於根據(A)厚度194.028 μm 、(B)厚度301.665 μm 、(C)厚度610.107 μm 的各試料實測的波形，說明關於以FFT解析算出膜厚的評估結果。

【0199】 圖17，係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表之膜厚測量的一精度評估例之圖。圖17(A)中，顯示實行補正上述波長校正式的各項係數的處理(步驟S8)時的一精度評估例，圖17(B)中，為了比較，顯示利用透過使用習知的基準光源的基準亮線得到的波長校正表時的一精度評估例。即，圖17(A)與圖17(B)之間，FFT解析條件完全相同，只有波長表不同。

【0200】 圖17中，「校正值」意味對分別的試料計量標準綜合中心(NMIJ)認證的厚度，「FFT膜厚值」，意味根據本實施形態的光學測定裝置100測量的厚度。

【0201】 比較圖17(A)所示的評估結果與圖17(B)所示的評估結果時，藉由採用本實施形態的波長校正方法，根據光學測定裝置100，可以測量接近原來值

的值，即可以實現在更少誤差中的測量。更具體地，關於膜厚差，明白以2位數階次改善。

【0202】 圖18係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表算出的一反射率干擾光譜例(試料A)之圖。圖19係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表算出的一功率譜例(試料A)之圖。

【0203】 圖20係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表算出的另一反射率干擾光譜例(試料B)之圖。圖21係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表算出的另一功率譜例(試料B)之圖。

【0204】 圖22係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表算出的又另一反射率干擾光譜例(試料C)之圖。圖23係顯示使用根據本實施形態的波長校正方法得到的波長校正表算出的又另一功率譜例(試料C)之圖。

【0205】 關於任何功率譜，在表示對應的試料厚度的位置上都產生峰值，意味根據FFT解析可以適當測量厚度。

【0206】 <I. 標準試料>

本實施形態的波長校正方法中，必須正確取得標準試料ST的光學常數(折射率與衰減係數)。例如，使用的標準試料ST的實際光學常數與理論干擾光譜的算出中使用的光學常數(例如，根據文獻值)之間有偏離時，波長校正結果及測量膜厚值的不準確性也有變大的可能性。

【0207】 但是，考慮波長校正中使用的標準試料ST的物質與測量對象的試料物質是相同的Si、測量波長範圍窄小的近紅外區中的光學常數可以比較明確決定、Si中摻雜的材質影響小等時，不認為成為增大不準確性的要因。

【0208】 又，反映波長校正中使用的標準試料ST的物質由來之光學常數(n, k)的方法，透過隨時擴充，可以解決上述課題。

【0209】 這樣，本實施形態的波長校正方法，比較容易準備長度在國家標

準中可追蹤等有關厚度可以確保充分精度的標準試料ST，還有相較於利用習知亮線光譜的波長校正方法，因為理論背景明確，可以提高波長校正的可靠性及測量膜厚值的可靠性。

【0210】 又，具有已知厚度的Si之標準試料ST，例如，可以根據計量標準綜合中心(NMIJ)等接受供給。

【0211】 尤其，由於標準試料ST中採用Si對，可以得到以下優點。

【0212】 (1)反射率干擾光譜中波谷附近的形狀顯現尖銳(又，透射率干擾光譜中峰值附近的形狀顯現尖銳)，可以更容易決定極值。

【0213】 (2) 因為本實施形態的光學測定系統1的測量對象試料也常以Si構成，可以維持高測量精度。

【0214】 <J. 機能構成>

圖24，係顯示根據本實施形態的光學測定系統1提供的一機能構成例的模式圖。圖24所示的各機能，典型地，藉由光學測定裝置100的演算部130內包含的處理器實行程式實現也可以，利用構成演算部130的硬線裝置實現也可以。又，實現圖24所示的機能構成之硬體依各時代適當選擇。

【0215】 參照圖24，光學測定裝置100的演算部130，作為機能構成，包含理論干擾光譜產生模組150、實測干擾光譜取得模組152、實測干擾光譜極值抽出模組154、對應資訊取得模組156以及波長校正模組160。

【0216】 理論干擾光譜產生模組150，參照包含標準試料ST的厚度、折射率及衰減係數資訊的標準試料資訊170，數值上算出關於標準試料ST的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜，產生作為理論干擾光譜。理論干擾光譜產生模組150，也產生關於用以明確指定產生的理論干擾光譜內包含的極值之極值資訊。

【0217】 這樣，理論干擾光譜產生模組150，輸出具有理論干擾光譜及理論干擾光譜內包含的極值資訊之理論干擾光譜資訊172。

【0218】 實測干擾光譜取得模組152，藉由以多通道受光器127經由繞射光柵125接受對標準試料ST照射測量光產生的反射光或透射光，取得產生的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為實測干擾光譜。

【0219】 實測干擾光譜極值抽出模組154，搜尋以實測干擾光譜取得模組152取得的實測干擾光譜內包含的極值，抽出作為極值資訊。

【0220】 最後，輸出具有以實測干擾光譜取得模組152取得的實測干擾光譜以及以實測干擾光譜極值抽出模組154抽出的極值資訊之實測干擾光譜資訊174。

【0221】 對應資訊取得模組156，根據藉由引導來自亮線光源30的光至分光測定部120並以多通道受光器127接收產生的檢出結果，取得用以決定關於理論干擾光譜與實測干擾光譜的波長的對應之對應資訊176。

【0222】 波長校正模組160，參照理論干擾光譜資訊172以及實測干擾光譜資訊174，決定波長校正式180以及波長校正表182。波長校正模組160，為了使應用規定多通道受光器127的複數受光元件波長值之波長校正式180至實測干擾光譜的結果與理論干擾光譜一致，更特定地決定波長校正式180。

【0223】 波長校正模組160，包含回歸分析模組162、理論干擾光譜反映模組164、實測干擾光譜反映模組166以及擬合解析模組168。

【0224】 回歸分析模組162，參照對應資訊176，對應授予以理論干擾光譜內包含的極值之位置(波長)與授予以實測干擾光譜內包含的極值之位置(元件號碼)。於是，回歸分析模組162，根據授予以理論干擾光譜內包含的極值之位置與授予以實測干擾光譜內包含的極值之位置的對應，為了使授予以各個極值的位置之間互相對應，決定波長校正式。

【0225】 實測干擾光譜反映模組166，應用先決定的波長校正式180至實測干擾光譜。理論干擾光譜反映模組164，根據先決定的波長校正式180，更新理

論干擾光譜。

【0226】 擬合解析模組168，根據應用先決定的波長校正式180至實測干擾光譜的結果以及與更新的理論干擾光譜之比較結果，更新波長校正式180。

【0227】 擬合解析模組168，直到滿足既定條件為止，聯合理論干擾光譜反映模組164以及實測干擾光譜反映模組166，重複處理。

【0228】 結果，決定波長校正式180以及以波長校正式180產生的波長校正表182。

【0229】 <K. 變形例>

上述說明中，說明關於光學測定裝置100的演算部130實行本實施形態的波長校正方法的處理(圖6、圖13、圖24等)例，但不限於此，例如，連接至光學測定裝置100的上位PC實行全部或一部分必需的處理也可以。還有，未圖示的網路上的電腦計算源(所謂雲端)實行本實施形態的波長校正方法的全部或一部分處理也可以。

【0230】 <L. 附記>

根據本實施形態的波長校正方法，可以包含以下的處理程序。

【0231】 (1) 準備以長度的國家標準中測量可追蹤測量等某種方法正確決定厚度的Si片。

【0232】 (2)以波長校正對象的近紅外分光儀(polychromator)測量準備的Si片取得干擾光譜。

【0233】 (3) 求出相當於干擾光譜的干擾相位差 $(2m+1)\pi$ 之波長位置的元件號碼(干擾次數索引 $m=1, 2, 3\dots$)。

(4)測量近紅外光譜的波長範圍內具有峰值波長的亮線光源(例如，雷射等)的光譜，求出其峰值波長的元件號碼。

【0234】 (5) 根據(4)的測量，求出相當於(3)的干擾相位差 $(2m+1)\pi$ 之波長

位置的元件號碼中的干擾次數索引 m 。

【0235】 (6) 根據以(5)求出的干擾次數索引 m 以及(1)的厚度，理論計算相當於Si的折射率與干擾相位差 $(2m+1)\pi$ 之波長。

【0236】 (7) 對於(3)的資料與(6)的資料，例如，以多項式實行最小平方計算，求出受光元件與波長的關係式(波長校正式)。

【0237】 (8) 以(7)的波長校正式的參數值作為初始值，對(2)的資料以任意方法擬合解析理論式在更新上決定波長校正式。

【0238】 上述本實施形態的波長校正式，具有以下的優點。

(1) 通常的物質折射率在2以下，通常的物質干擾光譜相當於干擾相位差 $2m\pi$ 的波長位置，因為其前後的變化緩和(三角函數變化)，明確指定峰值位置是困難的，還有重心波長的計算也容易受雜訊的影響。但是，透過對標準試料選擇Si，可以測量高折射率(約3.5)的干擾光譜。高折射率標準試料的干擾光譜，在干擾相位差 $(2m+1)\pi$ 附近，光譜形狀尖塔化，容易明確指定波長位置。

【0239】 又，舉例來說與標準具(etalon)比較，Si較可以正確測量厚度，以及Si是不能以可見光透射光而以近紅外透射光的物質，之類。還有，因為最初的測量對象是Si，也具有物質間特性引起的誤差少的優點。

【0240】 (2) 本波長校正中，必須考慮得到干擾光譜的標準試料折射率，但實行波長校正的標準試料與測量對象的物質是相同的Si，而且波長範圍窄小的近紅外區中的折射率可以比較明確決定。

【0241】 (3) 有必要求出干擾相位差 $(2m+1)\pi$ 的干擾次數索引 m ，這可以使用「某程度」的精度且波長是已知的雷射等。雷射的波長不需要嚴格到考慮溫度等的影響，只要知道相當於最近的次數就足夠了。

【0242】 (4) 相當於測量的干擾相位差 $(2m+1)\pi$ 的波谷，與亮線光源不同，也可以選擇以足夠數量的資料點構成的厚度，其形狀也明確。

【0243】 (5) 干擾相位差 $(2m+1)\pi$ 的波谷位置從資料讀取，計算重心波長也很容易，還有標準試料的厚度與折射率明確的話，理論上可以完全再現其光譜。

【0244】 (6) 因此，對於波長對元件號碼的變化，只要假設多項式、光柵方程式等，對於實測資訊，透過使用(非線形)最小平方方法等擬合解析理論干擾光譜，可以算出高精度的波長校正式。

【0245】 <M. 總結>

根據本實施形態的波長校正方法，即使測量波長範圍窄小且測量範圍內不能包含足夠數量的基準亮線的情況下，也可以實現高精度的波長校正。

【0246】 又，根據本實施形態的波長校正方法，因為可以使用厚度及光學常數(折射率與衰減係數)是已知的Si對等作為標準試料，實際運用也可以容易實行。

說明關於本發明的實施形態，應認為這次揭示的實施形態係以全部的點例示而不是限制。本發明的範圍以請求範圍表示，意圖包含與請求範圍均等的意義及範圍內的全部變更。

【符號說明】

【0247】

1:光學測定系統

16:投受光探針

18:連接器

20:透鏡

30:亮線光源

40:Y型光纖

41:第1分岔光纖

42:第2分岔光纖
43:光纖耦合器
50:波長校正式
52:波長校正表
60:實測干擾光譜
62:實測干擾光譜
70:理論干擾光譜
100:光學測定裝置
110:測量用光源
120:分光測定部
121:狹縫
122:快門
123:截止濾波器
124:準直鏡(collimating mirror)
125:繞射光柵
126:聚焦鏡
127:多通道受光器
130:演算部
140:界面
150:理論干擾光譜產生模組
152:實測干擾光譜取得模組
154:實測干擾光譜極值抽出模組
156:對應資訊取得模組
160:波長校正模組

162:回歸分析模組

164:理論干擾光譜反映模組

166:實測干擾光譜反映模組

168:擬合解析模組

170:標準試料資訊

172:理論干擾光譜資訊

174:實測干擾光譜資訊

176:對應資訊

180:波長校正式

182:波長校正表

SMP:試料

ST:標準試料

STL:基準光源

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種光學測定裝置，包括：

光源，產生測量光；

繞射光柵，照射上述測量光在試料上產生的反射光或透射光入射；

受光器，以接收上述繞射光柵分離波長的光之排列配置的複數受光元件構成；

理論干擾光譜取得手段，根據標準試料的已知厚度、折射率及衰減係數，取得數值上算出關於上述標準試料的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為理論干擾光譜；

實測干擾光譜取得手段，透過以上述受光器經由上述繞射光柵接收照射上述測量光在上述標準試料上產生的反射光或透射光，取得產生的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為實測干擾光譜；

對應資訊取得手段，取得用於決定關於上述理論干擾光譜與上述實測干擾光譜的波長之對應的對應資訊；以及

波長校正手段，為了使應用規定上述複數受光元件的波長值之波長校正式至上述實測干擾光譜的結果與上述理論干擾光譜一致，參照上述對應資訊，決定上述波長校正式。

【請求項2】 如請求項1所述之光學測定裝置，其中，

上述波長校正手段，根據授予上述理論干擾光譜內包含的極值之位置與授予上述實測干擾光譜內包含的極值之位置的對應，評估上述理論干擾光譜與上述實測干擾光譜的一致度。

【請求項3】 如請求項2所述之光學測定裝置，其中，

上述波長校正手段，關於上述標準試料數值上算出的反射率干擾光譜是上述理論干擾光譜，從上述標準試料取得的反射率干擾光譜是上述實測干擾光譜

的情況下，根據授予上述理論干擾光譜內包含的極小值之位置與授予上述實測干擾光譜內包含的極小值之位置的對應，評估上述理論干擾光譜與上述實測干擾光譜的一致度。

【請求項4】 如請求項2所述之光學測定裝置，其中，

上述對應資訊取得手段，根據關於透過以上述受光器經由上述繞射光柵接收包含亮線光源產生的已知亮線波長的光取得的測量結果中出現的上述亮線波長的特徵，產生上述對應資訊。

【請求項5】 如請求項2所述之光學測定裝置，其中，

上述波長校正手段，使用用以明確指定上述受光器內包含的各受光元件之元件號碼，決定授予上述實測干擾光譜內包含的極值之元件號碼。

【請求項6】 如請求項5所述之光學測定裝置，其中，

上述波長校正手段，根據上述授予以理論干擾光譜內包含的各極值之波長以及授予上述實測干擾光譜內包含的各極值之元件號碼，決定上述波長校正式。

【請求項7】 如請求項1～6中任一項所述之光學測定裝置，其中，

上述波長校正式，包含的關係式係根據包含上述繞射光柵及上述受光器的光學系統。

【請求項8】 如請求項1～6中任一項所述之光學測定裝置，其中，

上述波長校正手段，包含：

應用先決定的波長校正式至上述實測干擾光譜的手段；

根據上述先決定的波長校正式更新上述理論干擾光譜的手段；

根據應用上述先決定的波長校正式至上述實測干擾光譜的結果與上述更新的理論干擾光譜之比較結果，更新上述波長校正式的手段；以及

直到滿足既定條件為止，重複上述手段的手段。

【請求項9】 一種波長校正方法，包含：

根據標準試料的已知厚度、折射率以及衰減係數，取得數值上算出關於上述標準試料的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為理論干擾光譜之步驟；

透過以受光器經由繞射光柵接收照射光源產生的測量光在標準試料上產生的反射光或透射光，取得產生的反射率干擾光譜或透射率干擾光譜作為實測干擾光譜之步驟，上述受光器，包含用以接收由上述繞射光柵分離波長的光之排列配置的複數受光元件；

取得用以決定關於上述理論干擾光譜與上述實測干擾光譜的波長的對應之對應資訊的步驟；以及

為了使應用規定上述複數受光元件的波長值之波長校正式至上述實測干擾光譜的結果與上述理論干擾光譜一致，參照上述對應資訊，決定上述波長校正式的步驟。

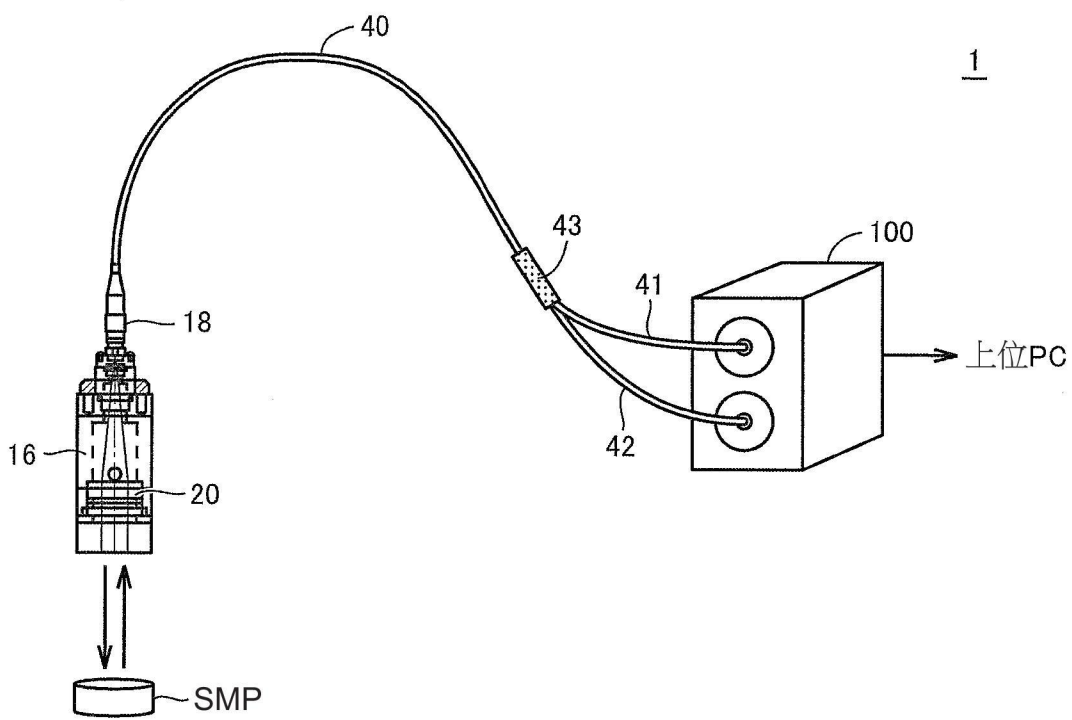


圖1

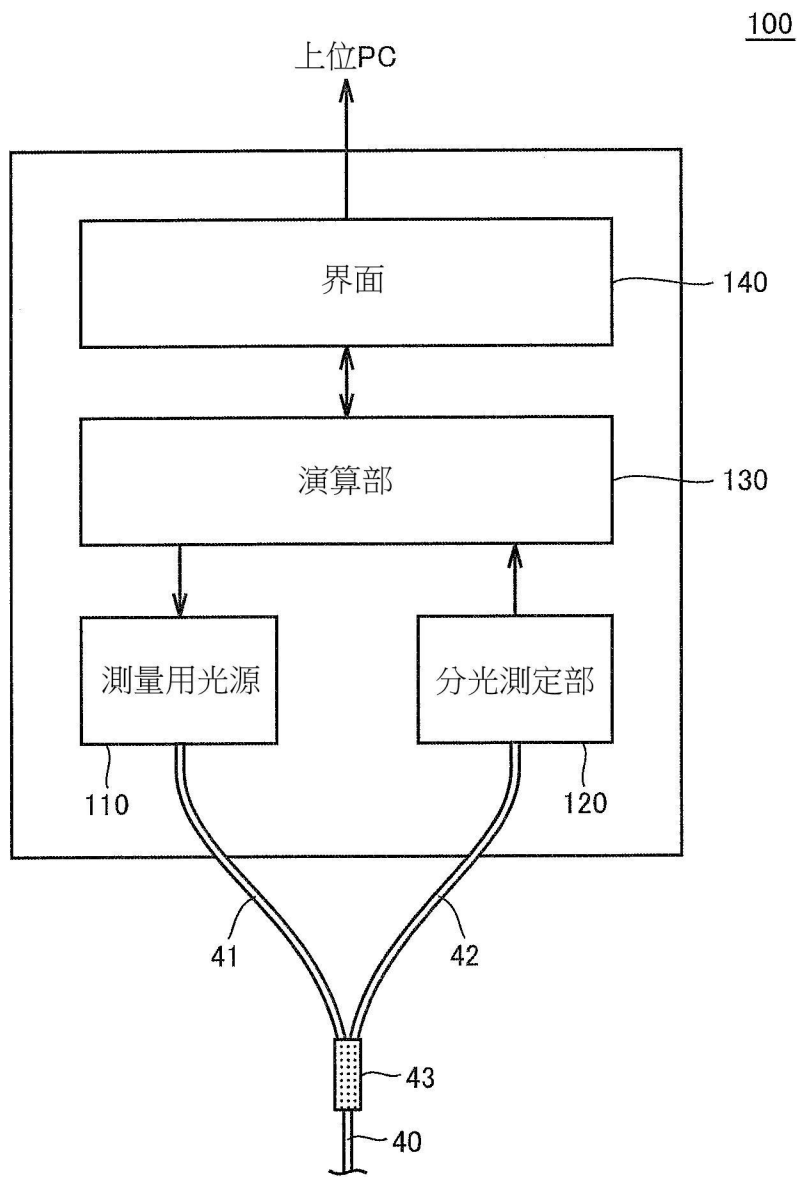


圖2

120

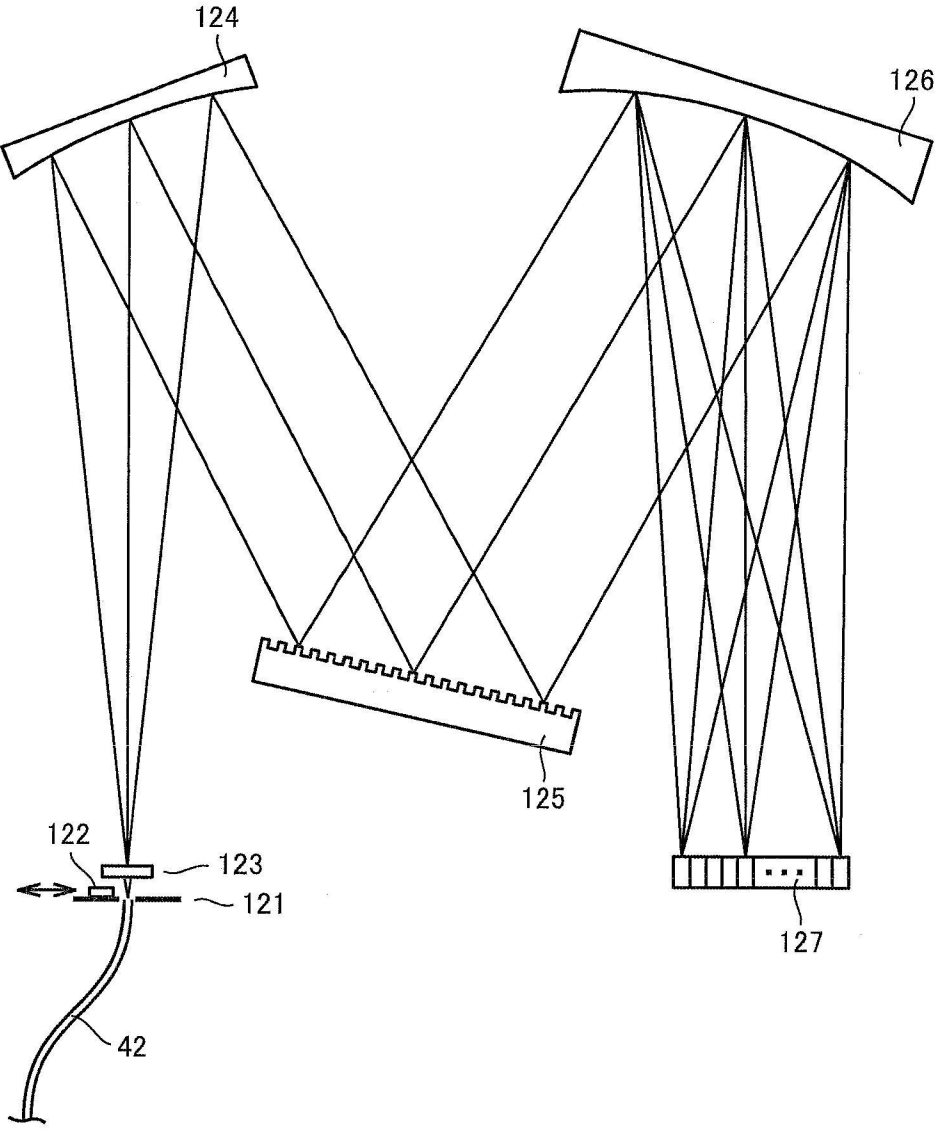


圖3

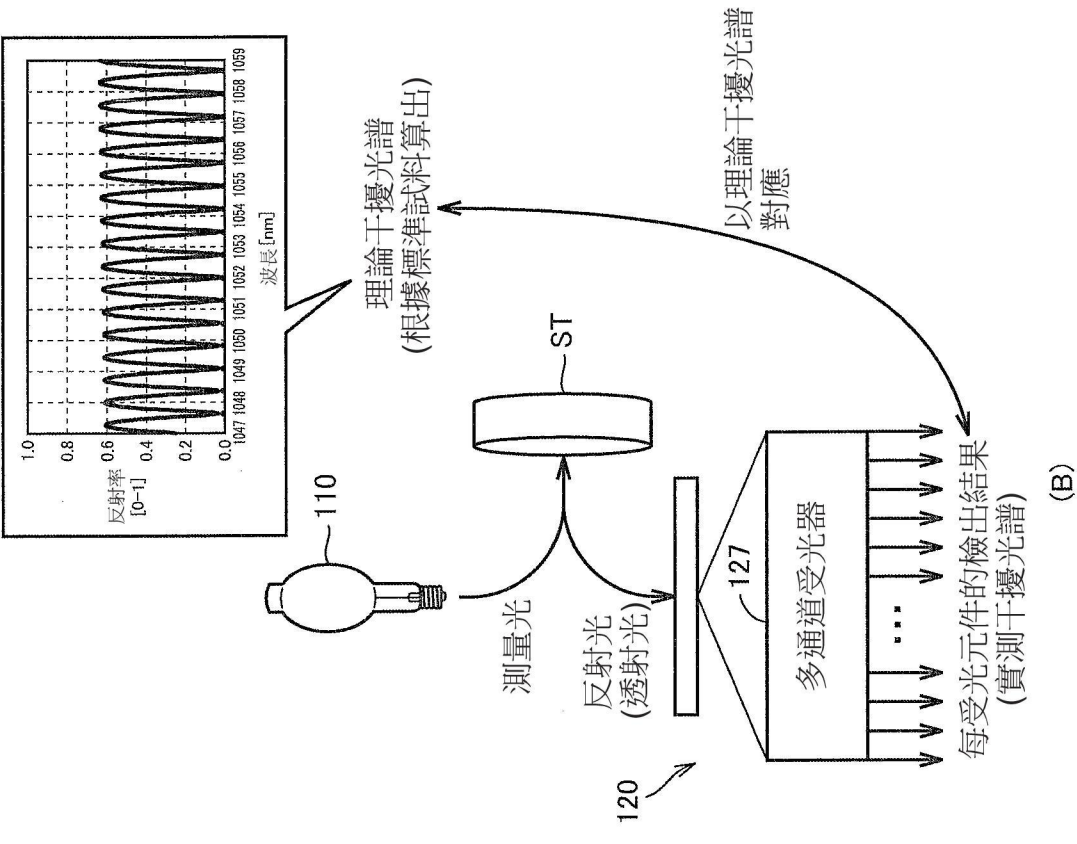
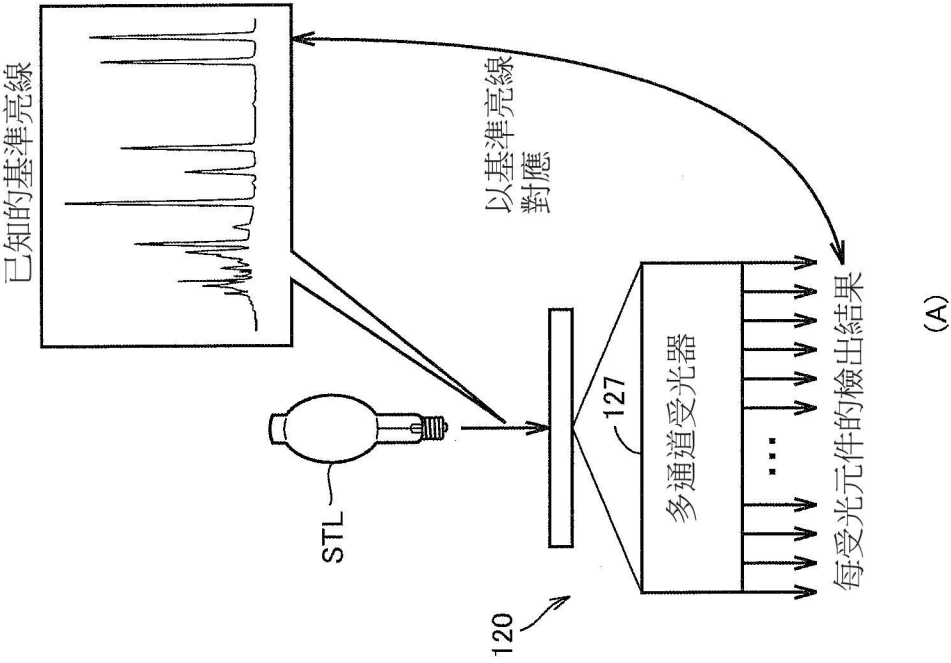


圖4



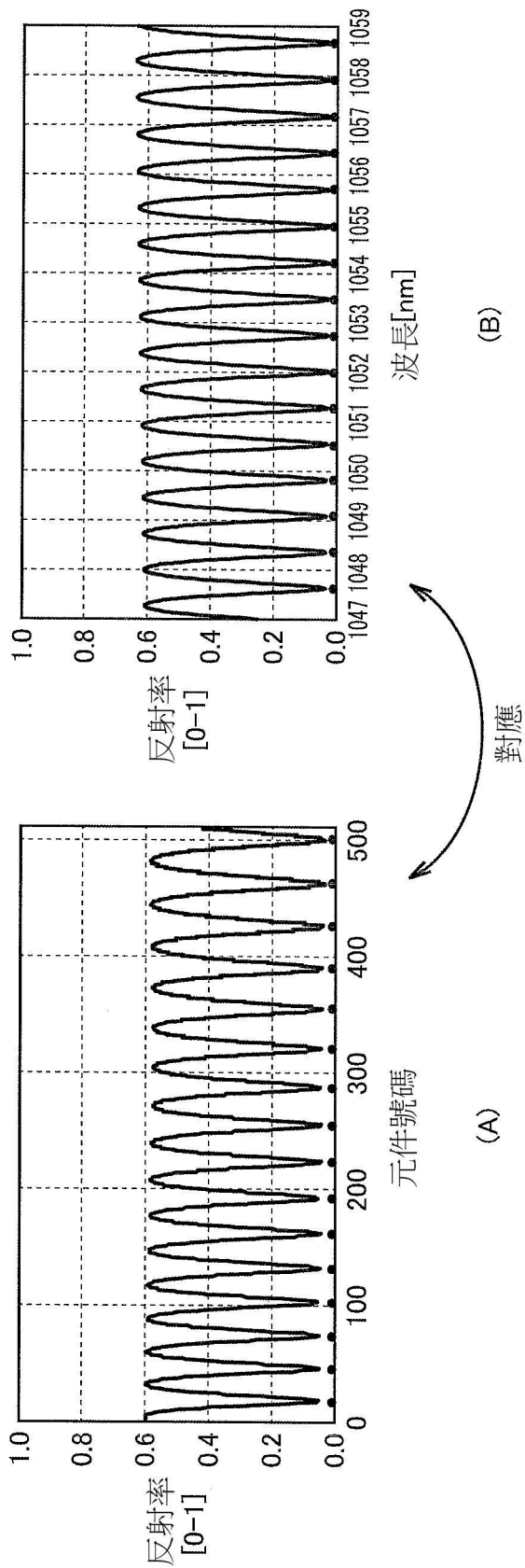


圖5

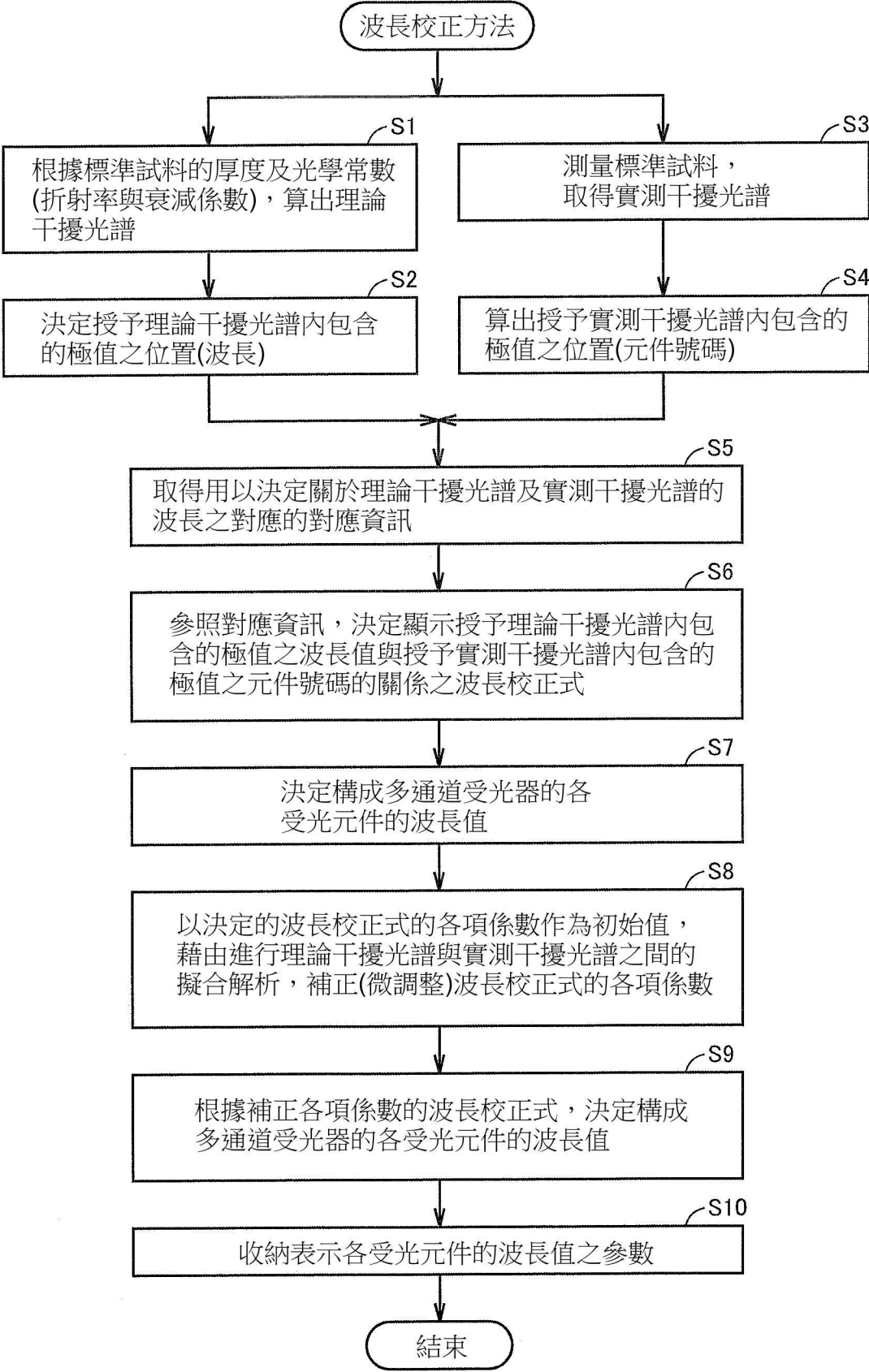


圖6

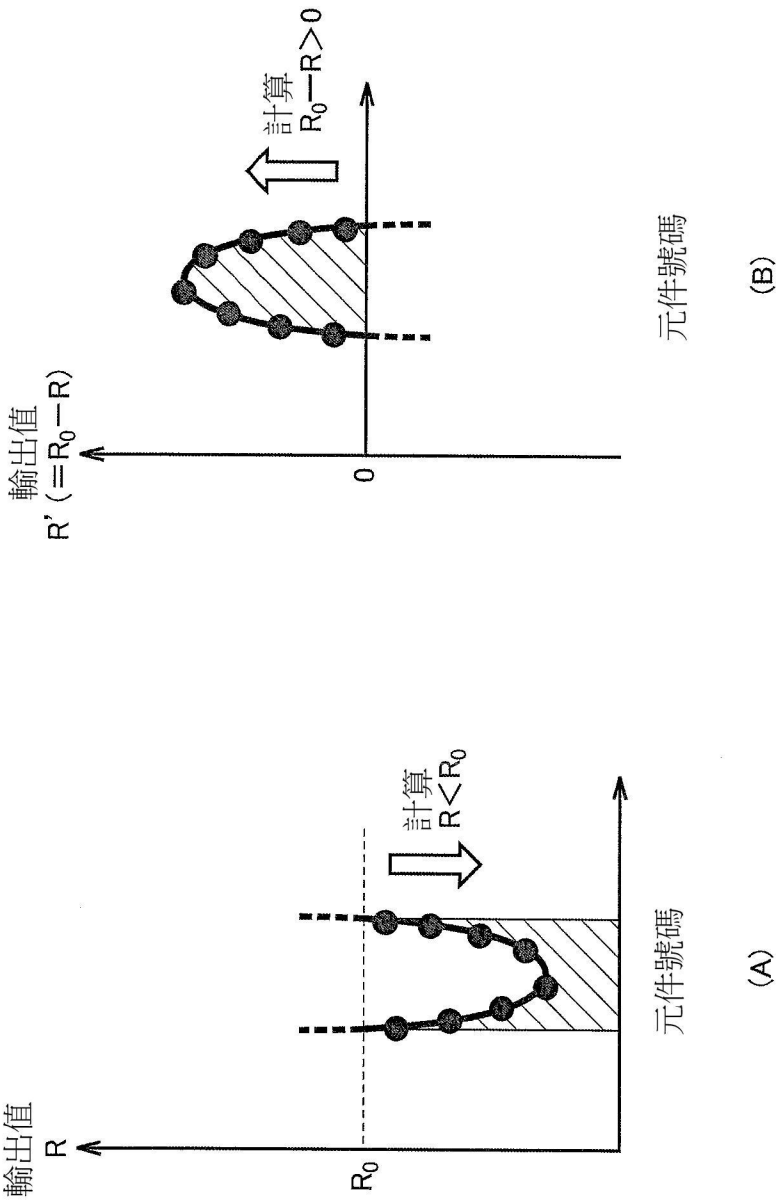


圖7

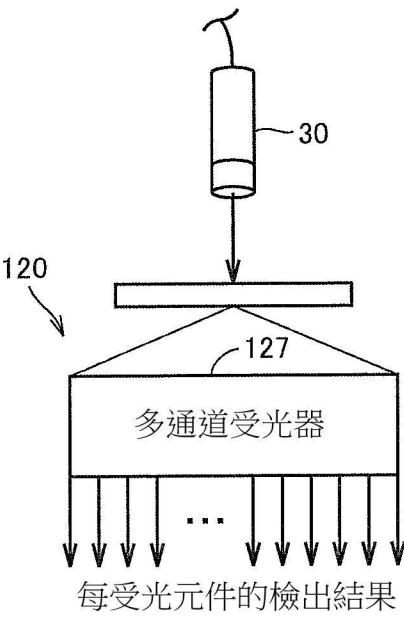


圖8

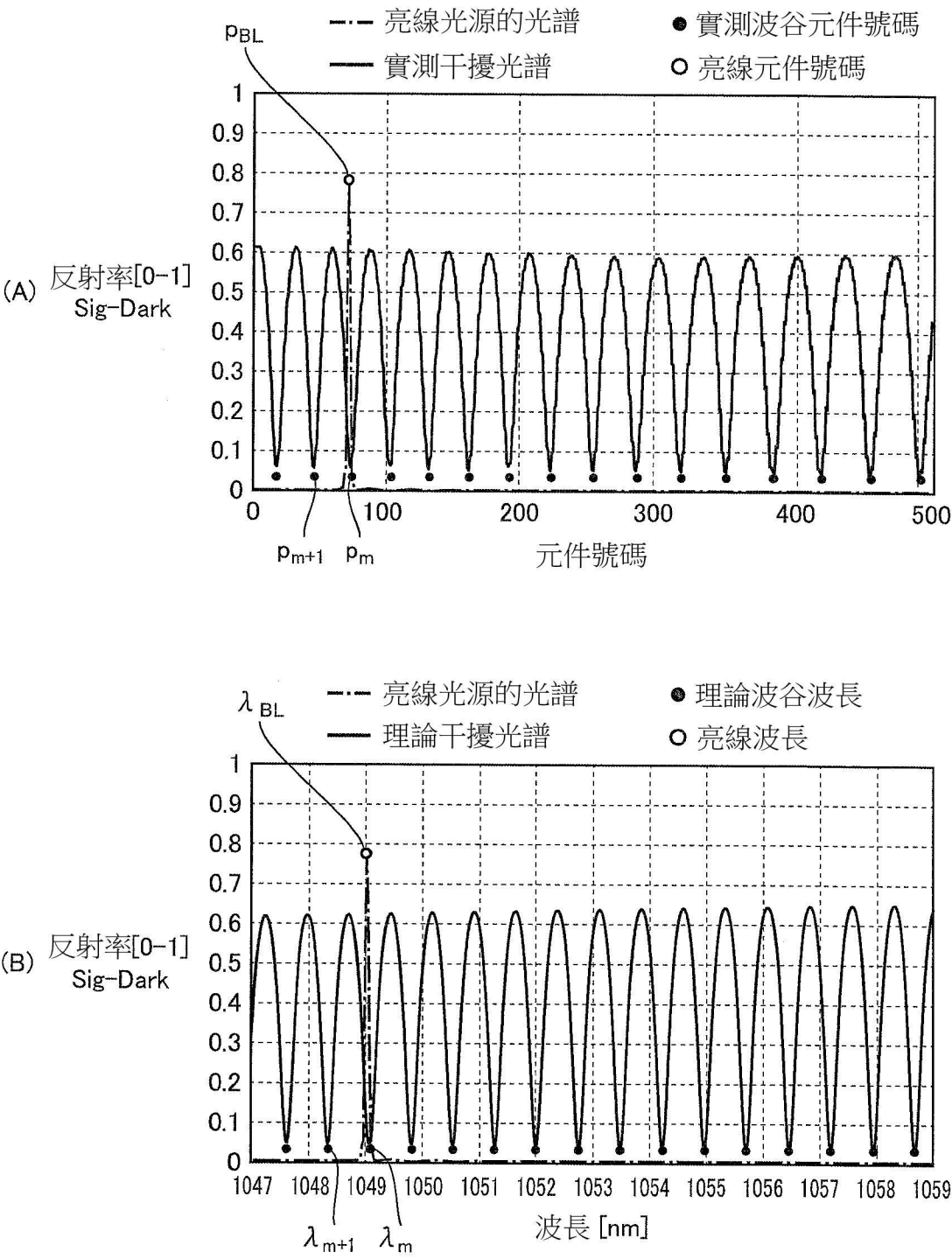


圖9

波谷號碼	干擾次數 索引 m (整數值)	理論波谷波長[nm] λ_m	實測波谷元件號碼 p_m
1	1318	1047.621	17.930
2	1317	1048.350	45.648
3	1316	1049.079	73.886
4	1315	1049.810	102.664
5	1314	1050.542	131.965
6	1313	1051.274	161.859
7	1312	1052.009	192.412
8	1311	1052.744	223.593
9	1310	1053.480	255.487
10	1309	1054.218	288.054
11	1308	1054.957	321.486
12	1307	1055.697	355.717
13	1306	1056.438	390.811
14	1305	1057.180	426.815
15	1304	1057.924	463.976
16	1303	1058.669	502.121

圖10

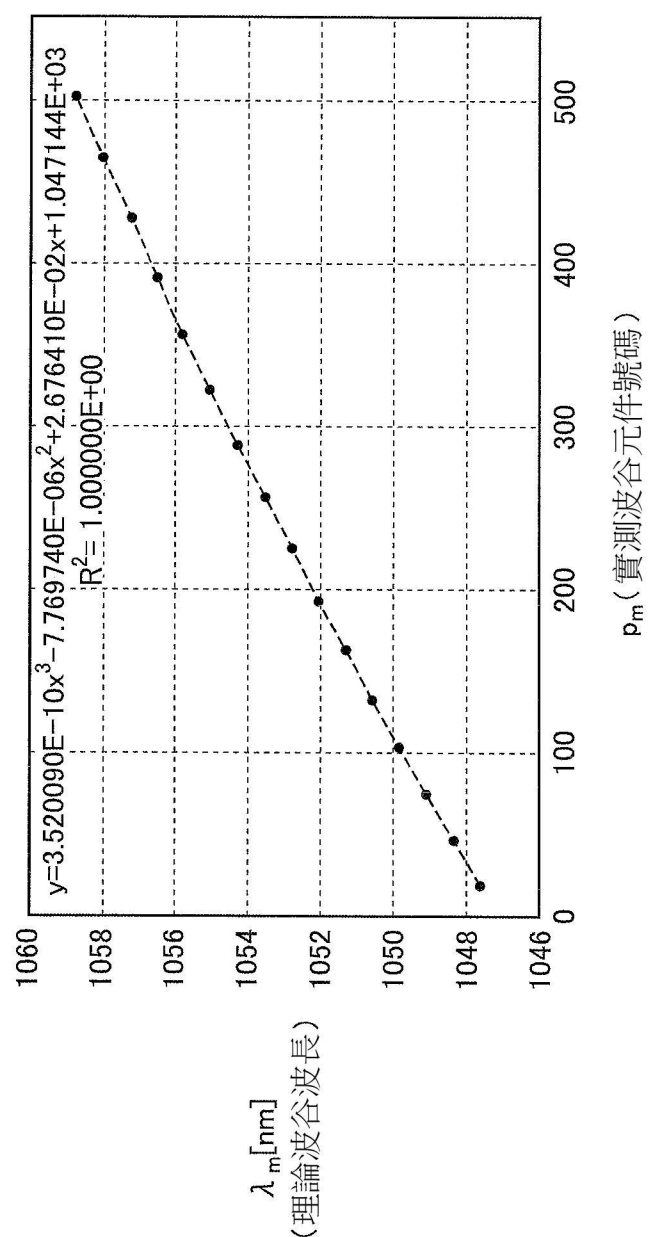


圖11

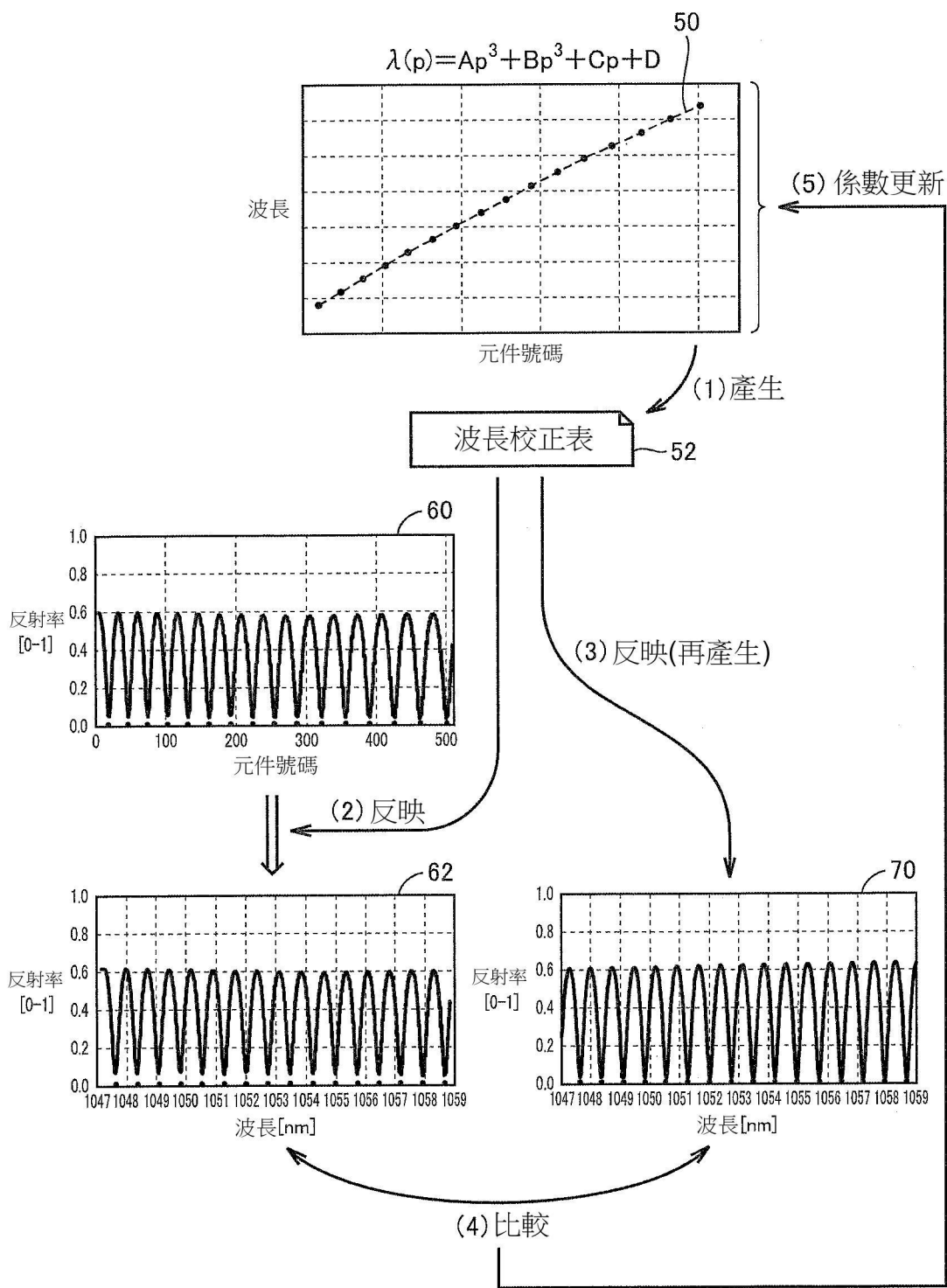


圖12

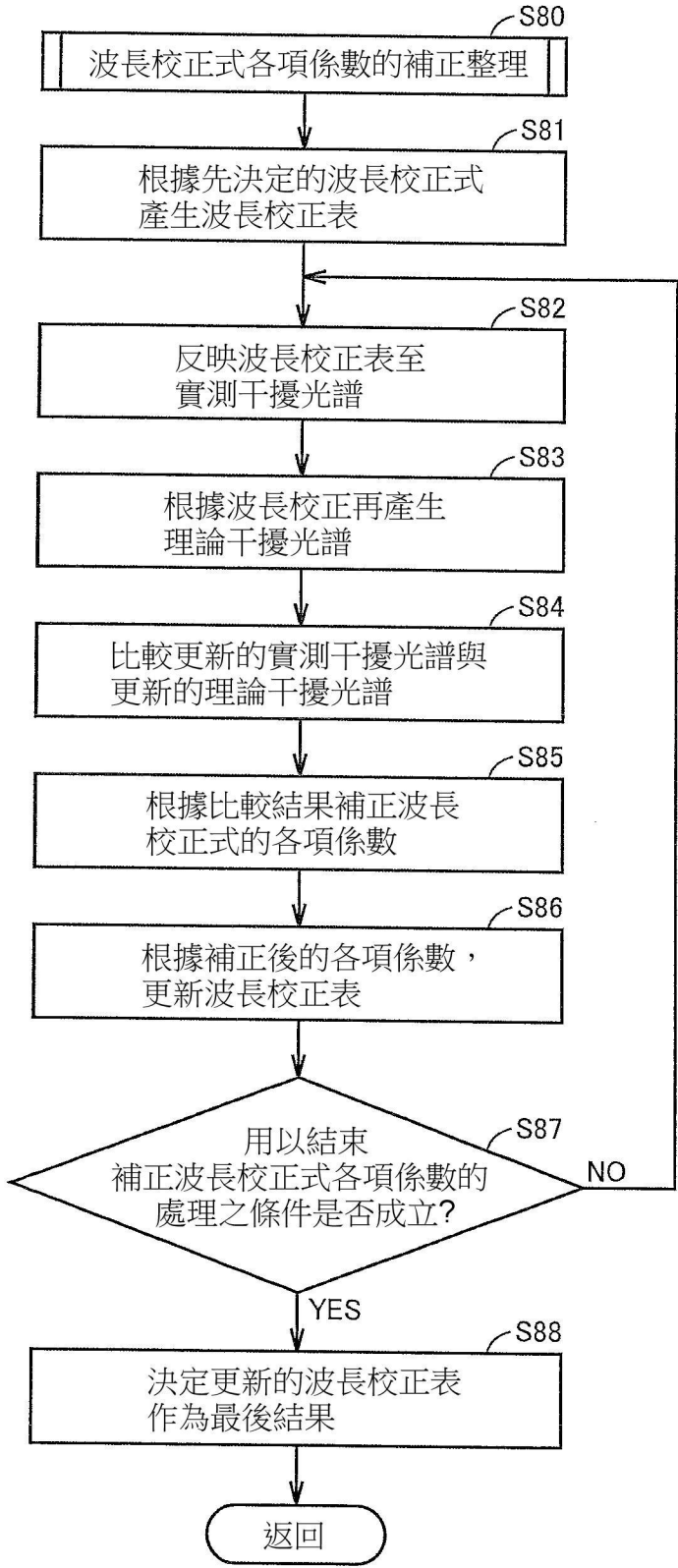


圖13

回歸式的各項係數 $\lambda(p)=Ap^3+Bp^3+Cp+D$						
	A	B	C	D	差數平方和	相關係數(R ²)
各項係數 的補正前	3.520090.E-10	-7.769740.E-06	2.676410.E-02	1.047144.E+03	0.6574555	0.9937370
各項係數 的補正後	3.520024.E-10	-7.767487.E-06	2.675931.E-02	1.047145.E+03	0.6569841	0.9937418

圖14

波谷號碼	干擾次數 索引 m (整數值)	理論波谷波長 [nm] λ_m	補正後的 實測波谷波長 [nm] $\lambda(p_m)$	波長偏離 [nm] $\Delta \lambda = \lambda(p_m) - \lambda_m$
1	1318	1047.621	1047.623	0.001
2	1317	1048.350	1048.351	0.001
3	1316	1049.079	1049.080	0.001
4	1315	1049.810	1049.811	0.001
5	1314	1050.542	1050.542	0.001
6	1313	1051.274	1051.274	0.000
7	1312	1052.009	1052.009	0.000
8	1311	1052.744	1052.744	0.000
9	1310	1053.480	1053.481	0.000
10	1309	1054.218	1054.217	-0.001
11	1308	1054.957	1054.957	0.000
12	1307	1055.697	1055.697	0.000
13	1306	1056.438	1056.438	0.000
14	1305	1057.180	1057.179	-0.001
15	1304	1057.924	1057.924	0.000
16	1303	1058.669	1058.668	-0.001

圖15

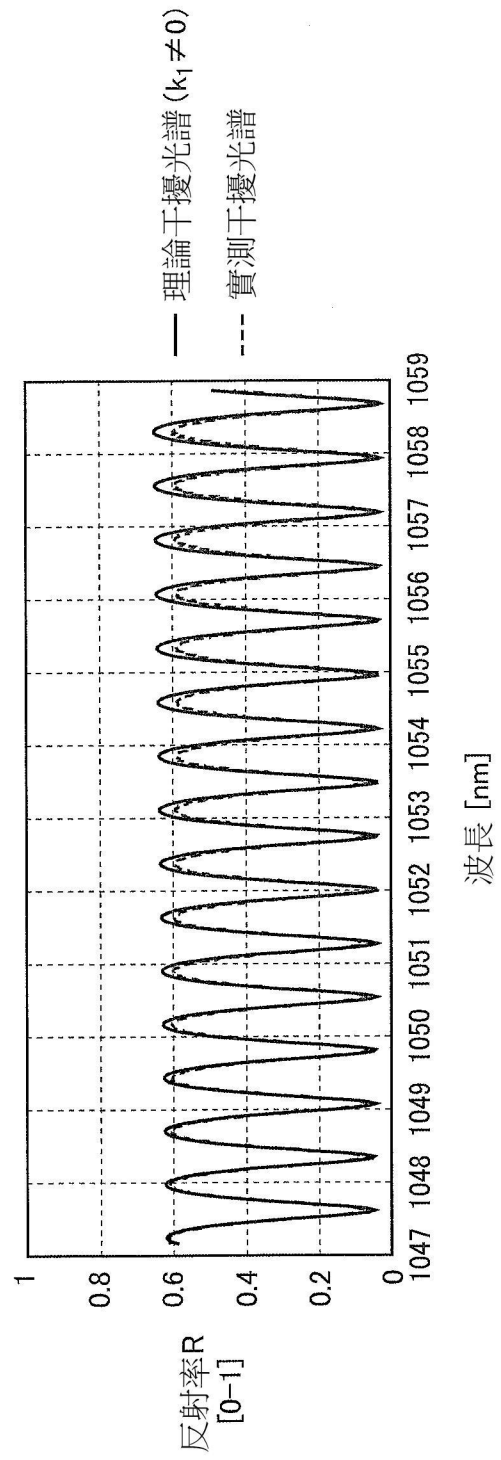


圖16

(A)	校正值與FFT膜厚值的比較(根據Si標準試料的擬合波長校正後)			
	厚度水準	校正值 [μm]	FFT膜厚值 [μm]	膜厚差 [μm]
	(A)	194.028	194.045	0.017
	(B)	301.665	301.635	-0.030
	(C)	610.107	610.119	0.012

(B)	校正值與FFT膜厚值的比較(根據基準光源的波長校正後)			
	厚度水準	校正值 [μm]	FFT膜厚值 [μm]	膜厚差 [μm]
	(A)	194.028	192.297	-1.731
	(B)	301.665	299.177	-2.488
	(C)	610.107	604.951	-5.156

圖17

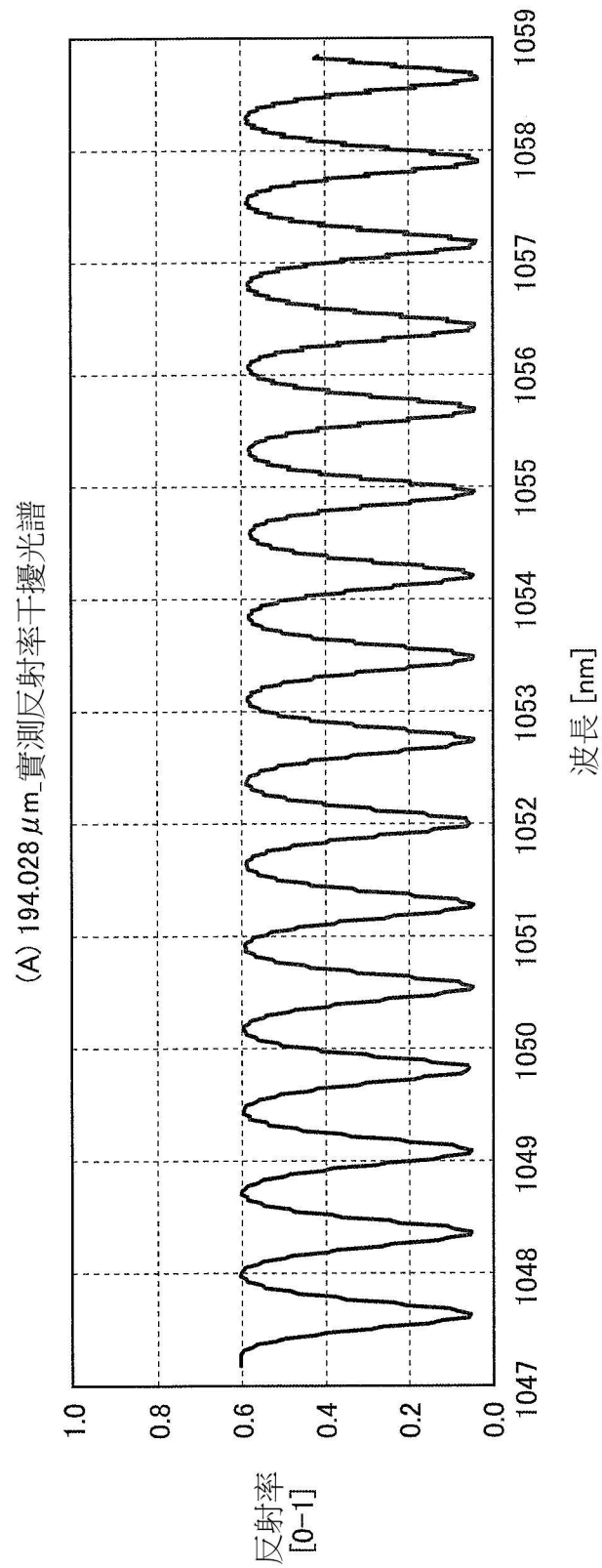


圖18

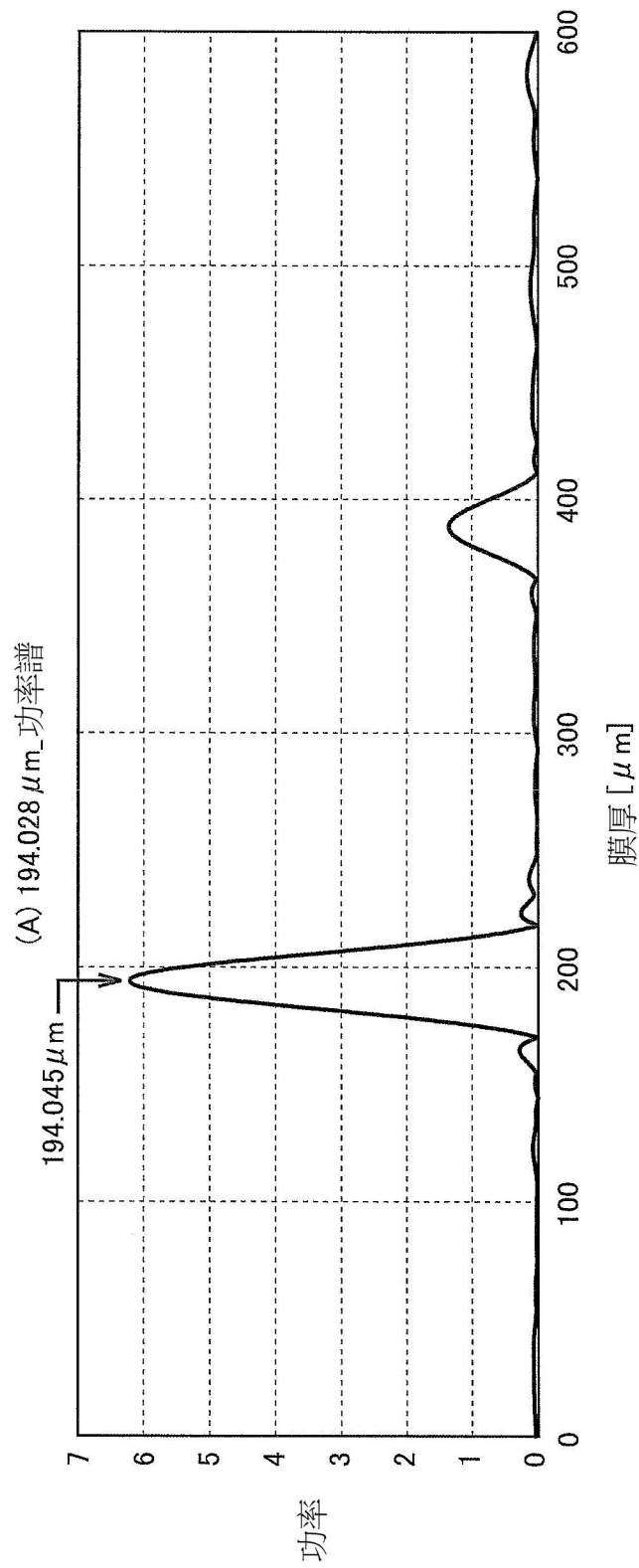


圖19

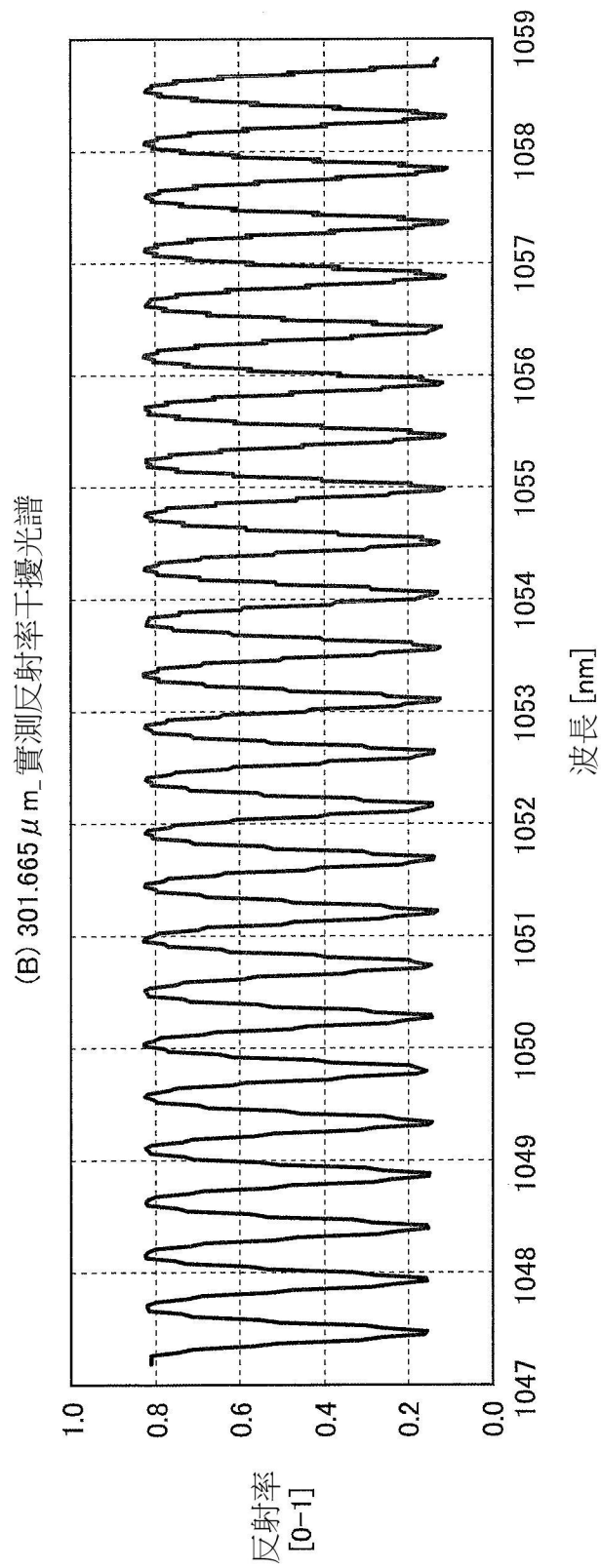


圖20

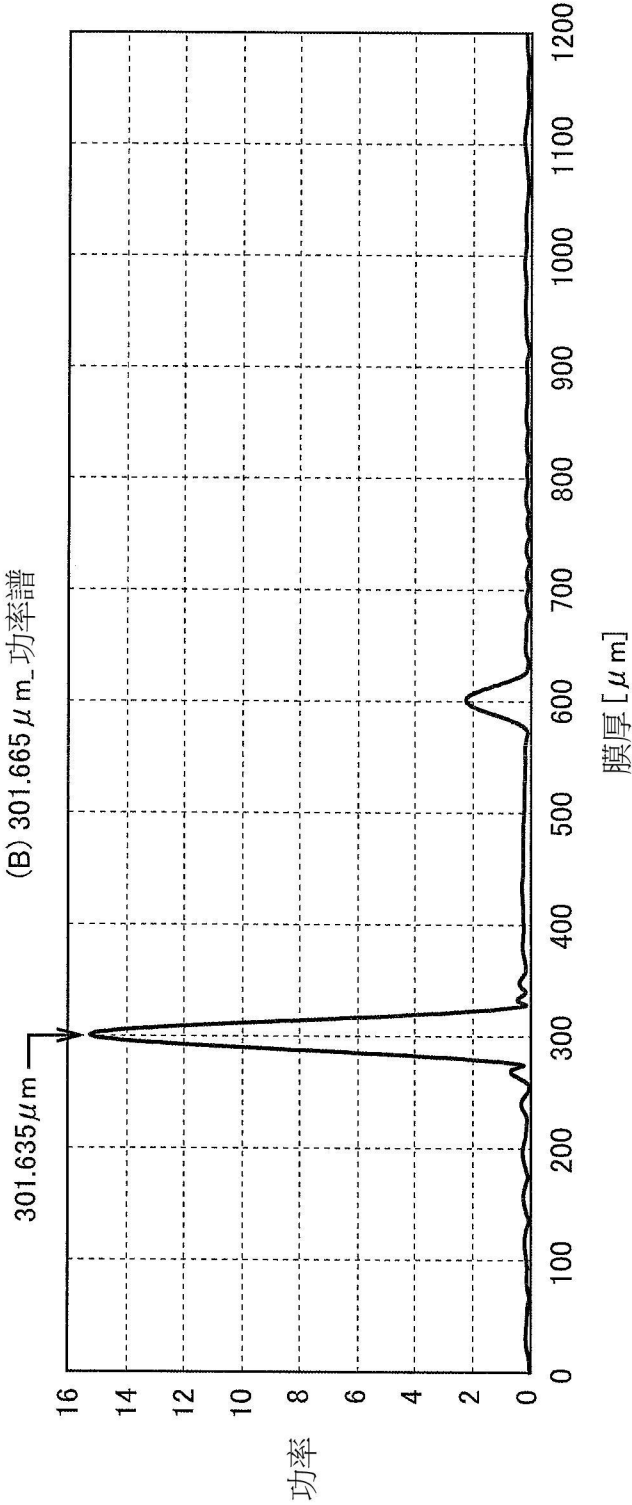


圖21

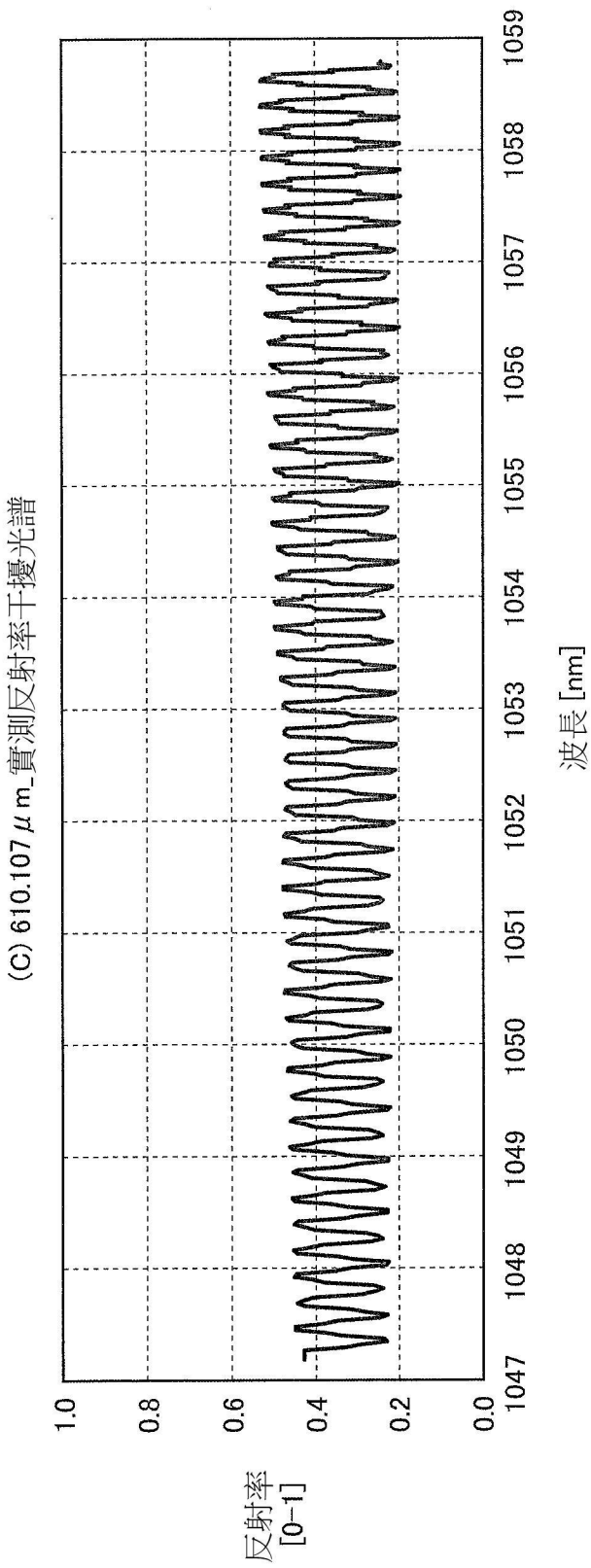


圖22

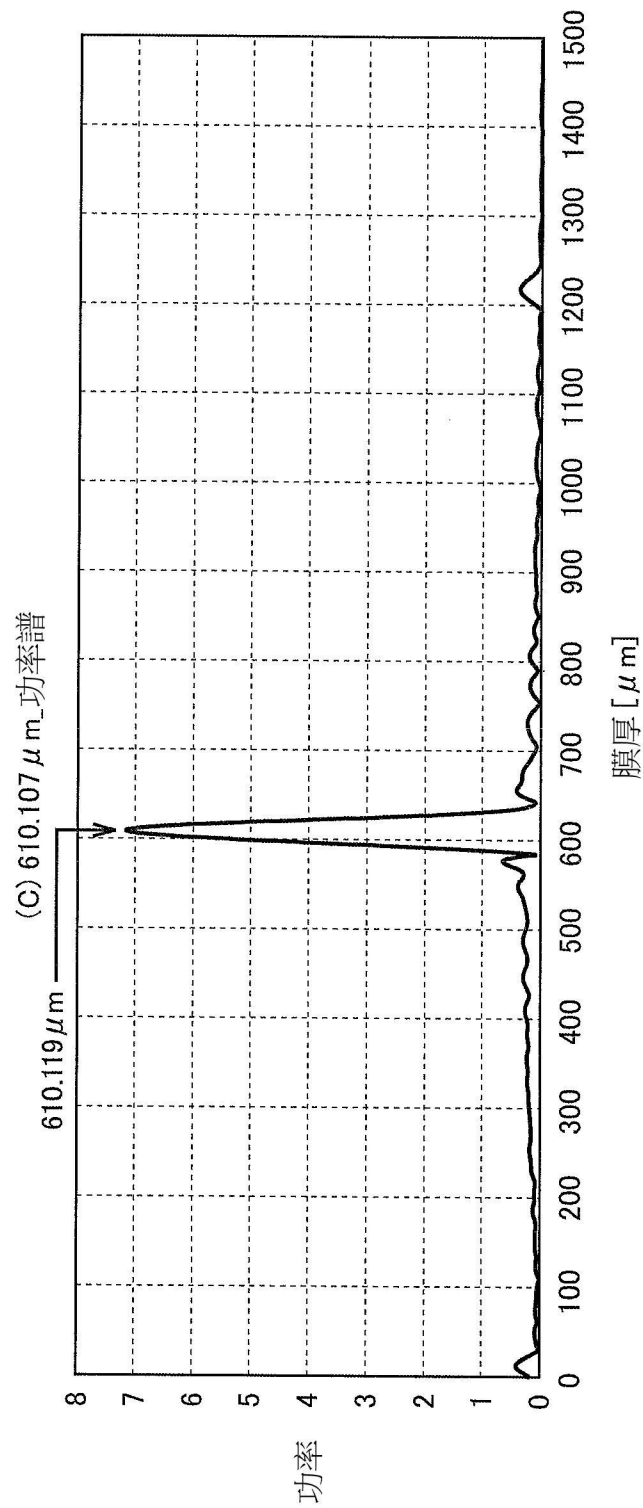


圖23

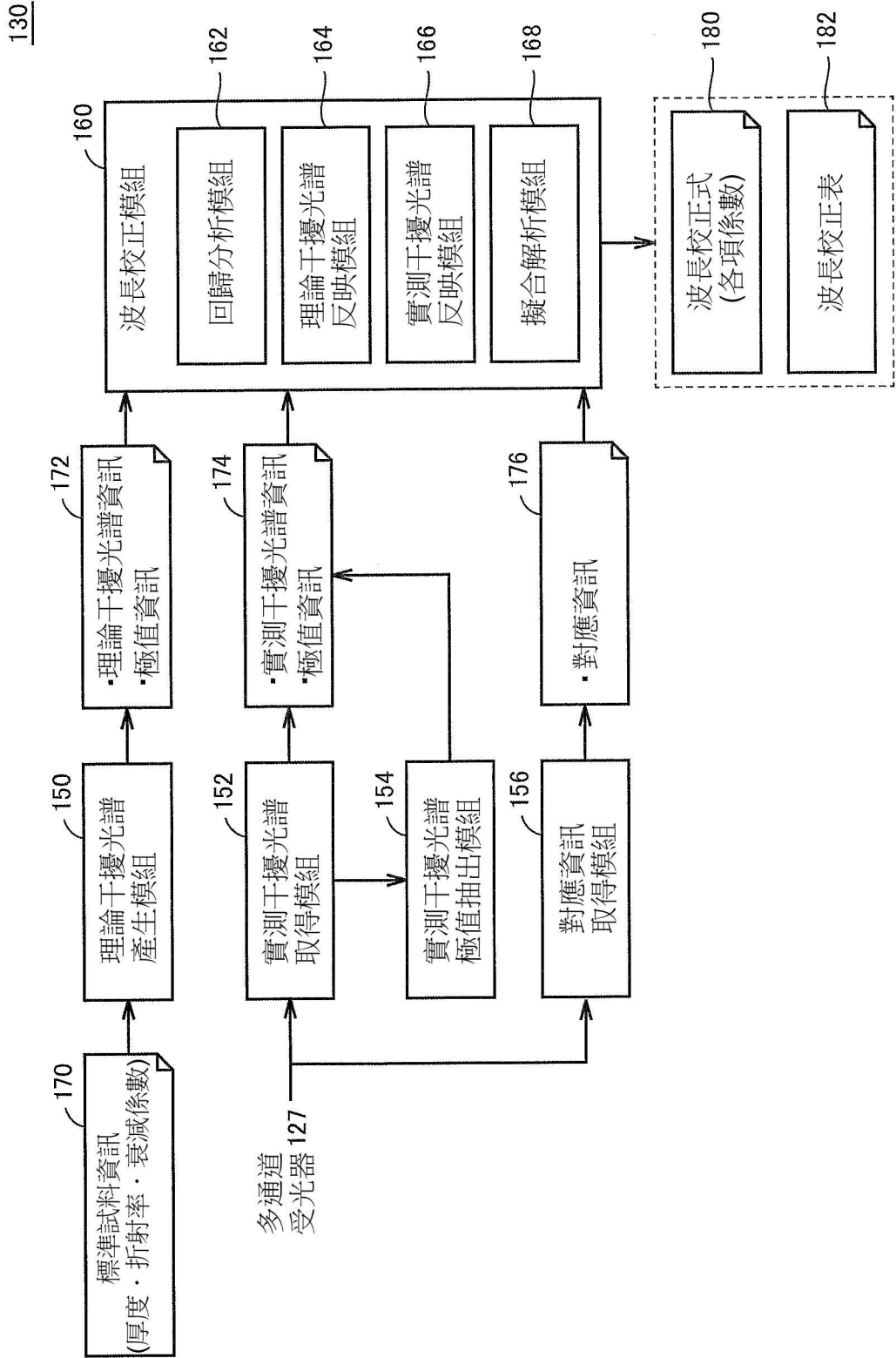


圖24