



(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 I864070 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 12 月 01 日

(21)申請案號：109127790

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 08 月 14 日

(51)Int. Cl. : G01N21/41 (2006.01)

G01N23/02 (2006.01)

(30)優先權：2019/08/15 美國

62/887,077

(71)申請人：國立大學法人東京大學 (日本) THE UNIVERSITY OF TOKYO (JP)
日本(72)發明人：平野大輔 HIRANO, DAISUKE (JP)；五神真 GONOKAMI, MAKOTO (JP)；吉岡
孝高 YOSHIOKA, KOSUKE (JP)

(74)代理人：張耀暉；李元戎；莊志強

(56)參考文獻：

TW 20160901A

CN 105115940A

CN 108132230A

專書 永久保 祐紀 高次高調波を用いた時間分解位相敏感屈折率計測法の開発 學位論
文 東京大學 2017/03/23期刊 Chang Chang et al Direct measurement of index of refraction in
the extreme-ultraviolet wavelength region with a novel
interferometer OPTICS LETTERS Vol. 27, No. 12 OPTICA June 15, 2002
1028~1029

審查人員：林佑霖

申請專利範圍項數：11 項 圖式數：9 共 43 頁

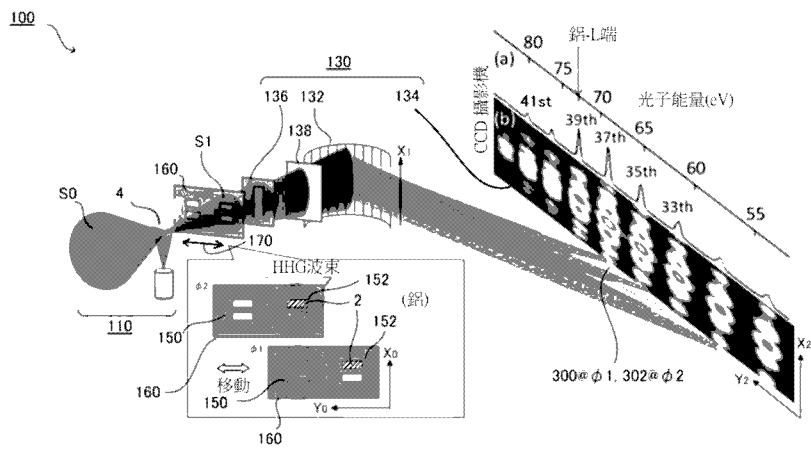
(54)名稱

光學常數測定裝置以及光學常數的計算方法

(57)摘要

本發明中，同調光源 110 係輸出同調光，前述同調光包含將短脈衝雷射光照射至非線形媒介 4 而獲得的高次高諧波。分光器 130 係包含繞射光柵 132 以及影像感測器 134，繞射光柵 132 係將同調光繞射，影像感測器 134 係攝影藉由繞射光柵 132 而繞射的光。第一雙縫 150 係含有於第一方向分開的開口對，且在第一狀態下配置於同調光源 110 與分光器 130 之射入縫之間的預定位置。第二雙縫 152 係含有屬於第一雙縫 150 之複製品的開口對，且在第二狀態下以將樣本保持於前述開口對之一方的開口的狀態於預定位置與第一雙縫 150 置換地配置。演算處理裝置係根據在第一狀態與第二狀態個別獲得的干涉像而計算樣本 2 之光學常數。

指定代表圖：



【圖2】

符號簡單說明：

- 2:樣本
- 4:非線形媒介
- 100:光學常數測定裝置
- 110:同調光源
- 130:分光器
- 132:繞射光柵
- 134:影像感測器
- 136:射入縫
- 138:濾光器
- 150:第一雙縫
- 152:第二雙縫
- 160:樣本保持件
- 170:可動臺座
- 300:第一干涉像
- 302:第二干涉像
- S0:短脈衝雷射光
- S1:同調光
- φ1:第一狀態
- φ2:第二狀態

**公告本**

I864070

【發明摘要】**【中文發明名稱】** 光學常數測定裝置以及光學常數的計算方法**【中文】**

本發明中，同調光源110係輸出同調光，前述同調光包含將短脈衝雷射光照射至非線形媒介4而獲得的高次高諧波。分光器130係包含繞射光柵132以及影像感測器134，繞射光柵132係將同調光繞射，影像感測器134係攝影藉由繞射光柵132而繞射的光。第一雙縫150係含有於第一方向分開的開口對，且在第一狀態下配置於同調光源110與分光器130之射入縫之間的預定位置。第二雙縫152係含有屬於第一雙縫150之複製品的開口對，且在第二狀態下以將樣本保持於前述開口對之一方的開口的狀態於預定位置與第一雙縫150置換地配置。演算處理裝置係根據在第一狀態與第二狀態個別獲得的干涉像而計算樣本2之光學常數。

【指定代表圖】 圖2。**【代表圖之符號簡單說明】**

2:樣本

4:非線形媒介

100:光學常數測定裝置

110:同調光源

130:分光器

132:繞射光柵

134:影像感測器

136:射入縫

109P001438TW

第 1 頁，共 2 頁(發明摘要)

138:濾光器

150:第一雙縫

152:第二雙縫

160:樣本保持件

170:可動臺座

300:第一干涉像

302:第二干涉像

S0:短脈衝雷射光

S1:同調光

φ 1:第一狀態

φ 2:第二狀態

【發明說明書】

【中文發明名稱】 光學常數測定裝置以及光學常數的計算方法

【技術領域】

【0001】 本發明係有關於複折射率等的光學常數之測定技術。

【先前技術】

【0002】 為了發展以EUV(extreme-ultraviolet；超紫外線)微影為首的EUV區域中的光技術之應用，而必須高度地控制包含了相位的光參數。因此，雖必須要將多層膜鏡、遮罩等之光學元件高度化(非專利文獻2、3)，但因EUV區域之光學常數並非充分已知，故光學常數之資料庫化乃不可欠缺。

【0003】 至目前為止已有數種EUV區域之折射率測定方法被提案。最習知的是亨克爾(Henke)們的工作。雖為由吸收光譜(spectrum)之克拉莫-克若尼(Kramers-Kronig)變換得出折射率的實數部分的手法，但被指出在所得的值之精度存在有問題(非專利文獻5、28、29)。

【0004】 作為新的測定手法，提案了測定使用了雙縫干涉(double slit interference)的測定手法。該手法係從藉由同調(coherent)的光而得的雙縫干涉像獲得兩個光路之相對強度與藉由光路差而生的相位差，藉此而可直接導出複折射率。

【0005】 當以非同調(incoherent)的放射光作為光源時，取出同調性(coherence)後之光量子束密度係顯著降低。雖需要為了將降低了的光量子束密度最大限度地進行利用之光學系統，但由於該光學系統需要隨每個波長不同的

配置，故在分散測定時容易產生因機械驅動所致的系統性之不確定性(非專利文獻8)。

[先前技術文獻]

[非專利文獻]

【0006】

[非專利文獻1]W. Chao, J. Kim, S. Rekawa, P. Fischer,以及E. H. Anderson, 光學快訊(Opt. Exp.), 17, 17669 (2009)。

[非專利文獻2]M. Goldstein, R. Hudyma, P. Naulleau,以及S. Wurm, 光學快報(Opt. Lett.), 33, 2995 (2008)。

[非專利文獻3]S. Bajt, J. B. Alameda, T. W. Barbee, W. M. Clift, J. A. Folta, B. B. Kaufmann,以及E. A. Spiller, 光學工程(Opt. Eng.), 41, 1797 (2002)。

[非專利文獻4]D. G. Stearns, R. S. Rosen,以及S. P. Vernon, 應用光學(Appl. Opt.), 32, 6952 (1993)。

[非專利文獻5]A. K. Ray-Chaudhuri, S. E. Gianoulakis, P. A. Spence, M. P. Kanouff,以及C. D. Moen, 新興微影技術(Emerging Lithographic Technologies)II(國際光學和光子學協會(International Society for Optics and Photonics), 1998), 頁124-133。

[非專利文獻6]B. L. Henke, E. M. Gullikson,以及J. C. Davis, 原子資料表和核資料表(Atomic Data and Nuclear Data Tables)54, 181 (1993)。

[非專利文獻7]H.-G. Birken, W. Jark, C. Kunz,以及R. Wolf, 物理研究中的核儀器與方法A節：加速器、光譜儀、探測器和相關設備(Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and

Associated Equipment) 253, 166 (1986)。

[非專利文獻8]C. Chang, E. Anderson, P. Naulleau, E. Gullikson, K. Goldberg, 以及D. Attwood, 光學快報 27, 1028 (2002)。

[非專利文獻9]E. M. Gullikson, P. Denham, S. Mrowka, 以及J. H. Underwood, 物理評論(Phys. Rev.) B 49, 16283 (1994)。

[非專利文獻10]D. S. Gianola, S. Van Petegem, M. Legros, S. Brandstetter, H. Van Swygenhoven, 以及K. J. Hemker, 材料學報(Acta Materialia) 54, 2253 (2006)。

[非專利文獻11]B.-T. Chou, Y.-H. Chou, Y.-M. Wu, Y.-C. Chung, W.-J. Hsueh, S.-W. Lin, T.-C. Lu, T.-R. Lin, 以及S.-D. Lin, 科學報告(Scientific Reports) 6, 19887 (2016)。

[非專利文獻12]P. B. Corkum, 物理評論快報(Phys. Rev. Lett.) 71, 1994 (1993)。

[非專利文獻13]P. M. Paul, E. S. Toma, P. Breger, G. Mullot, F. Audebert, P. Balcou, H. G. Muller, 以及P. Agostini, 科學(Science) 292, 1689 (2001)。

[非專利文獻14]R. A. Bartels, A. Paul, H. Green, H. C. Kapteyn, M. M. Murnane, S. Backus, I. P. Christov, Y. Liu, D. Attwood, 以及C. Jacobsen, 科學 297, 376 (2002)。

[非專利文獻15]J. J. Macklin, J. D. Kmetec, 以及C. L. Gordon, 物理評論快報 70, 766 (1993)。

[非專利文獻16]T. Popmintchev, M.-C. Chen, P. Arpin, M. M. Murnane, 以及H. C. Kapteyn, 自然-光子學(Nature Photonics) 4, 822 (2010)。

[非專利文獻17]M. R. Alexander, G. E. Thompson, X. Zhou, G. Beams, 以及

N. Fairley, 表面和界面分析(Surf. Interface Anal.) 34, 485 (2002)。

[非專利文獻18]A. Das, R. K. Gupta, M. H. Modi, C. Mukherjee, S. K. Rai, A. Bose, T. Ganguli, S. C. Joshi, G. S. Lodha,以及S. K. Deb, 應用光學(Applied Optics) 51, 7402 (2012)。

[非專利文獻19]R. Keenan, C. L. S. Lewis, J. S. Wark,以及E. Wolfrum, 物理學學報B：原子、分子與光物理(J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.) 35, L447 (2002)。

[非專利文獻20]M. M. Barysheva, A. E. Pestov, N. N. Salashchenko, M. N. Toropov,以及N. I. Chkhalo, 俄羅斯物理學雜誌(Phys.-Usp.) 55, 681 (2012)。

[非專利文獻21]Y. Li, K. Ota,以及K. Murakami, 真空科學與技術學報B: 微電子學和奈米結構的處理、測量和現象(Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena)21, 127 (2002)。

[非專利文獻22]D. Descamps, C. Lynga, J. Norin, A. L'Huillier, C.-G. Wahlstrom, J.-F. Hergott, H. Merdji, P. Salieres, M. Bellini,以及T. W. Hansch, 光學快報, 25, 135 (2000)。

[非專利文獻23]D. Hemmers, M. Benzid,以及G. Pretzler, 應用物理B (Appl. Phys. B) 108, 167 (2012)。

[非專利文獻24]L. A. Wilson, A. K. Rossall, E. Wagenaars, C. M. Cacho, E. Springate, I. C. E. Turcu,以及G. J. Tallents, 應用光學 51, 2057 (2012)。

[非專利文獻25]K. A. Goldberg, R. Beguiristain, J. Bokor, H. Medeck, D. T. Attwood, K. Jackson, E. Tejnil,以及G. E. Sommargren, 真空科學與技術學報B: 微電子學和奈米結構的處理、測量和現象 13, 2923 (1995)。

[非專利文獻26]D. G. Lee, J. J. Park, J. H. Sung,以及C. H. Nam, 光學快報, 28, 480 (2003)。

[非專利文獻27]P. Mercere, P. Zeitoun, M. Idir, S. L. Pape, D. Douillet, X. Levecq, G. Dovillaire, S. Bucourt, K. A. Goldberg, P. P. Naulleau,以及S. Rekawa, 光學快報, 28, 1534 (2003)。

[非專利文獻28]H. Yan, C. Wang, A. R. McCarn,以及H. Ade, 物理評論快報 110, 177401 (2013)。

[非專利文獻29]D. L. Windt, 太陽物理與空間氣象儀器(Solar Physics and Space Weather Instrumentation) VI (國際光學和光子學協會, 2015), p. 96040P。

[非專利文獻30]G. W. Fraser, A. F. Abbey, A. Holland, K. McCarthy, A. Owens,以及A. Wells, 物理研究中的核儀器與方法A節：加速器、光譜儀、探測器和相關設備(Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment) 350, 368 (1994)。

[非專利文獻31]M. Takeda, H. Ina,以及S. Kobayashi, "基於計算機拓樸和干涉測量的條紋圖形分析的傅里葉變換方法(Fourier-transform method of fringe-pattern analysis for computer-based topography and interferometry)," 美國光學學會期刊(J. Opt. Soc. Am.), 72(1), 156-160 (1982)。

[非專利文獻32]A. R. Thompson, J. M. Moran,以及G. W. Swenson, “範·奇特-澤尼克定理、空間同調性和散射” 於無線電天文中的干涉測量與合成("Van Cittert-Zernike Theorem, Spatial Coherence, and Scattering," in Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy), 由A. R. Thompson, J. M. Moran與G. W. Swenson

Jr.編輯(施普林格國際出版社(Springer International Publishing), 2017), 頁 767-786。

[非專利文獻33]E. Frumker, G. G. Paulus, H. Niikura, D. M. Villene, 以及P. B. Corkum, "頻率分辨高諧波波面表徵(Frequency-resolved high-harmonic wavefront characterization)," 光學快報 34(19), 3026-3028 (2009).

[非專利文獻34]D. T. Lloyd, K. O'Keeffe,以及S. M. Hooker, "使用可變間隔針孔對光波波面進行完整的空間表徵(Complete spatial characterization of an optical wavefront using a variable-separation pinhole pair)," 光學快報 38(7), 1173-1175 (2013).

[非專利文獻35]J. Dobaczewski, W. Nazarewicz,以及P.-G. Reinhard, "理論模型的誤差估計：指南(Error estimates of theoretical models: a guide)," 物理學學報 G核與粒子物理學(J. Phys. G Nucl. Part. Phys.) 41(7), 074001 (2014)。

[非專利文獻36]P. Sinervo, "高能物理和天體物理學中系統不確定性的定義和處理(Definition and Treatment of Systematic Uncertainties in High Energy Physics and Astrophysics)," (2003)。

【發明內容】

[發明所欲解決之課題]

【0007】藉由使用屬於同調的光源的高次高諧波而可進行不產生上述非同調光源(incoherent light source)之問題的干涉測定。由於該光源具有高同調性與廣帶域，故就折射率及其分散測定而言為理想的光源。

【0008】 至今為止，雖報告有利用了高諧波之測定，但充其量僅為原理驗證，其測定精度為1rad左右故非常地差。另外，由於高諧波之強度係於基本波之奇數次具有峰值故觀測的波長受到限定，但就實用而言必須為任意波長。

【0009】 為了EUV區域之光學元件的設計，要求可測定任意波長之複折射率且亦可達成高測定精度。

【0010】 本揭示係有鑑於該狀況而研發，所例示的目的之一為光學常數之測定精度的改善。

[用以解決課題之手段]

【0011】 本揭示之一態樣的光學常數測定裝置係具備同調光源(coherent light source)、分光器、第一雙縫、第二雙縫、以及演算處理裝置。同調光源係輸出同調光，前述同調光包含將短脈衝雷射光照射至非線形媒介而獲得的高次高諧波。分光器係包含繞射光柵以及影像感測器，前述繞射光柵係將同調光繞射，前述影像感測器係攝影藉由繞射光柵而繞射的光。第一雙縫係含有於第一方向分開的開口對，且在第一狀態下配置於同調光源與分光器之射入縫之間的預定位置。第二雙縫係含有屬於第一雙縫之複製品(replica)的開口對，且在第二狀態下以將樣本(sample)保持於前述開口對之一方的開口的狀態於預定位置與第一雙縫置換地配置。演算處理裝置係根據在第一狀態下同調光之高諧波形成於影像感測器的第一干涉像與在第二狀態下高諧波形成於影像感測器的第二干涉像而計算樣本之光學常數。

【0012】 此外，以上之構成要件的任意組合，將本發明之表現在裝置、方法、系統等之間變換仍作為本發明之態樣而言為有效。

[發明功效]

【0013】 依據本發明，可將基於高諧波之干涉計的精度較以往提升，且可實現與基於放射光之干涉計同等以上之精度。

【圖式簡單說明】

【0014】

[圖1]係說明以雙縫而行的折射率之測定原理的圖。

[圖2]係顯示實施形態的光學常數測定裝置的圖。

[圖3]係顯示高次高諧波發生之光譜的圖。

[圖4]係說明根據一維菲涅耳繞射模型的干涉像之形成的圖。

[圖5]係顯示用於實驗的光學常數測定裝置的圖。

[圖6]中，(a)、(b)係顯示從波長650nm之基本波獲得的39次高諧波之干涉像之訊號強度的圖。

[圖7]係顯示藉由實驗而得的 θ 以及L的圖。

[圖8]係顯示藉由實驗而得的折射率的圖。

[圖9]係顯示Al/Zr多層膜鏡之反射率的計算結果的圖。

【實施方式】

【0015】 (實施形態之概要)

說明本揭示之數個例示性的實施形態之概要。該概要係作為後述的詳細說明之前言，以對實施形態之基本理解為目的而將一個或複數個實施形態之數個概念簡略化說明，而非用以限定發明或揭示之廣度。另外，該概要並非可推想的全部實施形態之包括性的概要，亦非用以限定實施形態之不可欠的構成要

件。為求方便，存在有用「一實施形態」作為指稱本說明書所揭示的一個實施形態(實施例、變形例)或複數個實施形態(實施例、變形例)的情形。

【0016】 一實施形態的光學常數測定裝置係具備：同調光源，係輸出同調光，前述同調光包含有將短脈衝雷射光照射至非線形媒介而獲得的高次高諧波；分光器，係包含繞射光柵以及影像感測器，前述繞射光柵係將同調光繞射，前述影像感測器係攝影藉由繞射光柵而繞射的光；第一雙縫，係含有於第一方向分開的開口對，且在第一狀態下配置於同調光源與分光器之射入縫之間的預定位置；第二雙縫，係含有屬於第一雙縫之複製品的開口對，且在第二狀態下以將樣本保持於前述開口對之一方的開口的狀態於預定位置與第一雙縫置換地配置；以及演算處理裝置，係根據在第一狀態下同調光之高諧波形成於影像感測器的第一干涉像與在第二狀態下高諧波形成於影像感測器的第二干涉像而計算樣本之光學常數。

【0017】 於第一狀態下測定無樣本的雙縫之干涉像，於第二狀態下測定有樣本的雙縫之干涉像，利用兩個干涉像而可藉此定量地取得樣本之光學常數。

【0018】 又，於本揭示中，「光學常數」雖典型而言係指折射率，更詳細而言係指複折射率，但不限於此，亦包含折射率為已知的材料之厚度、非透明材料之透過率等。

【0019】 於一實施形態中，亦可為光學常數測定裝置係使用參數而模型化。根據光學常數測定裝置之模型可將雙縫之干涉像模型化，以與測定的干涉像整合的方式將模型之參數最佳化，藉此可定量地取得樣本之光學常數與內包有光學常數測定裝置之誤差的參數。

【0020】亦可為演算處理裝置係根據光學常數測定裝置之模型而藉由一維菲涅耳繞射之式計算在第一狀態以及第二狀態下形成於影像感測器上的強度分布，以使計算出的強度分布接近第一干涉像以及第二干涉像的方式取得模型之參數以及樣本之光學常數。

【0021】藉由將高次高諧波之雙縫干涉像模型化，而可將光學常數作為模型函數之參數而定量地評價。另外，亦可將觀測值之統計上的不確定量藉由實測而定量化，以使光學常數之不確定量成為最小的方式將雙縫之設計最佳化。

【0022】亦可為第一雙縫以及第二雙縫之開口係使用誤差函數模型化。藉此，相較於將開口以步驟(step)函數模型化的情形，可將奈奎斯特(Nyquist)頻率以上之高頻成分剔除。

【0023】亦可為第一干涉像以及第二干涉像係作為同調光之複數次照射的累計而獲得，往第一雙縫以及第二雙縫的射入波之波面的函數係作為函數之中心位置以常態分布(normal distribution)分散而運用。

【0024】於一實施形態中，亦可為第一雙縫與第二雙縫係於與第一方向垂直的第二方向連續形成，光學常數測定裝置係進一步具備使第一雙縫以及第二雙縫於第二方向偏移的臺座(stage)。

【0025】於一實施形態中，亦可為同調光源係包含光參數放大器，短脈衝雷射光之波長為可變。依據該構成，成為可藉由基本波之波長的最佳化與高次高諧波之次數的組合而可用EUV區域之任意波長獲得干涉像。

【0026】於一實施形態中，亦可為同調光源係包含：主光源，係發生短脈衝雷射光；氣體噴嘴，係噴射屬於非線形媒介的氣體；聚光光學系統，係將

短脈衝雷射光聚光至氣體；以及穩定化裝置，係監視聚光光學系統中的短脈衝雷射光之平行光與聚光點之兩處中的短脈衝雷射光之位置，控制聚光光學系統之光學元件的機械狀態。藉此，可穩定化光束指向性(**beam pointing**)且可減少測定系統之不確定性。

【0027】 本揭示之一實施形態係光學常數的測定方法。該光學常數的測定方法係具備：將短脈衝雷射光照射至非線形媒介而生成包含高次高諧波的同調光的步驟；使同調光通過含有於第一方向分開的開口對的第一雙縫，並測定第一干涉像的步驟；使同調光通過含有屬於第一雙縫之複製品的開口對且在前述開口對之一方的開口保持了樣本的第二雙縫，並測定第二干涉像的步驟；以及根據第一干涉像與第二干涉像計算樣本之光學常數的步驟。

【0028】 本揭示之一實施形態係光學常數的計算方法。該光學常數的計算方法係根據藉由測定系統而獲得的第一干涉像以及第二干涉像計算樣本之光學常數；測定系統係具備：同調光源，係輸出同調光，前述同調光包含將短脈衝雷射光照射至非線形媒介而獲得的高次高諧波；分光器，係包含繞射光柵以及影像感測器，前述繞射光柵係將同調光繞射，前述影像感測器係攝影藉由繞射光柵而繞射的光；第一雙縫，係含有於第一方向分開的開口對，且在第一狀態下配置於同調光源與分光器之射入縫之間的預定位置；以及第二雙縫，係含有屬於第一雙縫之複製品的開口對，且在第二狀態下以將樣本保持於開口對之一方的開口的狀態於預定位置與第一雙縫置換地配置。在第一狀態下，同調光之高次高諧波係於影像感測器形成第一干涉像；在第二狀態下，高次高諧波係於影像感測器形成第二干涉像；光學常數的計算方法係具備：規定第一狀態以及第二狀態中的測定系統之模型的步驟；根據一維菲涅耳繞射之式計算第一狀

態之測定系統之模型形成的第一繞射圖案之步驟；根據一維菲涅耳繞射之式計算第二狀態之測定系統之模型形成的第二繞射圖案的步驟；以及以第一繞射圖案接近第一干涉像且第二繞射圖案接近第二干涉像的方式計算測定系統之模型的參數以及樣本之光學常數的步驟。

【0029】 (實施形態)

以下，基於適合的實施形態參照圖式說明本發明。於各圖式所示的相同或同等之構成要件、構件、處理係附加相同符號且適當省略重複的說明。另外，實施形態並非限定發明而僅為例示，於實施形態所記述的全部特徵及其組合並不限於必然屬發明之本質。

【0030】 (複折射率的測定原理)

圖1係說明以雙縫而行的折射率之測定原理的圖。藉由解析雙縫干涉像之形狀而可推定透過兩個縫(雙縫)的電場之光路差與強度比(非專利文獻8)。於單方之縫設置試料(樣本2)的情形之電場之光路差與強度比係由試料之折射率與厚度決定。因此，可從推定的兩個參數亦即相位 θ 與電場強度比 L 藉由以下之式(1)而直接求得試料之複折射率。

【0031】 [數學式1]

$$\theta = 2\pi\sigma d/\lambda, L = \exp(-2\pi d\beta/\lambda) \quad \cdots(1)$$

【0032】 在此， d 為樣本2之膜厚， λ 為波長，折射率 $N=1-\sigma+i\beta$ 。

【0033】 但是，推定相位 θ 與電場強度比 L 而計算複折射率的手法在精度之點上難稱充分而仍有改善餘地。在此，本實施形態中，係如後所述地根據與上述不同的另一解析手法而計算複折射率。

【0034】 (測定裝置)

圖2係顯示實施形態的光學常數測定裝置100的圖。由光學常數測定裝置100而行的測定係在第一狀態 φ 1與第二狀態 φ 2之二狀態下進行。光學常數測定裝置100係主要具備：同調光源110、分光器130、第一雙縫150、第二雙縫152以及演算處理裝置。

【0035】 為了干涉實驗而要求具有高同調性的光源。本實施形態中，藉由採用基於雷射之高次高諧波作為光源而設為空間同調性高的光源。同調光源110係將短脈衝雷射光S0照射至非線形媒介，且將包含其結果所得的高次高諧波的同調光S1輸出。非線形媒介4可由在欲測定複折射率的波長中可獲得高輝度之高次高諧波的元素中選擇，例如可從稀有氣體(氦(He)、氖(Ne)、氬(Ar)、氪(Kr)、氙(Xe))之中選擇。

【0036】 圖3係顯示高次高諧波發生(High-order Harmonic Generation；亦稱為HHG)之光譜的圖。高次高諧波係在基本波之奇數倍之能量具有峰值，且遍及廣帶域地強度與次數無關地成為一定(亦稱為高原(plateau)區域)。為了進行活用了廣帶域的測定而將干涉光藉由繞射光柵繞射，於影像感測器(例如二維CCD(charge coupled device；電荷耦合器件)攝影機)成像而藉此進行干涉像之分光。藉由將基本波之波長設為可變而可用EUV區域之任意波長進行折射率測定。

【0037】 回到圖2。分光器130係包含繞射光柵132、影像感測器134、射入縫136、濾光器(filter)138等。繞射光柵132係使同調光S1繞射。影像感測器134係攝影藉由繞射光柵132而繞射的光。濾光器138係將通過射入縫136的光之

中的基本波成分去除且使高諧波成分通過。濾光器138係例如可使用鋁薄膜(鋁濾光器)。

【0038】第一雙縫150係具有於第一方向(圖中的鉛直方向Y)分開的一對縫(開口對)。第一雙縫150係於第一狀態 $\varphi 1$ 下配置於同調光源110與分光器130之射入縫136之間的預定位置。

【0039】於第一狀態 $\varphi 1$ 下，第一雙縫150係藉由作用於同調光S1之高諧波而在影像感測器134上形成第一干涉像300。干涉像係於每個高諧波之次數形成。

【0040】第二雙縫152係具有開口對。前述開口對係具有與第一雙縫150之開口對相同形狀、相同尺寸的複製品。第二雙縫152係在第二狀態 $\varphi 2$ 下以將樣本2保持於開口對之一方的開口的狀態於預定位置與第一雙縫150置換地配置。

【0041】於第二狀態 $\varphi 2$ 下，保持樣本2的第二雙縫152係藉由作用於同調光S1之高諧波而在影像感測器134上形成第二干涉像302。

【0042】較佳為第一雙縫150與第二雙縫152係於與第一方向Y垂直的第二方向X連續且一體地形成。將此稱為樣本保持件160。藉由將第一雙縫150與第二雙縫152一體形成，而可減低第一狀態 $\varphi 1$ 與第二狀態 $\varphi 2$ 中的開口之位置偏離。較佳為樣本保持件160係可藉由可動臺座170而於第二方向X定位。

【0043】演算處理裝置係根據在第一狀態下測定的第一干涉像300與在第二狀態下測定的第二干涉像302而計算樣本2之複折射率。

【0044】 光學常數測定裝置100係使用參數而模型化。參數亦可包含變數(未知之值)與常數(已知之值)。亦可為將誤差要因大的參數作為變數運用，將誤差可無視的參數作為常數運用。

【0045】 演算處理裝置係根據光學常數測定裝置100之模型藉由一維菲涅耳繞射之式而計算在第一狀態以及第二狀態下形成於影像感測器134上的干涉像之強度分布。

【0046】 圖4係根據一維菲涅耳繞射模型而說明干涉像之形成的圖。 $I(x)$ 係屬於螢幕的影像感測器134之感測器面之強度分布。該例中，光學常數測定裝置100係以(i)射入雙縫的同調光之波面、(ii)第一雙縫150、第二雙縫152、(iii)第一雙縫150、第二雙縫152與繞射光柵132之間的自由空間180、(iv)繞射光柵132、(v)繞射光柵132與影像感測器134之間的自由空間182作為要件而模型化。

【0047】 (i)函數 $g(\xi)$ 係表示波面的模型。

(ii)函數 $f(\xi)$ 係表示雙縫之開口的模型。

(iv)函數 $W(\rho)$ 係表示繞射光柵132的模型。

自由空間180、182係可作為一般的自由空間之傳播運用。

ξ 係表示雙縫中的縱方向之位置的獨立變數。

ρ 係表示繞射光柵中的縱方向之位置的獨立變數。

x 係表示影像感測器之感測器面中的縱方向之位置的獨立變數。

樣本2之複折射率係可用內包於雙縫之模型 $f(\xi)$ 的形式表示。具體而言，第一狀態 $\varphi 1$ 之模型 $f(\xi)$ 係不依存於樣本2，第二狀態 $\varphi 2$ 之模型 $f(\xi)$ 係包含樣本2之複折射率。

【0048】 演算處理裝置係以使根據第一狀態 $\varphi 1$ 之模型計算的干涉像之強度分布接近第一干涉像300且根據第二狀態 $\varphi 2$ 之模型計算的干涉像之強度分布接近第二干涉像302的方式取得模型之參數以及樣本2之複折射率。

【0049】 以上為光學常數測定裝置100之構成。

【0050】 (實驗)

說明光學常數測定裝置100之實驗結果。

【0051】 圖5係顯示用於實驗的光學常數測定裝置100的圖。

【0052】 [同調光源110]

同調光源110係由主光源112以及光參數放大器(Optical parametric amplifier)114所構成。作為主光源112係使用了將鎖模鈦藍寶石雷射(mode-locked Ti Sapphire laser)再生放大的COHERENT公司之Legend Elite Duo(5kHz,2.2mJ)。作為光參數放大器114係使用Light conversion公司的Topas prime以及NirUVis，將從上述取出的訊號光之第二高諧波作為屬於發生高次高諧波之基本波的短脈衝雷射光S0而使用。波長係640nm至670nm之13波長。當以FC spider測定時，脈衝寬度為25fs。依據該構成，成為可藉由基本波(短脈衝雷射光S0)之波長的最佳化與高次高諧波之次數的組合而可用EUV區域之任意波長獲得干涉像。

【0053】 作為發生高諧波之非線形媒介4係使用氖(Neon)氣體。於同調光源110與非線形媒介4之間係構成有聚光光學系統116。直徑25mm之基本波係藉由聚光光學系統116而聚光至由位於真空腔室102內的直徑200 μm 之氣體噴嘴104噴出的氖氣體。聚光光學系統116係主要包含 $f=300\text{mm}$ 之鏡118。基本波之聚光尺寸係估計為約8 μm 。從氖氣體發生的高次高諧波係與基本波同軸地傳播

且到達第一雙縫150、第二雙縫152。由於照射至第一雙縫150、第二雙縫152的高次高諧波之同調性為充分高，故通過第一雙縫150、第二雙縫152的波面係一邊於圖2之 X_0 方向(鉛直方向)干涉一邊與射入波面之指向向量同軸地傳播。

【0054】 實驗中，作為繞射光柵132而使用了環形光柵(toroidal grating)。通過分光器130的射入縫136的高諧波係到達環形光柵並繞射至圖2之CCD攝影機之X軸方向。以分光器130之射入縫136中的干涉像被環形光柵依每次數分光並且成像於CCD攝影機上的方式配置。使用的CCD攝影機為Andor DO940P BN，環形光柵為HORIBA JOBIN YVON 541 00 200。波長校正係使用McPHERSON之Model 629。

【0055】 由於包含了第一雙縫150、第二雙縫152的樣本保持件160係可藉由可動臺座170移動，故可一邊發生高諧波一邊將兩方空開之雙縫(第一雙縫150)與於單方貼附有樣本2的雙縫(第二雙縫152)切換。

【0056】 於實驗中，對於一個基本波波長係針對兩方空開之第一雙縫150與設置了樣本2的第二雙縫152各進行一次干涉測定。於每一次測定單位係進行與 1×10^6 脈衝之累計相當的200秒累計。如後所述，基本波之光路的漂移(drift)係成為推定的相位偏移之系統誤差的要因，故藉由主動控制而將光路之漂移抑制於最小限度。

【0057】 [樣本2]

樣本為鋁薄膜，係從Luxel購買。膜厚為 $156 \pm 5 \text{ nm}$ 。在存在有氧化膜的情形，樣本之折射率係作為有效折射率而顯現。當以橢圓偏光儀(ellipsometer)評價時可知存在有單面10nm之氧化膜。在此，藉由氬濺鍍而於表裏個別去除氧化膜。去除後係於不存在有氧的環境(分壓100Pa以下)保持並運用，進行實驗。實

驗後之氧化膜的膜厚係表裏合計為6.5nm。藉由以上可推想為鋁膜厚134.5±5nm、氧化膜厚6.5nm之樣本。

【0058】聚光光學系統116、氣體噴嘴104、樣本保持件160係配置於與分光器130連結的真空腔室102內。分光器130以及真空腔室102內係藉由泵而保持為真空。

【0059】 [實驗結果]

CCD攝影機係具有橫(Y)縱(X)=2048x512像素(pixel)之畫素數。將成像於該二維CCD光柵的高諧波之干涉像藉由以下之操作而變換為依各次數之一維干涉像。各次數之高諧波的CCD面上之Y₂方向的寬度係因波長寬度以及分光器之裝置函數故具有有限之值(FWHM(Full Width at Half Maximum；半峰全寬)=9像素)。著眼於此，為了得到次數之強度而將成為峰值強度的位置作為中心而積分15像素分之訊號強度，將其值作為各次數之訊號強度。

【0060】圖6中的(a)、(b)係顯示從波長650nm之基本波獲得的39次高諧波之干涉像的訊號強度。橫軸係表示二維CCD攝影機之Y軸上的位置。圖6中的(a)係第一狀態 φ_1 下獲得的第一雙縫150之干涉像300，圖6中的(b)係第二狀態 φ_2 下獲得的第二雙縫152之干涉像302。圖6中的(a)、(b)間，兩個干涉像300、302之邊緣位置與明暗度變化。圖6中的(a)、(b)中，圓的描點係顯示測定的干涉像，實線之描點係顯示從計算獲得的干涉像。

【0061】 [解析]

檢討了用以評價隨著從干涉像之形狀透過樣本2時的光路長之變化而生的相位變化與電場之衰減率的解析。解析干涉像之條紋圖案(fringe pattern)時因簡便而多使用傅立葉變換法(非專利文獻31)。該解析係將著眼的頻率成分之各點

中的相位抽出的手法。但相位項並不僅是透過樣本所致的光路差，就連縫開口之幾何學的形狀、配置亦有貢獻。因此，為了評價光路差，必須先使各成分對相位之貢獻明瞭。但在開口與螢幕之間插入有透鏡等之光學系統的情形、或光源之波面無法視為平面波的情形中，難以僅用傅立葉變換法而使詳細明瞭。另外，傅立葉變換法在欲求得相位以外之參數的情形並非適合的方法。

【0062】 在此，本實施形態中，為了明瞭光路差之貢獻而使用了一維菲涅耳繞射評價開口之幾何學的大小、位置、透鏡所致的像差、射入波如何影響干涉像。數學式(2)係顯示了使用了屬於近軸近似的一維菲涅耳繞射表示干涉像之形狀的式子。

[數學式2]

$$I(x_2) = A \left| \int \int g(x_0) f(x_0) e^{i\pi \frac{(x_0 - x_1)^2}{z_{01}\lambda}} e^{iW(x_1)} e^{i\pi \frac{(x_1 - x_2)^2}{z_{12}\lambda}} dx_0 dx_1 \right|^2 \quad \cdots (2)$$

【0063】 x_0 ：表示雙縫平面中的X方向之位置的獨立變數。

x_1 ：表示光柵平面中的X方向之位置的獨立變數。

x_2 ：表示CCD陣列上的X方向之位置的獨立變數。

λ ：波長。

$I(x_2)$ ：CCD陣列上之各 x_2 位置中的CCD A/D(Analog-to-Digital；類比轉數位)訊號強度。

$g(x_0)$ ：雙縫面中的高諧波(射入波)之波面。

$f(x_0)$ ：雙縫之開口函數。

$W(x_1)$ ：藉由環形光柵而施加的相位。

【0064】 Z_{01} 係雙縫面至光柵面為止之距離而為0.72m。 Z_{12} 係光柵面至CCD陣列之攝影面(螢幕面)為止之距離而為0.3m，這些係作為常數運用。

【0065】 開有縫的場所為透過率100%，未開有縫的場所則為0%。因此，開口函數 $f(x_0)$ 係理想而言可表示為於開口之交界具有0與1之不連續點的階梯函數。

【0066】 用於實驗的雙縫係具有寬度 $20\ \mu\text{m}$ 之開口。由於聚焦離子束(Focused Ion Beam；亦可稱為FIB)加工存在有加工誤差，故縫寬度與間隔之正確的值不作為常數運用而是作為變數運用，將由數學式(2)而得的干涉像之計算值係採用最良好一致於藉由測定所得的觀測值(300、302)的值。另外，為了將奈奎斯特頻率以上之高頻成分剔除而將開口函數 $f(x_0)$ 以具有寬度 $1\ \mu\text{m}$ 的誤差函數置換。

【0067】 由於可推想高諧波光源之尺寸為 $10\ \mu\text{m}$ 以下，故從光源遠離44cm的第一雙縫150、第二雙縫152之開口中的電場強度係一樣地分布。藉由范西特-澤尼克定理(Van Cittert-Zernike Theorem)可將雙縫開口內之高諧波之空間同調性視為100% (非專利文獻32)。

【0068】 接下來，為了驗證光譜寬度變廣對於干涉像之影響而進行了線寬度之測定。結果可知影響係狹窄至可無視的程度。由線寬度所致的能見度之降低係可無視。

【0069】 同時地監視了在屬於高諧波之非線形媒介4的氬氣聚光的基本波之指向性與干涉像之相位時，確認了有明確的相關且具有 $0.8\text{mrad}/\mu\text{m}$ 之關係。聚光位置係以最大速度 $4\ \mu\text{m}/\text{min}$ 漂移。該情形中，於1測定200秒之測定間會產

生10mrad左右之誤差。為了去除來自該漂移之不確定性而用以下之手法抑制漂移。

【0070】 為了光束指向性之穩定化而設置有穩定化裝置120。穩定化裝置120係監視聚光光學系統116中的短脈衝雷射光之平行光與聚光點之兩處中的短脈衝雷射光之位置，控制聚光光學系統116之光學元件的機械狀態。具體而言，使用位置檢測元件PSD1、PSD2而在平行光與聚光點之合計兩處監視基本波(短脈衝雷射光S0)之位置。然後，與鏡118一起構成聚光光學系統116的兩片鏡保持件124、126係被壓電致動器控制，藉此進行了兩個位置檢測元件中的穩定化。於聚光位置中， 1×10^6 脈衝平均將聚光位置穩定化至 $0.1 \mu\text{m}$ 以下。藉由穩定化而可將來自基本波之聚光位置之漂移的相位之系統誤差抑制於0.08mrad以下。

【0071】 另一方面，於該穩定化手法中，無法控制以200微秒(μs)間隔到達的相鄰的脈衝間之搖動。在此，假設 1×10^6 個之聚光位置亦即波面g之中心係具有標準偏差 P_σ 且常態分布。將常態分布用以下之級數近似。但是級數之數量設為計算成本最少的9($M=4$)。藉此，數學式(2)係可修正為如以下之數學式(3)。

[數學式3]

$$I(x_2) = A \sum_{m=-M}^M \exp\left(-\frac{2m^2}{M^2}\right) \left| \int \int g(x_0 + 2mP_\sigma / M) f(x_0) e^{i\pi \frac{(x_0-x_1)^2}{z_{01}\lambda}} e^{iW(x_1)} e^{i\pi \frac{(x_1-x_2)^2}{z_{12}\lambda}} dx_0 dx_1 \right|^2 \quad \dots(3)$$

【0072】 為了進行數學式(3)之卡方檢定(chi-square test)而明瞭了CCD A/D訊號之統計上的不確定性。以較外在干擾之時間常數充分短的取樣率以CCD攝

影機測定HHG光(72.8eV)。CCD之A/D訊號的分散係具有對於平均訊號強度傾斜約2之線形成分。亦即此為光子散粒雜訊(photon shot noise)，光子散粒雜訊之標準偏差係若將A/D訊號強度設為I則成為數學式(4)。

[數學式4]

$$\sigma_{shot} = \sqrt{2I} \quad \cdots(4)$$

【0073】 [來自暗電流之雜訊]

CCD攝影機之來自暗電流的雜訊為0.0000175 A/D 計數(counts)/像素/秒(sec)左右。推想為200秒累計之來自暗電流的雜訊係較光子散粒雜訊充分小故在此無視。

【0074】 [讀取雜訊]

CCD攝影機之各元件係存在有讀取雜訊。在50kHz之讀取速度下一像素單位之讀取雜訊為1.21 A/D 計數/像素。如上所述，一點單位之累計係考慮了：對於以相當於峰值強度的位置為中心的15像素進行且訊號係扣除背景而得。

【0075】 將以上納入考慮的各X點單位之A/D訊號強度I之統計誤差係成為數學式(5)。

[數學式5]

$$\sigma_{stat} = \sqrt{2I + 1.21^2 \times 30} \quad \cdots(5)$$

【0076】 首先，將射入波面g想定為最單純的平面波，將在環形面中施加的相位以數學式(6)假設。

[數學式6]

$$W(x_1) = -\pi x_1^2 / f\lambda \quad \dots(6)$$

在此，f為沿著零次繞射光之光軸的環形面之焦點距離而為0.3m。進行卡方檢定時，可知以不同的波長測定的自由度標準化的 χ_r^2 係分布於10至60。此乃意謂著大幅超過統計誤差的不一致存在於模型函數與觀測值之間。

【0077】為了消除不一致，再度檢討了射入波面g與環形光柵所致的相位項W。已有報告稱在高斯光束(Gaussian beam)發生的高諧波之波面係可用高斯光束(TEM00模式)良好地表示(非專利文獻33、34)。TEM00模式之表示波面的項之中的對於與傳播方向正交的面內之變化 x_0 變化的成分係具有二次函數之形式。

【0078】波面並非平面波，對於面內之變化 x_0 顯示數學式(7)之依存性。

[數學式7]

$$g(x_0) = \exp(-i\pi \frac{x_0^2}{R\lambda}) \quad \dots(7)$$

由於已知高諧波之腰(waist)位置係具有次數依存性，故將R作為依存於次數的變數運用(非專利文獻33)。

【0079】在各 x_1 點加入由環形光柵所致的相位之變化W，以數學式(8)表示。

[數學式8]

$$W_{\lambda}(x_1) = \frac{2\pi\xi(\lambda)x_1}{z_{12}\lambda} - \frac{\pi x_1^2}{F(\lambda)\lambda} \quad \dots(8)$$

【0080】 第一項係藉由環形光柵加入的波面之傾斜，第二項係藉由環形光柵加入的波面之曲率。 ξ (傾斜)與 F (曲率)係作為依存於波長 λ 的變數而運用。由於光柵之減法運算方式的詳細係被黑箱(black box)化，故在本揭示中不進行關於進一步高次之相位項的考察。

【0081】 將以上之變數以在第一狀態 ϕ 1獲得的干涉像300良好再現的方式最佳化，將兩方空開之雙縫的干涉像之形狀藉由最小平方法計算的結果係在圖6的(a)中以實線顯示。可知計算結果與測定結果係在動態範圍(dynamic range)顯示2位數以上之一致。擬合參數(fitting parameter)係 (A, ξ, F, R) 以及光源之波動 P_{σ} 。藉由上述改善， χ_r^2 係成為分布於1.6至6.4。

【0082】 接下來，將在單側之縫設置了樣本2的第二狀態 ϕ 2下獲得的干涉像302使用數學式(2)評價。設置了樣本2的縫之開口函數係使用電場透過率 L 與相位差 θ 乘算 $L \exp(i\theta)$ 之項。可知在此亦於動態範圍顯示2位數以上的一致。但是，像差以及射入波面係使用了在第一狀態 ϕ 1之測定以及解析下獲得的值。擬合參數係 (A, L, θ) 以及光源之波動 P_{σ} 。

【0083】 [系統誤差]

雖藉由擬合模型之改善而使 χ_r^2 收斂於1.6至6.4左右，但調查了殘差分布時發現了存在有系統性之特徵。此種並非隨機的系統性之殘差將作為系統誤差而貢獻至參數之不確定性。在此，將系統性之殘差的均方根= O_{rms} 作為測定量與模型之間的系統誤差而運用(非專利文獻35)。另外使其分布近似於具有標準偏

差 O_{rms} 的常態分布(非專利文獻36)。可從系統誤差推定的相位 θ 之不確定性係成為 $\Delta \theta_{syst} = 8\text{mrad}$ 。但是，於本揭示中求得的不確定性係全部相當於68%信賴區間。統計上的不確定性 $\Delta \theta_{stat}$ 之信賴區間為68%。將全部的不確定性設為 $\Delta \theta_{syst}$ 與 $\Delta \theta_{stat}$ 之平方和的平方根。

【0084】圖7係顯示藉由實驗而得的 θ 以及L的圖。可觀測到於72.8eV附近具有峰值的明確構造，此乃顯示鋁之L端。接下來，可藉由以下之數學式(9)而求得折射率。

【0085】 [數學式9]

$$\sigma = \theta \lambda / 2\pi d, \beta = -\ln(L) \lambda / 2\pi d \quad \cdots(9)$$

【0086】由於氧化膜係折射率大為不同，故氧化膜的存在將給折射率帶來大的不確定性。使用文獻值而藉由以下之數學式(10)估計了表裏合計存在有6.5nm的氧化膜所具有的相位偏移之貢獻。

【0087】 [數學式10]

$$\begin{aligned} \sigma_{Al} &= (\theta \lambda / 2\pi - \sigma_{Al_2O_3} d_{Al_2O_3}) / (d - d_{Al_2O_3}) \\ \beta_{Al} &= (-\ln(L) \lambda / 2\pi - \beta_{Al_2O_3} d_{Al_2O_3}) / (d - d_{Al_2O_3}) \end{aligned} \quad \cdots(10)$$

【0088】在此，當將氧化膜之折射率以數學式(11)表示時，可獲得 $d_{Al_2O_3} = 6.5\text{nm}$ ， $d = 141\text{nm} \pm 5\text{nm}$ 。

[數學式11]

$$N = 1 - \sigma_{Al_2O_3} + i\beta_{Al_2O_3} \quad \cdots(11)$$

【0089】圖8係顯示藉由實驗而得的折射率的圖。於誤差槓(error bar；亦即圖8中的「工」字形符號)中，於 θ 以及L之不確定性貢獻有膜厚之不確定性。於圖8中，除了藉由光學常數測定裝置100而獲得的誤差槓之描點之外還加上了過去有報告的折射率。雖實數部分、虛數部分皆在L端之周圍的能量與Birken(非專利文獻7)一致，但與CXRO(The Center for X-ray Optics；X射線光學中心)之資料庫和Chang(非專利文獻8)之結果不一致。另外L端以下之能量中以Gullikson(非專利文獻9)而得的虛數部分之結果與誤差槓之範圍一致。Chang之結果不同乃是因分散測定之不定性所致。

【0090】圖9係顯示Al/Zr多層膜鏡之反射率的計算結果的圖。針對Zr係使用CXRO之值，針對Al則使用藉由光學常數測定裝置100而得的Al之光學常數與CXRO之值。若以今次所得的光學常數設計多層膜鏡，則可確認到 $5\pm 1\%$ 左右的有意義的不同。

【0091】以上，說明了實施形態的光學常數測定裝置100。

【0092】歸納而言，藉由將高次高諧波之雙縫干涉像模型化，而將複折射率作為模型函數之參數而定量地評價。將觀測值之統計上的不確定量藉由實測而定量化，將雙縫之設計以複折射率的不確定量成為最小的方式最佳化。

【0093】調查了系統誤差之要因，評價了這些要因給予複折射率的影響。構築了用以使屬於系統誤差主要因的光束指向性之漂移最小化之實驗系統。

【0094】63ev至78ev之範圍中的鋁之折射率的測定結果係實數部分、虛數部分皆在L端之周圍的能量與Birken一致，但與CXRO、Chang之結果不一致。另外在L端以下之能量則與由Gullikson而得的虛數部分之結果一致。

【0095】 作為EUV之折射率評價而初次定量地評價了誤差。從干涉像之形狀解析推定的相位偏移之檢測錯誤係成為在L端以下為9mrad，在較L端高能量則為13mrad左右。作為高次高諧波基礎之雙縫干涉計而言提升了2位數精度。

【0096】 由於複折射率分散之決定精度有2位數的提升，故成為可將多層膜鏡之反射率在 $\pm 1\%$ 以內評價。

【0097】 由於製作了滿足EUV區域之光學元件設計精度的桌上型(table top)的光學常數測定裝置，故成為可容易地進行各種各樣的光學材料之探索。

【0098】 依據該成果，可期望應用在EUV微影之光學元件之中的光相位之控制成為重要的遮罩元件等之材料探索、以及天體觀測領域中的EUV成像用之多層膜反射鏡的材料等。

【0099】 以上，依據實施形態而說明了本發明。該實施形態係例示，這些各構成要件、各處理程序之組合可有各種變形例且該種變形例亦屬本發明之範圍乃所屬技術領域中具有通常知識者可理解。以下，說明那樣的變形例。

【0100】 於前面之說明中，雖進行了如以下的二階段之處理，但計算順序不限定於此，前述二階段之處理為：於從與第一干涉像300之擬合中確定了數個參數(A, ξ, F, R, P_σ)後，藉由與第二干涉像302之擬合而計算(A, L, θ, P_σ)。亦可為以使根據數學式(2)而計算的干涉像對於藉由測定而得的兩個干涉像300、302之兩方精度良好地擬合的方式將記述模型的全部參數($A, \xi, F, R, P_\sigma, L, \theta$)一齊最佳化。

【0101】 於再利用樣本保持件160的情形中，亦可為於第2次以後之測定中省略第一干涉像300之測定，僅測定第二干涉像302而計算樣本之光學常數。

【0102】 光學常數測定裝置100之模型(函數)的決定方法不限定於實施形態中所說明的方法，記述波面、雙縫之開口、繞射光柵的函數 $g(\xi)$ 、 $f(\xi)$ 、 $W(\rho)$ 只要以可將實際的測定裝置最精度良好地記述的方式決定即可。

[產業可利用性]

【0103】 本發明係有關於複折射率等之光學常數之測定技術。

【符號說明】

【0104】

2:樣本

4:非線形媒介

100:光學常數測定裝置

102:真空腔室

104:氣體噴嘴

110:同調光源

112:主光源

114:光參數放大器

116:聚光光學系統

118:鏡

120:穩定化裝置

124,126:鏡保持件

130:分光器

132:繞射光柵

109P001438TW

第 28 頁，共 29 頁(發明說明書)

134:影像感測器

136:射入縫

138:濾光器

150:第一雙縫

152:第二雙縫

160:樣本保持件

170:可動臺座

180,182:自由空間

300:第一干涉像

302:第二干涉像

S0:短脈衝雷射光

S1:同調光

PSD1,PSD2:位置檢測元件

φ 1:第一狀態

φ 2:第二狀態

Y:第一方向

X:第二方向

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種光學常數測定裝置，係具備：

同調光源，係輸出同調光，前述同調光包含將短脈衝雷射光照射至非線形媒介而獲得的高次高諧波；

分光器，係包含繞射光柵以及影像感測器，前述繞射光柵係將前述同調光繞射，前述影像感測器係攝影藉由前述繞射光柵而繞射的光；

第一雙縫，係含有於第一方向分開的開口對，且在第一狀態下配置於前述同調光源與前述分光器之射入縫之間的預定位置；

第二雙縫，係含有屬於前述第一雙縫之複製品的開口對，且在第二狀態下以將樣本保持於前述開口對之一方的開口的狀態於前述預定位置與前述第一雙縫置換地配置；以及

演算處理裝置，係根據在前述第一狀態下前述同調光之前述高次高諧波形成於前述影像感測器的第一干涉像與在前述第二狀態下前述高次高諧波形成於前述影像感測器的第二干涉像而計算前述樣本之光學常數；

前述光學常數測定裝置係使用參數而模型化；

前述演算處理裝置係根據前述光學常數測定裝置之模型而藉由一維菲涅耳繞射之式計算在前述第一狀態以及前述第二狀態下形成於前述影像感測器上的強度分布；

以使計算出的前述第一狀態中的前述強度分布接近前述第一干涉像的方式且以使計算出的前述第二狀態中的前述強度分布接近前述第二干涉像的方式取得前述模型之參數以及前述樣本之光學常數。

【請求項2】 如請求項1所記載之光學常數測定裝置，其中前述光學常數測定裝置係分別使用下述參數而模型化；

x_0 ：表示設置有前述第一雙縫或者前述第二雙縫之雙縫的面中的X方向之位置的獨立變數；

x_1 ：表示前述繞射光柵的面中的X方向之位置的獨立變數；

$g(x_0)$ ：前述雙縫的面中的屬於高諧波的射入波之波面；

$f(x_0)$ ：前述第一雙縫或者前述第二雙縫之開口函數；

$W(x_1)$ ：藉由前述繞射光柵而施加的相位。

【請求項3】 如請求項2所記載之光學常數測定裝置，其中前述演算處理裝置係根據下述式子(2)來計算在前述第一狀態以及前述第二狀態下形成於前述影像感測器上的強度分布 $I(x_2)$ ；

$$I(x_2) = A \left| \int \int g(x_0) f(x_0) e^{i\pi \frac{(x_0 - x_1)^2}{z_{01}\lambda}} e^{iW(x_1)} e^{i\pi \frac{(x_1 - x_2)^2}{z_{12}\lambda}} dx_0 dx_1 \right|^2 \quad \cdots(2)$$

其中，

x_2 ：表示前述影像感測器上的X方向之位置的獨立變數；

z_{01} ：前述雙縫的面至前述繞射光柵的面為止之距離；

z_{12} ：前述繞射光柵的面至前述影像感測器之攝影面為止之距離；

λ ：波長。

【請求項4】 如請求項2所記載之光學常數測定裝置，其中前述第一雙縫以及前述第二雙縫之前述開口函數 $f(x_0)$ 係使用誤差函數來模型化。

【請求項5】 如請求項2所記載之光學常數測定裝置，其中前述第一雙縫以及前述第二雙縫之前述開口函數 $f(x_0)$ 係在將相位差設為 θ 時包含 $\exp(i\theta)$ 。

【請求項6】 如請求項2或3所記載之光學常數測定裝置，其中前述第一干涉像以及前述第二干涉像係作為前述同調光之複數次照射的累計而獲得；

往前述第一雙縫以及前述第二雙縫的射入波之前述波面 $g(x_0)$ 的函數係作為函數之中心位置以常態分布分散而模型化。

【請求項7】 如請求項2至5中任一項所記載之光學常數測定裝置，其中前述繞射光柵為環形光柵，並根據下述式子(8)來計算藉由前述繞射光柵而施加的相位 $W(x_1)$ ；

$$W_{\lambda}(x_1) = \frac{2\pi\xi(\lambda)x_1}{z_{12}\lambda} - \frac{\pi x_1^2}{F(\lambda)\lambda} \quad \cdots(8)$$

其中， $\xi(\lambda)$ 為傾斜， $F(\lambda)$ 為曲率。

【請求項8】 如請求項1至5中任一項所記載之光學常數測定裝置，其中前述第一雙縫與前述第二雙縫係於與前述第一方向垂直的第二方向連續形成；

前述光學常數測定裝置係進一步具備使前述第一雙縫以及前述第二雙縫於前述第二方向偏移的臺座。

【請求項9】 如請求項1至5中任一項所記載之光學常數測定裝置，其中前述同調光源係包含光參數放大器，前述短脈衝雷射光之波長為可變。

【請求項10】 如請求項1至5中任一項所記載之光學常數測定裝置，其中前述同調光源係包含：

主光源，係發生前述短脈衝雷射光；

氣體噴嘴，係噴射屬於前述非線形媒介的氣體；

聚光光學系統，係將前述短脈衝雷射光聚光至前述氣體；以及

穩定化裝置，係監視前述聚光光學系統中的前述短脈衝雷射光之平行光與聚光點之兩處中的前述短脈衝雷射光之位置並控制前述聚光光學系統之光學元件的機械狀態。

【請求項11】 一種光學常數的計算方法，係根據藉由測定系統而獲得的第一干涉像以及第二干涉像計算樣本之光學常數；

前述測定系統係具備：

同調光源，係輸出同調光，前述同調光包含將短脈衝雷射光照射至非線形媒介而獲得的高次高諧波；

分光器，係包含繞射光柵以及影像感測器，前述繞射光柵係將前述同調光繞射，前述影像感測器係攝影藉由前述繞射光柵而繞射的光；

第一雙縫，係含有於第一方向分開的開口對，且在第一狀態下配置於前述同調光源與前述分光器之射入縫之間的預定位置；以及

第二雙縫，係含有屬於前述第一雙縫之複製品的開口對，且在第二狀態下以將樣本保持於前述開口對之一方的開口的狀態於前述預定位置與前述第一雙縫置換地配置；

在前述第一狀態下，前述同調光之前述高次高諧波係於前述影像感測器形成前述第一干涉像；

在前述第二狀態下，前述高次高諧波係於前述影像感測器形成前述第二干涉像；

前述光學常數的計算方法係具備：

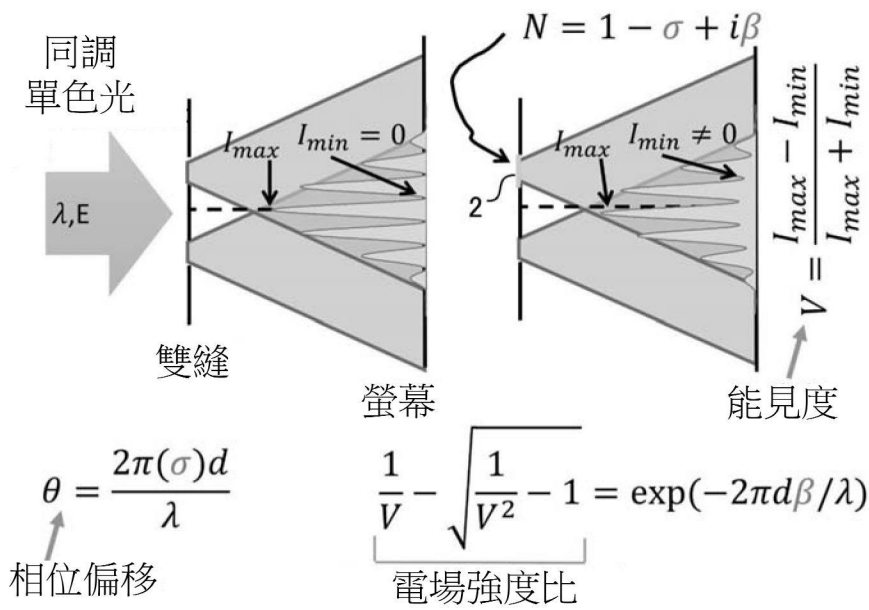
至少將前述繞射光柵、前述第一雙縫以及前述第二雙縫作為參數來規定前述第一狀態以及前述第二狀態各者中的前述測定系統之模型的步驟；

根據一維菲涅耳繞射之式計算前述第一狀態之前述測定系統之模型形成的第一繞射圖案之步驟；

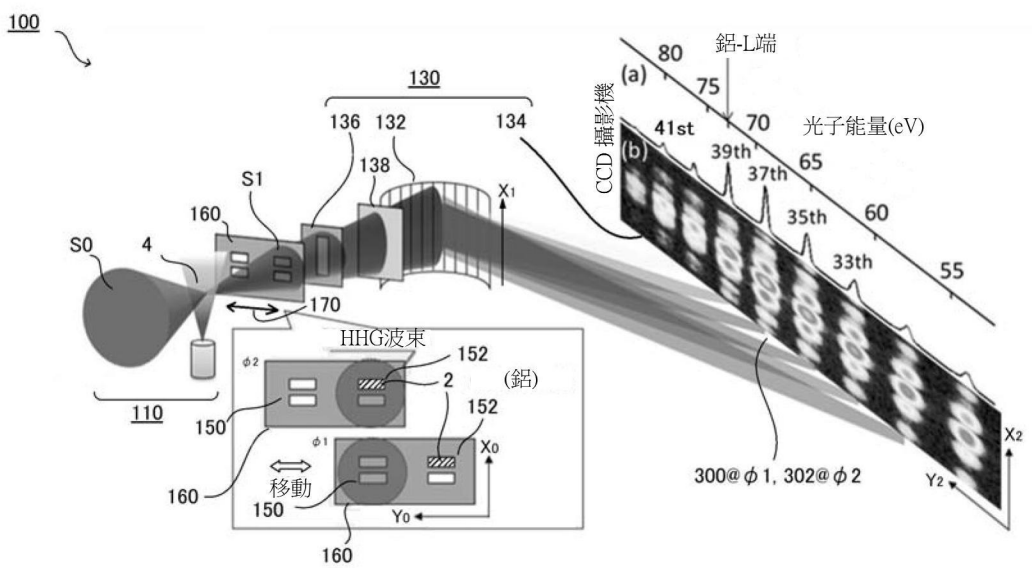
根據一維菲涅耳繞射之式計算前述第二狀態之前述測定系統之模型形成的第二繞射圖案的步驟；以及

以前述第一繞射圖案接近前述第一干涉像且前述第二繞射圖案接近前述第二干涉像的方式計算前述測定系統之模型的參數以及前述樣本之光學常數的步驟。

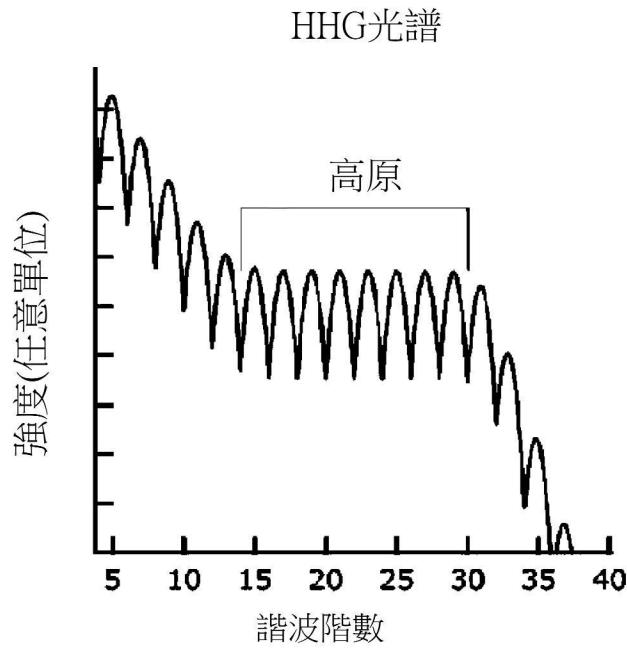
【發明圖式】



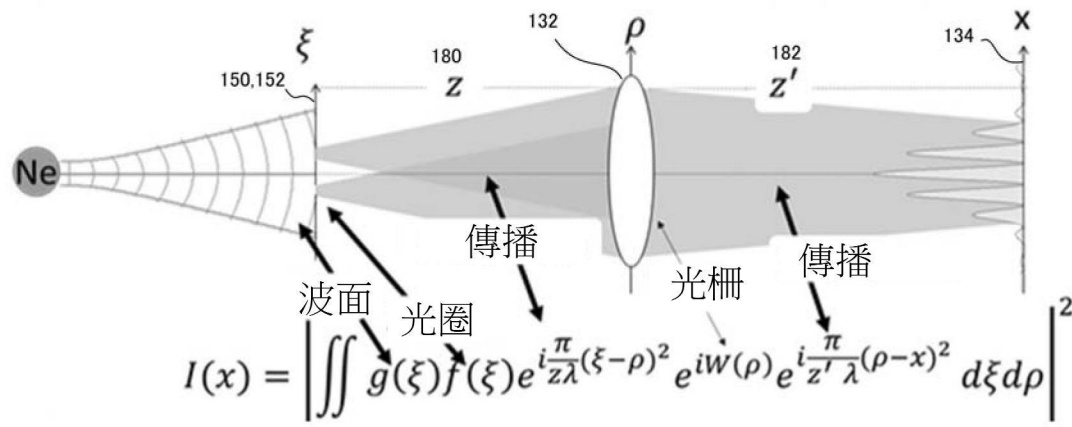
【圖1】



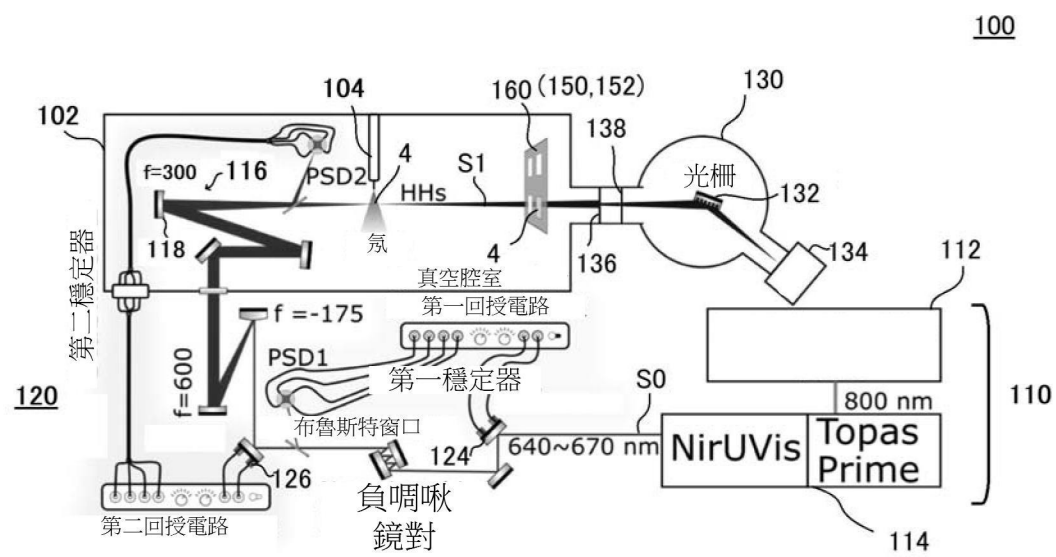
【圖2】



【圖3】

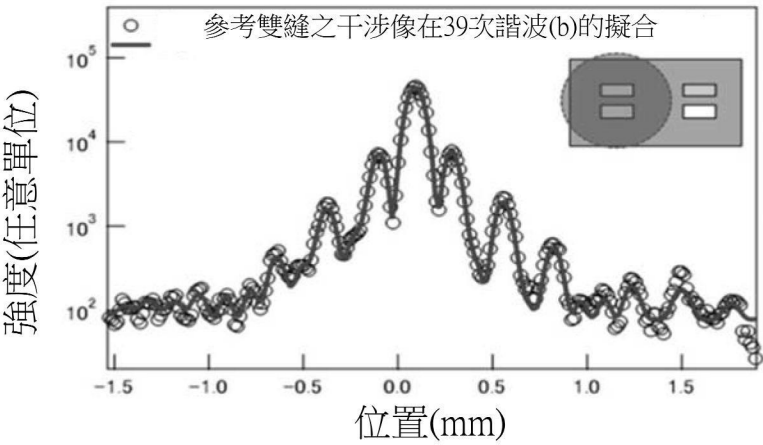


【圖4】



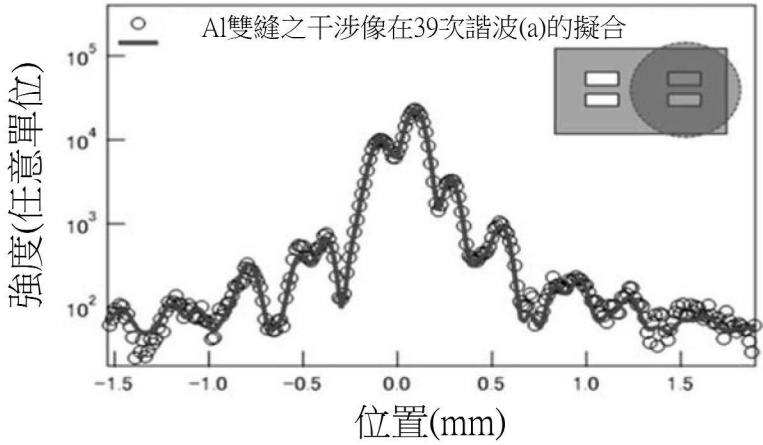
【圖5】

(a)



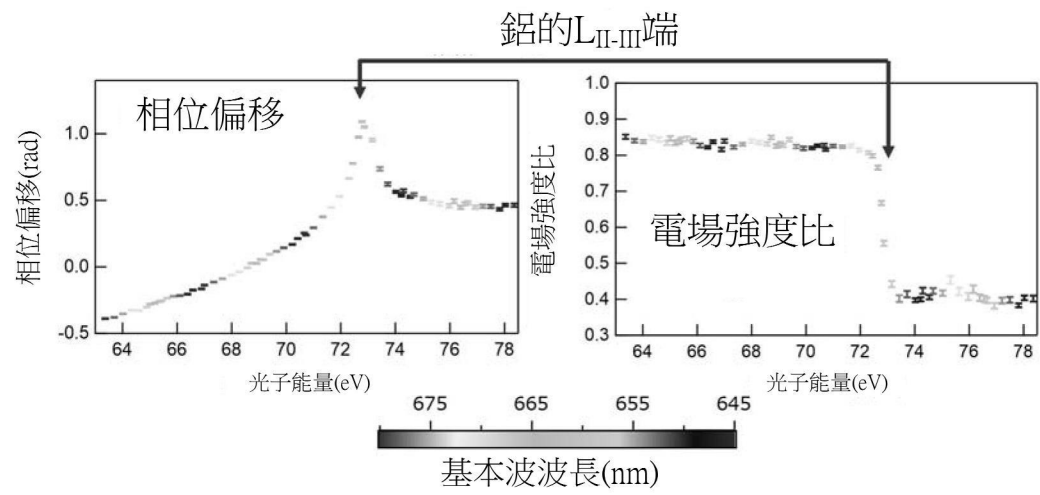
300

(b)



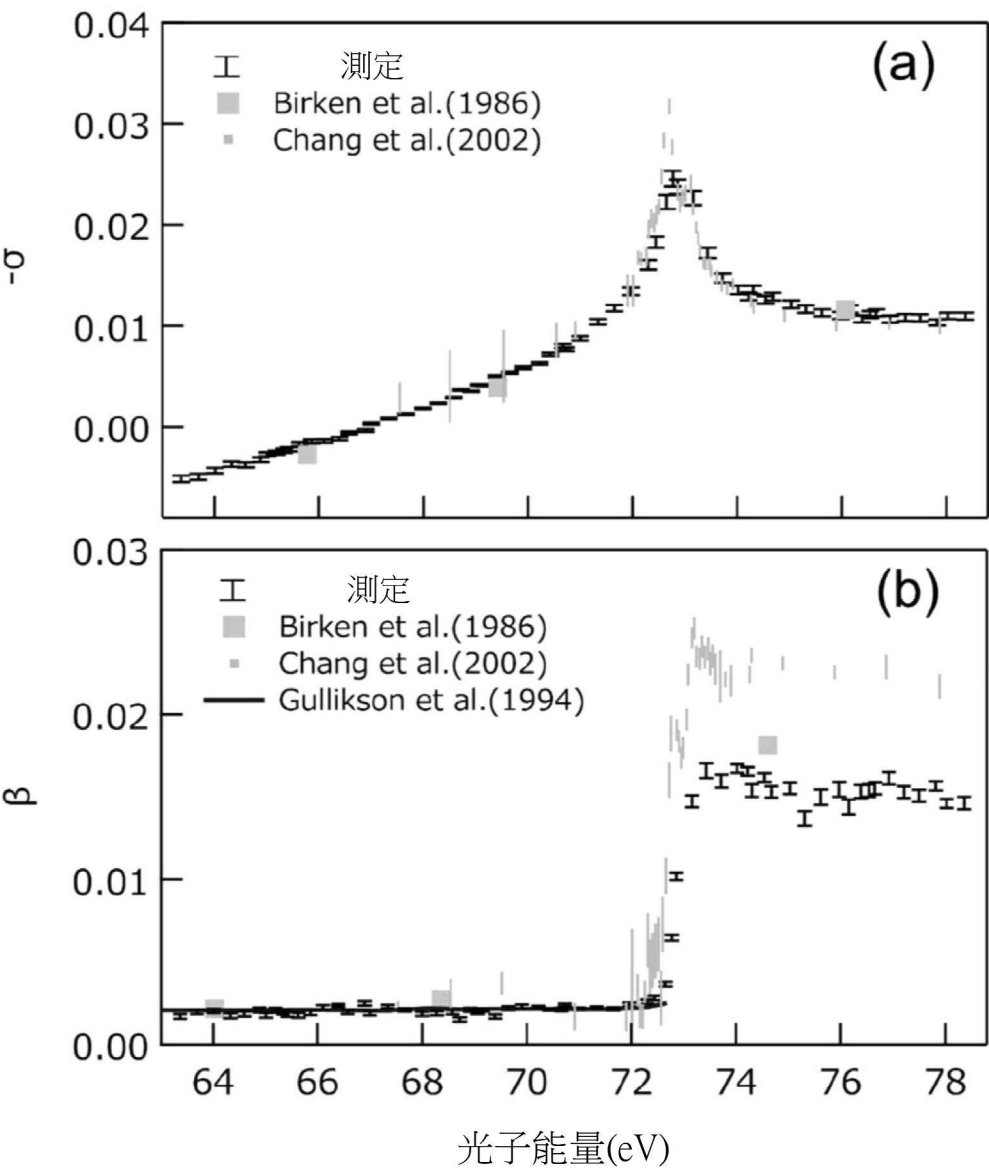
302

【圖6】



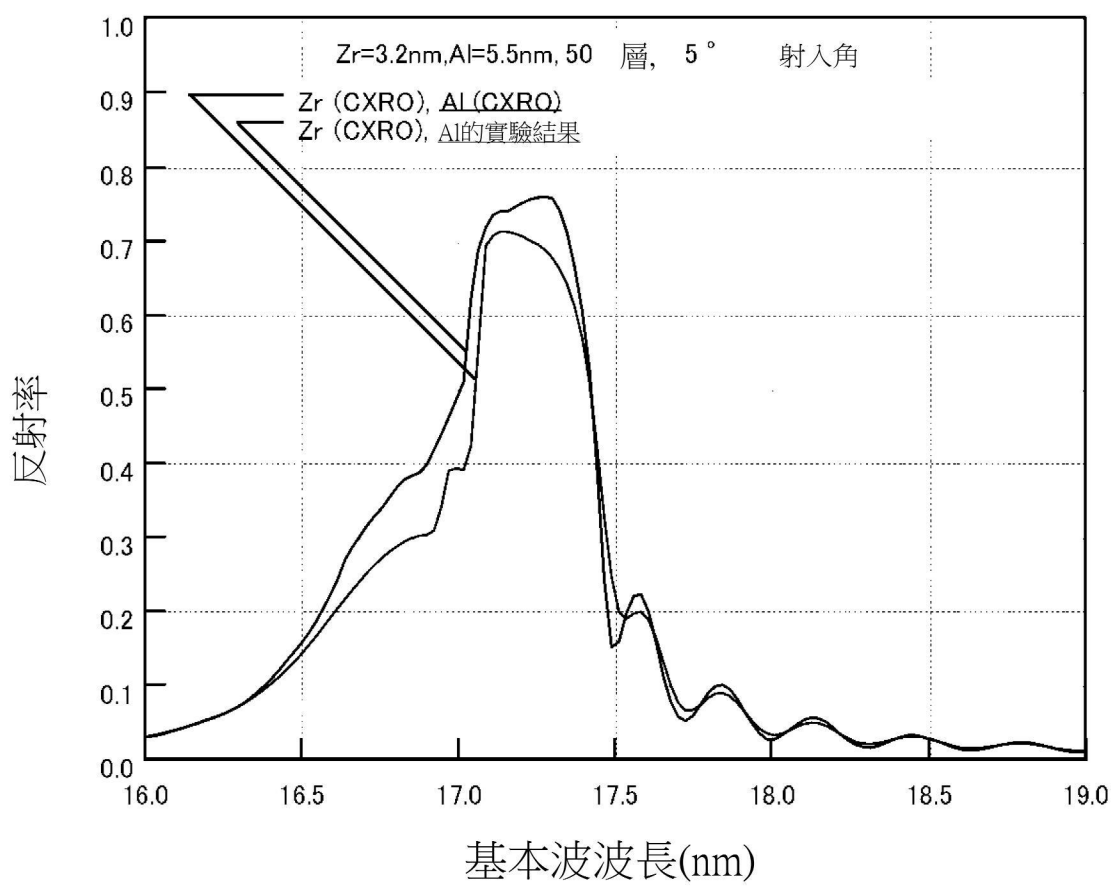
【圖7】

$$N = 1 - \sigma + i\beta$$



【圖8】

Al / Zr多層膜鏡
的計算結果



【圖9】