



(21) 申請案號：113142669

(22) 申請日：中華民國 113 (2024) 年 11 月 07 日

(51) Int. Cl. :

G01N21/65 (2006.01)

G01N21/21 (2006.01)

G01N23/2206(2018.01)

G06F30/27 (2020.01)

G01B11/00 (2006.01)

G01L1/24 (2006.01)

H01L21/66 (2006.01)

H01S3/108 (2006.01)

(30) 優先權：2023/11/08

美國

63/547,849

2024/11/04

美國

18/936,993

(71) 申請人：美商科磊股份有限公司 (美國) KLA CORPORATION (US)

美國

(72) 發明人：舟艾柏 浩山姆 CHOUAIB, HOUSSAM (US)；譚 正泉 TAN, ZHENGQUAN

(US)；蘇貝迪 紹瓦 SUBEDI, SHOVA (NP)；克里許南 桑卡 KRISHNAN,

SHANKAR (US)；王 大衛 Y WANG, DAVID Y. (US)；雪利波瓦 歐雷格

SHULEPOV, OLEG (US)；彼得琳斯 凱文 PETERLINZ, KEVIN (US)；麥柯瓦

那塔莉亞 MALKOVA, NATALIA (US)；胡大為 HU, DAWEI (CN)；伊加圖亞 卡

羅斯 YGARTUA, CARLOS (US)；科爾多瓦 艾斯瓦 CORDOVA, ISVAR (US)；

啟克 艾瑞克 CHEEK, ERIC (US)；薩派 羅曼 SAPPEY, ROMAN (US)；周泓

志 CHOU, ANDERSON (TW)

(74) 代理人：陳長文；呂光；邵而康

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：6 共 32 頁

(54) 名稱

使用多遍次光譜橢圓偏振技術及拉曼聯合量測之電晶體通道應力及遷移率計量

(57) 摘要

使用可在同一系統中執行之多遍次光譜橢圓偏振技術及多波長拉曼光譜來量測一工件。組合此等量測以形成組合量測資料。使用該組合量測資料來判定該工件之一應力量測。可使用一模型或一機器學習演算法來判定該應力量測。

A workpiece is measured using multiple-pass spectroscopic ellipsometry and multi-wavelength Raman spectroscopy, which may be performed in the same system. These measurements are combined to form combined measured data. A stress measurement of the workpiece is determined using the combined measured data. The stress measurement can be determined using a model or a machine learning algorithm.

指定代表圖：

符號簡單說明：

200:方法

201:步驟

202:步驟

203:步驟

204:步驟



【圖5】

【發明摘要】

【中文發明名稱】

使用多遍次光譜橢圓偏振技術及拉曼聯合量測之電晶體通道應力及遷移率計量

【英文發明名稱】

TRANSISTOR CHANNEL STRESS AND MOBILITY METROLOGY USING MULTI-PASS SPECTROSCOPIC ELLIPSOMETRY AND RAMAN JOINT MEASUREMENT

【中文】

使用可在同一系統中執行之多遍次光譜橢圓偏振技術及多波長拉曼光譜來量測一工件。組合此等量測以形成組合量測資料。使用該組合量測資料來判定該工件之一應力量測。可使用一模型或一機器學習演算法來判定該應力量測。

【英文】

A workpiece is measured using multiple-pass spectroscopic ellipsometry and multi-wavelength Raman spectroscopy, which may be performed in the same system. These measurements are combined to form combined measured data. A stress measurement of the workpiece is determined using the combined measured data. The stress measurement can be determined using a model or a machine learning algorithm.

【指定代表圖】

圖5

【代表圖之符號簡單說明】

200: 方法

201: 步驟

202: 步驟

203: 步驟

204: 步驟

【發明說明書】

【中文發明名稱】

使用多遍次光譜橢圓偏振技術及拉曼聯合量測之電晶體通道應力及遷移率計量

【英文發明名稱】

TRANSISTOR CHANNEL STRESS AND MOBILITY METROLOGY USING MULTI-PASS SPECTROSCOPIC ELLIPSOMETRY AND RAMAN JOINT MEASUREMENT

【技術領域】

【0001】 本發明係關於量測一工件(諸如一半導體晶圓)上之一膜堆疊。

【先前技術】

【0002】 半導體製造行業之演進對良率管理及特定言之計量及檢測系統提出更高要求。臨界尺寸不斷縮小，而行業需要減少達成高良率、高價值生產之時間。最小化從偵測到一良率問題至解決其之總時間最大化一半導體製造商之投資報酬率。

【0003】 製造諸如邏輯及記憶體裝置之半導體裝置通常包含使用大量製程處理一半導體晶圓以形成半導體裝置之各種特徵及多個層級。例如，微影術係涉及將一圖案從一倍縮光罩轉印至配置於一半導體晶圓上之一光阻劑之一半導體製造程序。半導體製程之額外實例包含但不限於化學機械拋光(CMP)、蝕刻、沈積及離子植入。在一單一半導體晶圓上製造之多個半導體裝置之一配置可被分離為個別半導體裝置。

【0004】 在半導體製造期間之各種步驟使用檢測程序來偵測工件上

之缺陷以促進製造程序中之更高良率及因此更高利潤。檢測始終係製造諸如積體電路(IC)之半導體裝置之一重要部分。然而，隨著半導體裝置之尺寸減小，檢測對於成功製造可接受半導體裝置變得更加重要，此係因為較小缺陷可導致裝置故障。例如，隨著半導體裝置之尺寸減小，縮小大小之缺陷之偵測已變得必要，此係因為甚至相對小之缺陷亦可導致半導體裝置中之非所要像差。

【0005】 亦在半導體製造期間之各種步驟使用計量程序來監測及控制程序。計量程序與檢測程序之不同之處在於，不同於其中在工件上偵測缺陷之檢測程序，計量程序用於量測無法使用現有檢測工具判定之工件之一或多個特性。計量程序可用於量測工件之一或多個特性，使得可從一或多個特性判定一程序之效能。例如，計量程序可量測在程序期間形成於工件上之特徵之一尺寸(例如，線寬、厚度等)。另外，若工件之一或多個特性係不可接受的(例如，在該(等)特性之一預定範圍之外)，則可使用工件之一或多個特性之量測來更改程序之一或多個參數，使得由該程序製造之額外工件具有(若干)可接受特性。

【0006】 線內光學計量技術可包含光譜橢圓偏振技術(SE)及光譜反射量測(SR)。SE係一光學量測技術，其量測從樣本(諸如一工件)反射之傳出光之偏振改變。SE可量測如厚度之參數、如折射率及消光係數(n 及 k)之光學常數、如結晶度、表面粗糙度、合金組成、各向異性之材料性質或其他參數。SE可為量測薄膜或多個膜堆疊之關鍵參數之穩健技術，但SE在量測應變時較不敏感。

【0007】 拉曼散射係基於樣本(諸如一工件)之光學聲子或分子振動對入射光之非彈性散射。其量測由散射引起之傳出光之頻率相對於傳入光

或入射光頻率之改變。其可量化材料性質，如材料種類、其化學性質、結晶度、應力/應變、濃度或其他參數。拉曼峰位置及拉曼峰之半峰全寬 (FWHM) 可用於估計濃度及厚度。此外，拉曼散射能量之改變或位移可顯露樣本之應力/應變。可藉由偵測對應力敏感之 Si-Si 鍵合中之拉曼位移(在波長上)而在全環繞閘極(GAA)裝置製造期間在一經處理結構上進行通道應力之拉曼量測。不幸地，此無法被劃分為一個別電晶體應力位準及通道受應力體積。

【0008】 製造商在縮小電晶體時達到物理極限，因此製造商添加 SiGe 合金、SiC、GaN 或其他材料來增加 Si 通道之應變，此改良且容許對載子之遷移率之選擇性控制。透過引入新材料及結構進行之持續縮放及效能增強將增加複雜性。需要快速且可監測一亞微米光斑大小之非破壞性線內監測技術。一探測體積取決於光斑大小及穿透深度，此繼而取決於雷射之波長。此可使用高解析度多波長(MWL)拉曼執行。

【0009】 將藉由減小尺寸、使用如一全環繞閘極 FET (GAA FET) 或互補 FET (CFET) 之新裝置結構，及使用通道之應力執行靜電控制來改良電晶體效能。監測 GAA FET 裝置或一膜之當前技術係基於多角度寬頻 SE 與反射量測之組合。SE 可用於特性化具有高材料對比度之單層或多層結構之組成。量測光譜在寬頻波長範圍內擬合至一理論光學模型，其中可判定一單層或複雜多層堆疊之膜參數，如 n 、 k 及厚度。對於多層膜堆疊，此擬合可為複雜的，且可能無法特性化缺陷、應變及介面擴散。當量測具有小材料對比度及遞變層之一多層堆疊時，先前技術係受限的。此一情況可需要一準確模型來描述層。當量測膜參數時，較深層可具有較高不確定性。

【0010】 拉曼或單遍次SE往往缺乏足夠信號及敏感度來判定一個量測設備中或個別層之應變、組成及厚度。例如，拉曼無法分離GAA裝置之個別電晶體級應力及受應力通道體積。單遍次SE及SR無法在GAA裝置之個別電晶體級分離特徵臨界尺寸、大小、體積或應力。單遍次SE及SR亦具有對超晶格組成、應變及厚度量測之有限敏感度。組成/應變及厚度量測之間之相關性意謂個別層厚度及組成可限於三對。此無法滿足四對或更高之要求，此意謂單遍次SE及SR可能不適用於具有中間缺陷絕緣體(MDI)之一雙超晶格。

【0011】 已建議在製造期間使用具有SR之單遍次光學光譜橢圓偏振技術(SPSE)來量測GAA裝置以進行臨界尺寸、形狀及應力模型化。然而，使用具有SR之SPSE在一個別電晶體級分離臨界尺寸、特徵大小及應力仍具有挑戰性。

【0012】 基於X射線之技術(如X射線繞射(XRD)、X射線反射率(XRR)、X射線螢光(XRF)或其等之組合)可提供改良量測，但具有對於一製造設定中之一實際量測而言過低之處理量。XRR適用於個別厚度，且經由隨Ge%之材料密度改變而對Ge%具有一定敏感度，但其對應變不敏感，無法判定鬆弛及部分應變程序，且對於組成而言不夠精確。XRF可偵測組成，但限於一單一層或一超晶格之一個平均值。XRF無法提供個別層組成或厚度，且對應變不敏感。一受應力通道晶格常數之高解析度XRD量測可判定一結構化GAA裝置上之通道應力。高解析度XRD可為平面SiGe/Si及超晶格(在圖案化以製造一GAA裝置之前)及潛在地具有一MDI之一雙堆疊超晶格提供良好應變及推斷組成。個別厚度不如一些程序控制標準精確或準確。XRD亦無法滿足製造商處理量要求。個別層應變及組

成之XRD量測可需要超過十分鐘來完成。

【0013】透射電子顯微鏡(TEM)通常用於量測個別層之厚度。然而，TEM係破壞性的、耗時的且對組成不敏感。其用途通常限於故障排除。高解析度TEM (HRTEM)歸因於樣品製備、視野及雜訊而遭受限制。跨多層及電晶體陣列映射應變需要使用HRTEM不易接達之視野。HRTEM亦可引發應變鬆弛效應。

【0014】奈米束電子繞射(NBED)不需要一參考，且對於GAA裝置可為片材特定的。然而，其可最適合產生大量資料以進行處理之薄層。NBED亦係破壞性的且耗時的。一量測可需要一個小時或更久來完成。

【0015】因此，需要新技術及系統。

【發明內容】

【0016】在一第一實施例中提供一種方法。該方法包含使用多遍次光譜橢圓偏振技術(MPSE)量測一工件，藉此產生第一光學量測。使用多波長拉曼光譜來量測該工件，藉此產生第二光學量測。使用一處理器，組合該等第一光學量測與該等第二光學量測以形成組合量測資料。使用該處理器，使用該組合量測資料來判定該工件之一應力量測。

【0017】該方法可包含使用該處理器：使用該組合量測資料來判定該工件之一臨界尺寸；使用該組合量測資料來判定該工件上之一特徵之一形狀；及使用該應力量測、該臨界尺寸及該特徵之該形狀來判定該工件上之一裝置之電參數效能。

【0018】該判定可使用一模型及/或一機器學習演算法。

【0019】該應力量測可包含一受應力體積及方向分量。

【0020】該方法可包含判定該工件之一厚度、一應變或一組成。

【0021】 該應力量測可關於該工件上之一電晶體通道。

【0022】 在一第二實施例中提供一種系統。該系統包含：一多遍次光譜橢圓偏振技術(MPSE)單元，其用以量測一工件且產生第一光學量測；一多波長拉曼光譜單元，其用以量測該工件且產生第二光學量測；及一處理器，其與該MPSE單元及該多波長拉曼光譜單元電子通信。該處理器經組態以：組合該等第一光學量測與該等第二光學量測以形成組合量測資料；及使用該組合量測資料來判定該工件之一應力量測。

【0023】 該處理器可經組態以：使用該組合量測資料來判定該工件之一臨界尺寸；使用該組合量測資料來判定該工件上之一特徵之一形狀；及使用該應力量測、該臨界尺寸及該特徵之該形狀來判定該工件上之一裝置之電參數效能。

【0024】 可使用一模型及/或一機器學習演算法來判定該應力量測。

【0025】 該應力量測可包含一受應力體積及方向分量。

【0026】 該處理器可經組態以判定該工件之一厚度、一應變及一組成。

【0027】 在一第三實施例中提供一種非暫時性電腦可讀儲存媒體。該非暫時性電腦可讀儲存媒體可包含用於在一或多個運算裝置上執行以下步驟之一或多個程式。可接收使用多遍次光譜橢圓偏振技術(MPSE)量測之一工件之第一光學量測及使用多波長拉曼光譜之該工件之第二光學量測。可組合該等第一光學量測與該等第二光學量測以形成組合量測資料。可使用該組合量測資料來判定該工件之一應力量測。

【0028】 可使用一模型及/或一機器學習演算法來判定該應力量測。

【圖式簡單說明】

【0029】為更充分理解本發明之性質及目標，應參考結合隨附圖式進行之以下詳細描述，其中：

圖1係展示拉曼光譜之一例示性佈局之一圖；

圖2繪示探測多至不同膜堆疊之不同波長下之例示性雷射激發；

圖3繪示圖2之對應光譜形式；

圖4係展示光譜橢圓偏振技術之一例示性佈局之一圖；

圖5係根據本發明之一方法之一流程圖；及

圖6係包含一多遍次光譜橢圓偏振技術單元及一多波長拉曼光譜單元兩者之一系統。

【實施方式】

【0030】

相關申請案的交叉參考

本申請案主張2023年11月8日申請且讓渡之美國申請案第63/547849號之臨時專利申請案之優先權，該案之揭示內容以引用的方式併入本文中。

【0031】儘管將依據某些實施例描述所主張之標的物，然其他實施例(包含未提供本文中闡述之全部益處及特徵之實施例)亦在本發明之範疇內。可在不脫離本發明之範疇之情況下做出各種結構、邏輯、程序步驟及電子改變。因此，僅參考隨附發明申請專利範圍來定義本發明之範疇。

【0032】本文中揭示之實施例提供用於半導體裝置(諸如全環繞閘極(GAA)型邏輯裝置)中之程序監測及控制之針對電晶體級通道應力及遷移率之準確、穩健及實用計量。本文中揭示之實施例亦提供用於邏輯裝置電晶體遷移率工程中之半導體程序(諸如SiGe/Si及SiC/Si、SiCP/Si層或

SiGe/Si超晶格)之材料及結構之應變、組成及厚度之一具成本效益之計量。在一GAA裝置中，三個或更多個電晶體在一單一程序流程中垂直堆疊。各電晶體在驅動電流、臨限值電壓及洩漏電流方面具有其自身之電或參數效能。透過閘極寬度、閘極長度及通道應力之工程來達成所需驅動電流以使用多個程序步驟來增加遷移率。在製造程序期間監測及控制程序條件可影響最終通道應力及電晶體驅動電流。具有此等量測信號之聯合分析之一多遍次光譜橢圓偏振技術(MPSE)及多波長拉曼光譜可用於判定GAA裝置或其他半導體裝置之個別電晶體級通道應力。

【0033】 所得信號之主分量(PC)可用於使用晶圓驗收測試(WAT)電資料以及MPSE及多波長拉曼光譜(MWRM)信號來判定最終電晶體遷移率及驅動電流(ID)。此可在運行時間量測中監測PC及ID。此可使得能夠在通道遷移率工程流程中選擇程序步驟來監測及控制最終通道應力，諸如用於襯墊及應力層沈積、源極/汲極蝕刻、n-EPI及P-EPI、奈米片釋放或金屬閘極。通道應力可為此等程序步驟之累積。MPSE及MWRM可針對此等程序步驟之各者最佳化。

【0034】 各技術可單獨量測一些或全部膜性質(例如，組成、應變、厚度)，但多種技術可彼此組合互補，且可改良被量測分量之準確度及精確性。另外，藉由透過深度學習使用量測光譜來訓練機器學習(ML)模型，一神經網路分析可有助於高效地量測膜參數。

【0035】 拉曼光譜對拉曼活性材料之組成及應力敏感。圖1係一拉曼光譜系統100之一典型佈局，其包含多個雷射激發源(在光源101中)、一偏振總成102、一分析器旋轉總成103及一物鏡105以及一雷射線濾波器106。拉曼光譜系統100可在MWRM下操作。樣本104(例如，工件，其可

為一半導體晶圓)之應力或應變可改變良好定義之拉曼頻帶，提升簡併度，且使頻帶位置位移。此可改變頻帶形狀且扭曲頻帶之對稱性。一光譜儀107及偵測器108與一控制器109 (其可包含一處理器)一起使用以判定量測。樣本104 (例如，一工件)上或中之一材料在不同波長下具有一不同吸收係數，且可在吸收介質中相互作用直至一定深度。較短波長可探測淺層，而改變為較長波長可能夠選擇性地探測某些層，此在圖2中描繪。此可導致不同波長具有不同拉曼輪廓，如圖3中展示。來自各激發之一拉曼信號來自膜層中之相互作用體積，且其輪廓具有該等層之特性特徵。取決於激發波長，拉曼信號 $I_R(l)$ 具有一不同峰位置及輪廓，此可提供層之組成(x)及應變(ϵ)。此外， $I_R(l)$ 可為材料性質(如折射率(n)、消光係數(k)、厚度、應變或其他參數)之一函數，且回應可針對不同波長激發而不同。

【0036】 類似地，SE及SR光譜可取決於材料在波長範圍內之色散。寬頻光譜橢圓偏振技術(BBSE)可覆蓋單入射角(AOI)，諸如65度，或在0度至90度之範圍內之多個AOI。橢圓偏振技術涵蓋全部類型之橢圓偏振技術，諸如旋轉分析器/偏振器橢圓偏振技術、一或多個旋轉補償器、或旋轉分析器/偏振器/補償器之一組合。BBSE信號包含但不限於 $\tan\Psi$ 、 $\cos\Delta$ 、諧波、穆勒(Mueller)矩陣或斯托克(Stokes)向量。基於參考t及x%，可最佳化及測試SE及SR模型，使得模型將量測光譜與參考厚度之值及組成擬合。

【0037】 圖4係MPSE之一典型佈局。MPSE系統120包含一光源121，該光源121透過一組件122將一光束引導於樣本104處，該樣本104可為一主要目標。組件122可為一旋轉偏振器或旋轉補償器。從樣本104反射之一些光由旋轉補償器123、分析器124接收，且接著由SE光譜儀125接

收。從樣本104反射之一些光由一反射器126反射且引導於一調變目標127處。此光接著由反射器128反射，接著再次從樣本104反射且由旋轉補償器123、分析器124接收，且接著由SE光譜儀125接收。可量測跨光譜之光分佈以展示光與樣本104之間之相互作用。MPSE可藉由將調變目標127添加至SE路徑中之主要目標(即，樣本104)來提供一兩遍次操作以增強量測目標敏感度。在一實施例中，可移除調變目標127且可將量測目標104放置於調變目標127之橫向位置處以容許藉由SE量測量測目標104三次。此包含在主要位置處之兩次及在調變目標127處之一次，該調變目標127可與主要目標相距約2 mm至5 mm。MPSE亦可包含以使得SE光束量測樣本104上之主要目標三次之方式組態反射器126及反射器128、雷射線濾波器106處之一分束器或繞射光柵及/或反射器128處具有一針孔之一曲面鏡。

【0038】 圖5展示方法200之一實施例。可使用一處理器執行一些步驟。

【0039】 在201處，使用MPSE量測一工件，此產生第一光學量測。在圖4中展示MPSE之一實施例。使用多個遍次提供對結構特徵(諸如一通道中之臨界尺寸、形狀、特徵大小、體積及/或應力)之改良敏感度。可針對一個別電晶體及個別層厚度及應變/組成提供此資訊。此增強敏感度亦可降低厚度與組成/應變之間之相關性。

【0040】 在202處，使用MWRM量測工件，此產生第二光學量測。在圖1中展示MWRM之一實施例。MWRM可針對通道應力對工件上之一結構中之電晶體之一子集或全集進行取樣。MWRM可選擇性地探測超晶格或多電晶體超晶格中之最頂層(例如，1至2層)或全部層。此提供較佳個別層應變/組成敏感度。

【0041】 在步驟201及202中，可針對MPSE及MWRM操作之裝置製造程序、裝置結構及製造商需求(例如，處理量)來創建量測及取樣計劃。可對同一材料及/或同一樣本執行MWRM及MPSE。

【0042】 步驟201及202可同時、部分同時或循序執行。本文中揭示之實施例係非破壞性的且可監測線內半導體程序。在一例項中，各量測可能需要1至5秒。步驟201及202可在一單一工具中執行。對於同時量測，MPSE可增加對MWRM信號之額外敏感度。

【0043】 在203處，組合第一光學量測與第二光學量測以形成組合量測資料。模型化及分析組合量測資料可使得能夠定量及準確地判定GAA裝置中之個別電晶體之通道應力。

【0044】 形成組合量測資料可包含處理MWRM及MPSE資料。此可使用目標之一共同實體模型，其可包含形狀、CD、厚度、組成及/或應力，以使用在更簡單目標上確認且在組合量測上驗證之系統模型對組合MWRA及MPSE信號進行迴歸。一經證實之基於模型之機器學習(ML)可進一步細化計量效能。

【0045】 在204處，使用組合量測資料來判定一應力量測。因此，第一光學量測及第二光學量測兩者皆用於判定應力量測。判定應力量測可使用一模型或一機器學習演算法。在一實例中，應力量測係關於工件上之一電晶體通道。然而，可量測其他裝置特徵或工件位置。

【0046】 通常可使用材料性質之預期形狀及標稱CD、厚度或折射率(n 及 k)來建立實體模型。 n 及 k 在SiGe及應力之情況下亦可與組成有關，或在純單元素材料(如Si或Ge)之情況下與應力有關。可由配置材料相對位置及其等之大小(尺寸)來判定結構之形狀。可從所建立、測試及校準之

MWRA及MPSE量測設備之系統模型建構MWRM及MPSE信號之回應。接著，可藉由匹配DOI中之一理論搜尋來判定模型參數(所關注尺寸(DOI)，包含CD、厚度、組成、應力以及n及k)，直至所運算之信號在預定準則內與量測信號匹配。

【0047】 可使用MWRM及MPSE信號利用包含應力及組成之共同實體模型來判定應力量測，其中可同時求解形狀(如CD)、厚度及應力。接著，基於模型之ML可選擇性地量測所量測之工件目標上之應力、CD及其他所關注性質。

【0048】 在一實施例中，製作用於結構及應力之一分析模型以對組合量測資料進行定量擬合及/或迴歸。

【0049】 在另一實施例中，用於基於第一原理之分析之一實體模型之一構造可與機器學習分析一起使用以進一步增強厚度及應變/組成量測之穩健性，從而容許計量覆蓋更廣泛程序改變。

【0050】 應力量測可包含一受應力體積及應力之方向分量。例如，可報告通道應力及其導出性質(例如，應力乘以受應力體積)及/或應力方向分量以進一步洞察通道/電行為。

【0051】 可藉由在工件目標旋轉至幾個(例如，2至4個)方位角之情況下獲取之MWRM同時判定受應力體積及應力方向分量。一晶圓上之目標及晶圓旋轉可旋轉至預選定向，稱為方位角。MWRA信號可與受應力體積成比例，且方向應力分量可投射至量測拉曼雷射偏振方向。亦可光學地量測相同體積以判定CD (MPSE)，此係因為體積乘以n及k與應力及組成有關。組合MWRM及MPSE可使得能夠進一步分離體積(CD及形狀)及應力分量，此可能無法藉由作為單獨量測之拉曼或SE來達成。

【0052】 在一例項中，亦可藉由分析迴歸及一程式庫或機器學習使用組合量測資料來判定工件上之一特徵之一臨界尺寸(例如，閘極寬度或閘極長度)、形狀及/或體積。特定言之，處理MWRM及MPSE實施例之方法包含但不限於使用由形狀、CD、厚度、組成及應力組成之目標之一共同實體模型以使用在更簡單目標上確認且在組合量測上驗證之系統模型對組合MWRA及MPSE信號進行迴歸。可添加機器學習以細化計量效能。

【0053】 可使用應力量測、臨界尺寸及特徵之形狀來判定工件上之一裝置之電參數效能。可在最終電晶體形狀、CD、厚度、通道應力、高k能隙及功函數材料類型、量及生產電晶體之程序中判定電效能(諸如電晶體驅動電流、臨限值電壓或洩漏電流)。一種特定效能(如驅動電流及遷移率)可主要藉由通道應力、固有通道材料遷移率及摻雜位準來判定。另外，可從若干通道應力工程程序步驟外加其他程序步驟之副效應(如GAA及金屬沈積中之奈米線釋放)累積通道應力。監測通道應力及其等在程序流程中之演變或累積可在程序整合開發及生產中提供一所要最終驅動電流。GAA及未來CFET裝置之複雜性進一步突出此需求，其中多個電晶體在該裝置中彼此相鄰地放置(例如，在GAA中係3個或4個，在CFET中可能更多)，各電晶體需要達成其等之最佳化電效能目標。相反地，若在個別應力影響程序步驟量測通道應力，則可判定在所製造之電晶體上量測之最終驅動電流及其與流程中之各程序步驟之關係。本文中揭示之實施例可實現更快開發最佳化(即，更少開發循環)及用於驅動電流、遷移率及裝置之操作功能之穩定生產。

【0054】 在一例項中，亦可從第一光學量測及/或第二光學量測判定工件之一厚度、一應變、折射率及/或一組成。

【0055】 在一實例中，可判定閘極寬度、閘極長度及遷移率，此可提供一電晶體驅動電流。此等量測可同時進行。

【0056】 本文中進行之量測可在設計規則目標或實際裝置上進行。

【0057】 一單一工具可提供MPSE及MWRM量測兩者以增強對應變、組成及厚度之敏感度。圖6中之系統300包含用以量測一工件104且產生第一光學量測之一MPSE單元301及用以量測工件104且產生第二光學量測之一MWRM單元302。MPSE單元301可對應於圖4中繪示之MPSE單元，且MWRM單元302可對應於圖1中繪示之MWRM單元。MPSE單元301及MWRM單元302兩者皆與一處理器303電子通信。處理器303可經組態以執行方法200之各種步驟。

【0058】 此工具中亦可包含其他量測技術。本文中揭示之實施例可在同一晶圓上提供一參考，且可併入來自另一計量(如當前方法(TEM、XRD))之樣本以用於進一步效能增強。該工具亦可針對僅需要一單一量測(拉曼或MPSE)之應用提供傳統單獨拉曼量測以及單獨MPSE量測。此容許該工具具有多種應用。

【0059】 在一實施例中，一單遍次SE及SR可與拉曼或MWAM組合使用。效能仍可在GAA裝置之開發階段提供有用資訊。

【0060】 MWRM及MPSE在一個工具中之聯合量測可在分析中提供更高敏感度及相關性破壞。可增強對應變及組成之敏感度，且可降低應變/組成與厚度之間之相關性。聯合量測信號可提供足夠敏感度及相關性破壞以提取鱗片、奈米片及矽波導中之應變3D輪廓。可針對邏輯裝置電晶體遷移率工程中之一般膜(諸如SiGe/Si及SiC/Si、SiCP/Si層、SiGe/Si超晶格)提供平面內及平面外應變之相關性破壞。組合CD、厚度、組成及應

力量測亦可與DRAM及3D DRAM通道組合使用。此可在信號獲取期間藉由選擇拉曼中之多個偏振角及MPSE中之入射角(AOI)來達成。

【0061】 在一實施例中，MWRM及MPSE被整合至一個工具中，因此在一個步驟執行工件處理及量測。兩組光學器件及機械總成被整合至具有共用晶圓處理、量測及校準的一個工具中。另外，用以判定CD、厚度及應力之資料分析亦使用一單一統一演算法及軟體來最佳化量測效能及操作效率。MWRW及MPSE量測仍作為兩組信號一次進行一個，但信號被一起輸入至分析軟體中。CD、厚度及應力之量測輸出(結果)係來自工件之目標之一單組結果。

【0062】 對組含量測資料之分析可提供敏感度之協同作用且破壞相關性。單獨SE在應變及組成方面存在差距。單獨拉曼在個別厚度方面存在差距，從而限制應變厚度體積之判定。MPSE及MWRM兩者之使用避免此等差距，且放大個別MPSE及MWRM優勢。

【0063】 在一實例中，一後SiGe釋放程序經歷奈米片表面粗糙度問題，此可導致通道遷移率降級及可變性。組含量測資料可實現片材特定表面粗糙度計量。

【0064】 本文中揭示之實施例可提供完全應變與部分應變之膜結構之分離。此可使得能夠判定未鬆弛或部分應變之一體積或介面。完全應變與部分應變無法藉由一單一MWRM或MPSE來判定，但可在聯合量測中區分。聯合量測不僅容許判定應力，而且亦容許判定光學n及k(繞射指數)。對於相同應力，與部分應變相比，完全應變之Si或SiGe將具有更高n及更低k。為了最佳化電晶體電效能，一完全應變通道係較佳的以達成更高遷移率及更小變化。因此，量測完全應變與部分應變之能力對於程序及

整合係重要的。

【0065】 本文中揭示之實施例可應用於FinFET及在裝置製造程序期間使用應力遷移率工程之其他FET裝置。例如，可量測一GAA FET、DRAM或3D DRAM裝置。

【0066】 本文中揭示之實施例可在製造程序期間提供一GAA裝置中之個別電晶體通道之應力及受應力體積之準確、穩健及實用量測。可定量地監測應力各向異性。可在相同位置及相同量測中量測應力及在通道中產生應力之程序性質，從而為應力調諧及標定提供回饋。在導致最終電晶體應力及驅動電流之多個程序步驟量測通道應力可容許在各步驟最佳化程序及程序窗以實現更穩健及可製造之製造流程。快速且有效地特性化程序可加速GAA開發。亦可提供用於斜坡及生產故障排除之額外取樣。本文中揭示之實施例亦可在當前程序步驟提供對潛在電行為及偏移之立即及早期偵測，而非僅在作為若干程序步驟之累積結果之最終電測試偵測此偏移。

【0067】 雖然其他機器學習模型係可能的，但在一實施例中，一神經網路或深度學習模型用於機器學習。機器學習可與理論模型一起使用，或若提供足夠參考資料，則可作為一獨立技術使用。

【0068】 應理解，雖然已描述一方法之例示性特徵，但此一配置不應被解釋為將本發明限於此等特徵。該方法可在軟體、韌體、硬體或其等之一組合中實施。在一種模式中，該方法在軟體中實施為一可執行程式，且由一或多個專用或通用數位電腦執行，諸如一個人電腦(PC；IBM相容、Apple相容或其他)、個人數位助理、量子電腦、工作站、小型電腦或主機電腦。該方法之步驟可由軟體模組駐留或部分駐留於其中之一伺服器或電腦實施。一或多個電腦可為一計量工具或一獨立電腦之部分。一或多

個電腦可在線上或離線。一或多個電腦之處理要求可基於工具處理量及解決時間目標。

【0069】 一般言之，就硬體架構而言，如熟習此項技術者將良好地理解，此一電腦將包含一處理器、記憶體及經由一本端介面通信地耦合之一或多個輸入及/或輸出(I/O)裝置(或周邊器件)。本端介面可為例如但不限於如此項技術中已知之一或多個匯流排或其他有線或無線連接。本端介面可具有額外元件，諸如控制器、緩衝器(快取記憶體)、驅動器、中繼器及接收器，以實現通信。此外，本端介面可包含位址、控制及/或資料連接以實現其他電腦組件之間之適當通信。

【0070】 (若干)處理器(即，控制系統之處理器)可經程式化以執行本文中描述之方法之一實施例之功能。(若干)處理器係用於執行軟體，特定言之儲存於記憶體中之軟體之一硬體裝置。(若干)處理器可為任何定製或市售處理器、一主處理單元(CPU)、與一電腦相關聯之若干處理器當中之輔助處理器、一基於半導體之微處理器(呈一微晶片或晶片組之形式)、一巨集處理器或通常用於執行軟體指令之任何裝置。

【0071】 記憶體與(若干)處理器相關聯，且可包含揮發性記憶體元件(例如，隨機存取記憶體(RAM，諸如DRAM、SRAM、SDRAM等))及非揮發性記憶體元件(例如，ROM、硬碟機、磁帶、CDROM等)之任一者或一組合。此外，記憶體可併入電子、磁性、光學及/或其他類型之儲存媒體。記憶體可具有一分佈式架構，其中各種組件彼此遠離，但仍由(若干)處理器存取。

【0072】 記憶體中之軟體可包含一或多個單獨程式。單獨程式包括用於實施邏輯功能以便實施模組之功能之可執行指令之有序清單。在實例

中，記憶體中之軟體包含該方法之一或多個分量，且可在一適合作業系統(O/S)上執行。

【0073】 本發明可包含作為一源程式可執行程式(目的碼)、指令碼或包括待執行之一組指令之任何其他實體提供之組件。當作為一源程式時，該程式需要經由一編譯器、組譯器、解譯器或類似物進行轉譯，該等編譯器、組譯器、解譯器或類似物可被包含或可不被包含於記憶體內，以便與O/S相關地正確操作。此外，根據教示實施之一方法可被表達為(a)一物件定向之程式設計語言，其具有資料及方法類，或(b)一程序程式設計語言，其具有常式、副常式及/或函數，例如但不限於C、C++、Pascal、Basic、Fortran、Cobol、Ped、Java及Ada。

【0074】 一額外實施例係關於一種非暫時性電腦可讀媒體，其儲存可在一處理器上執行以執行用於判定一工件之量測之一電腦實施方法之程式指令，如本文中揭示。特定言之，一記憶體可含有非暫時性電腦可讀媒體，該非暫時性電腦可讀媒體包含可在一處理器或其他運算裝置上執行之程式指令。電腦實施方法可包含本文中描述之任何(若干)方法(包含方法200之一實施例)之任何(若干)步驟。該等步驟可包含：接收使用MPSE量測之一工件之第一光學量測；使用多波長拉曼光譜接收該工件之第二光學量測；組合該等第一光學量測與該等第二光學量測以形成組合量測資料；及使用該組合量測資料來判定該工件之一應力量測。一模型及/或一機器學習演算法可用於組合。

【0075】 一系統可用於執行量測且判定關於一工件之一膜堆疊之一厚度、組成或其他資訊。該系統可包含用以量測一工件且產生第一光學量測之一MPSE單元及用以量測工件且產生第二光學量測之一多波長拉曼光

譜單元。該系統可包含多個獨立量測系統，或可為具有多個量測系統之一叢集工具。

【0076】 一處理器與MPSE單元及多波長拉曼光譜單元電子通信。處理器經組態以組合第一光學量測與第二光學量測以形成組含量測資料，且接著使用組含量測資料來判定工件之一應力量測。可使用一模型及/或一機器學習演算法來判定應力量測。

【0077】 可如本文中描述般執行該方法之步驟之各者。該等方法亦可包含可由本文中描述之處理器及/或(若干)電腦子系統或(若干)系統執行之(若干)任何其他步驟。該等步驟可由一或多個電腦系統執行，該一或多個電腦系統可根據本文中描述之實施例之任一者組態。另外，上文描述之方法可由本文中描述之系統實施例之任一者執行。

【0078】 儘管已關於一或多項特定實施例描述本發明，然將理解，可在不脫離本發明之範疇之情況下製作本發明之其他實施例。因此，本發明被視為僅受限於隨附發明申請專利範圍及其等之合理解釋。

【符號說明】

【0079】

- 100: 拉曼光譜系統
- 101: 光源
- 102: 偏振總成
- 103: 分析器旋轉總成
- 104: 樣本/工件
- 105: 物鏡
- 106: 雷射線濾波器

- 107: 光譜儀
- 108: 偵測器
- 109: 控制器
- 120: 多遍次光譜橢圓偏振技術(MPSE)系統
- 121: 光源
- 122: 組件
- 123: 旋轉補償器
- 124: 分析器
- 125: 光譜橢圓偏振技術(SE)光譜儀
- 126: 反射器
- 127: 調變目標
- 128: 反射器
- 200: 方法
- 201: 步驟
- 202: 步驟
- 203: 步驟
- 204: 步驟
- 300: 系統
- 301: 多遍次光譜橢圓偏振技術(MPSE)單元
- 302: 多波長拉曼光譜(MWRM)單元
- 303: 處理器

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種方法，其包括：

使用多遍次光譜橢圓偏振技術(MPSE)來量測一工件，藉此產生第一光學量測；

使用多波長拉曼光譜來量測該工件，藉此產生第二光學量測；

使用一處理器組合該等第一光學量測與該等第二光學量測以形成組合量測資料；及

使用該處理器使用該組合量測資料來判定該工件之一應力量測。

【請求項2】

如請求項1之方法，其進一步包括使用該處理器使用該組合量測資料來判定該工件之一臨界尺寸。

【請求項3】

如請求項2之方法，其進一步包括使用該處理器使用該組合量測資料來判定該工件上之一特徵之一形狀。

【請求項4】

如請求項3之方法，其進一步包括使用該處理器使用該應力量測、該臨界尺寸及該特徵之該形狀來判定該工件上之一裝置之電參數效能。

【請求項5】

如請求項1之方法，其中該判定使用一模型。

【請求項6】

如請求項1之方法，其中該判定使用一機器學習演算法。

【請求項7】

如請求項1之方法，其中該應力量測包含一受應力體積及方向分量。

【請求項8】

如請求項1之方法，其進一步包括判定該工件之一厚度、一應變或一組成。

【請求項9】

如請求項1之方法，其中該應力量測係關於該工件上之一電晶體通道。

【請求項10】

一種系統，其包括：

一多遍次光譜橢圓偏振技術(MPSE)單元，其用以量測一工件且產生第一光學量測；

一多波長拉曼光譜單元，其用以量測該工件且產生第二光學量測；
及

一處理器，其與該MPSE單元及該多波長拉曼光譜單元電子通信，其中該處理器經組態以：

組合該等第一光學量測與該等第二光學量測以形成組合量測資料；及

使用該組合量測資料來判定該工件之一應力量測。

【請求項11】

如請求項10之系統，其中該處理器經進一步組態以使用該組合量測資料來判定該工件之一臨界尺寸。

【請求項12】

如請求項11之系統，其中該處理器經進一步組態以使用該組合量測

資料來判定該工件上之一特徵之一形狀。

【請求項13】

如請求項12之系統，其中該處理器經進一步組態以使用該應力量測、該臨界尺寸及該特徵之該形狀來判定該工件上之一裝置之電參數效能。

【請求項14】

如請求項10之系統，其中使用一模型來判定該應力量測。

【請求項15】

如請求項10之系統，其中使用一機器學習演算法來判定該應力量測。

【請求項16】

如請求項10之系統，其中該應力量測包含一受應力體積及方向分量。

【請求項17】

如請求項10之系統，其中該處理器經進一步組態以判定該工件之一厚度、一應變及一組成。

【請求項18】

一種非暫時性電腦可讀儲存媒體，其包括用於在一或多個運算裝置上執行以下步驟之一或多個程式：

接收使用多遍次光譜橢圓偏振技術(MPSE)量測之一工件之第一光學量測；

接收使用多波長拉曼光譜之該工件之第二光學量測；

組合該等第一光學量測與該等第二光學量測以形成組合量測資料；

及

使用該組合量測資料來判定該工件之一應力量測。

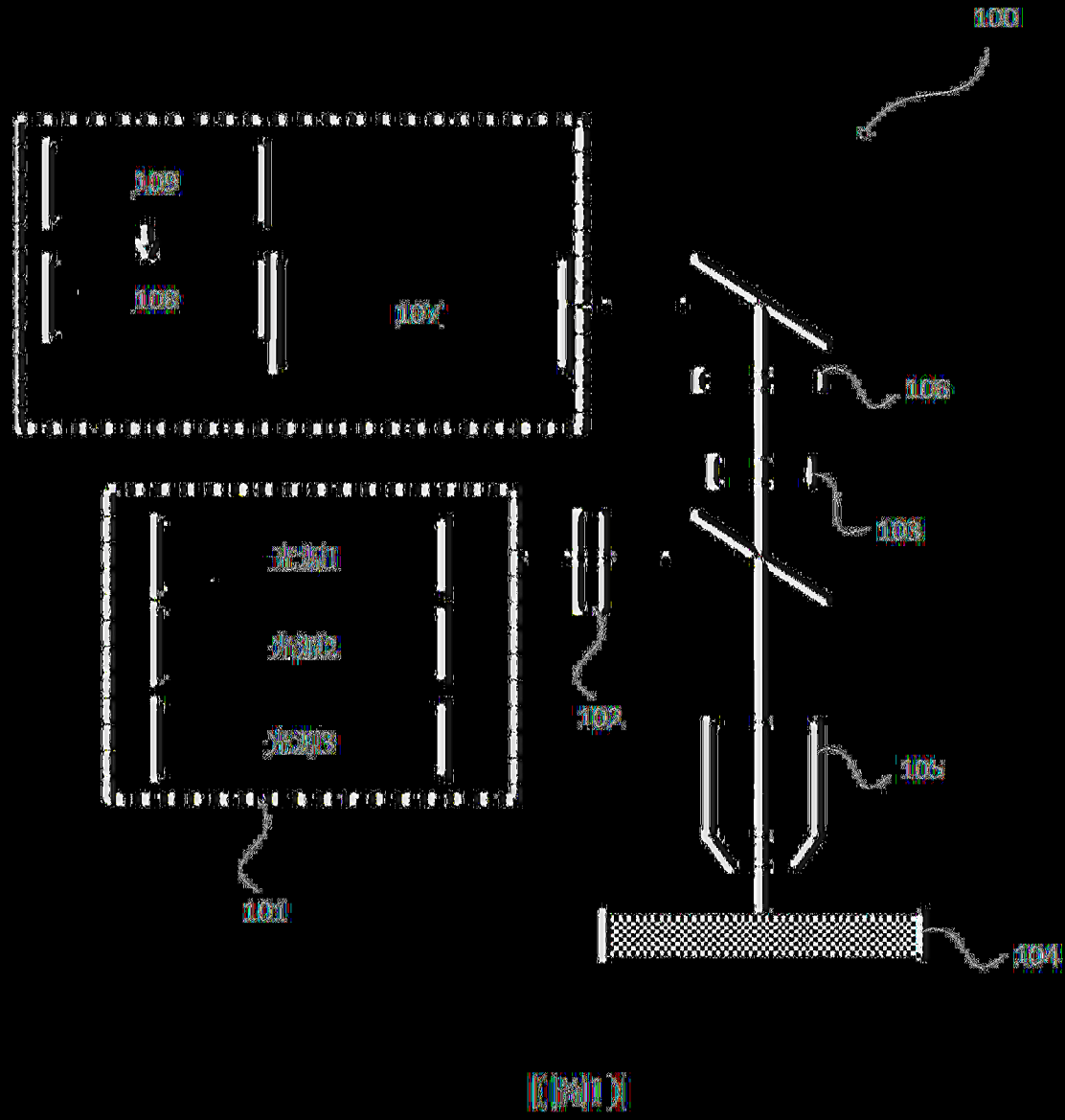
【請求項19】

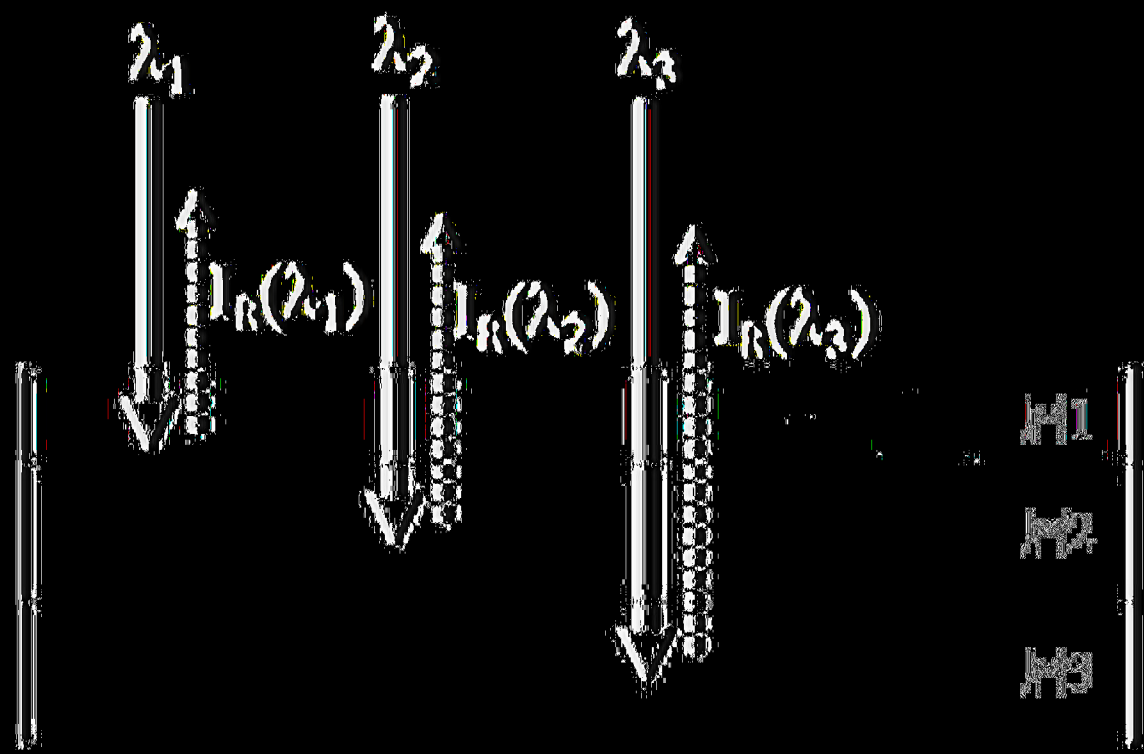
如請求項18之非暫時性電腦可讀儲存媒體，其中使用一模型來判定該應力量測。

【請求項20】

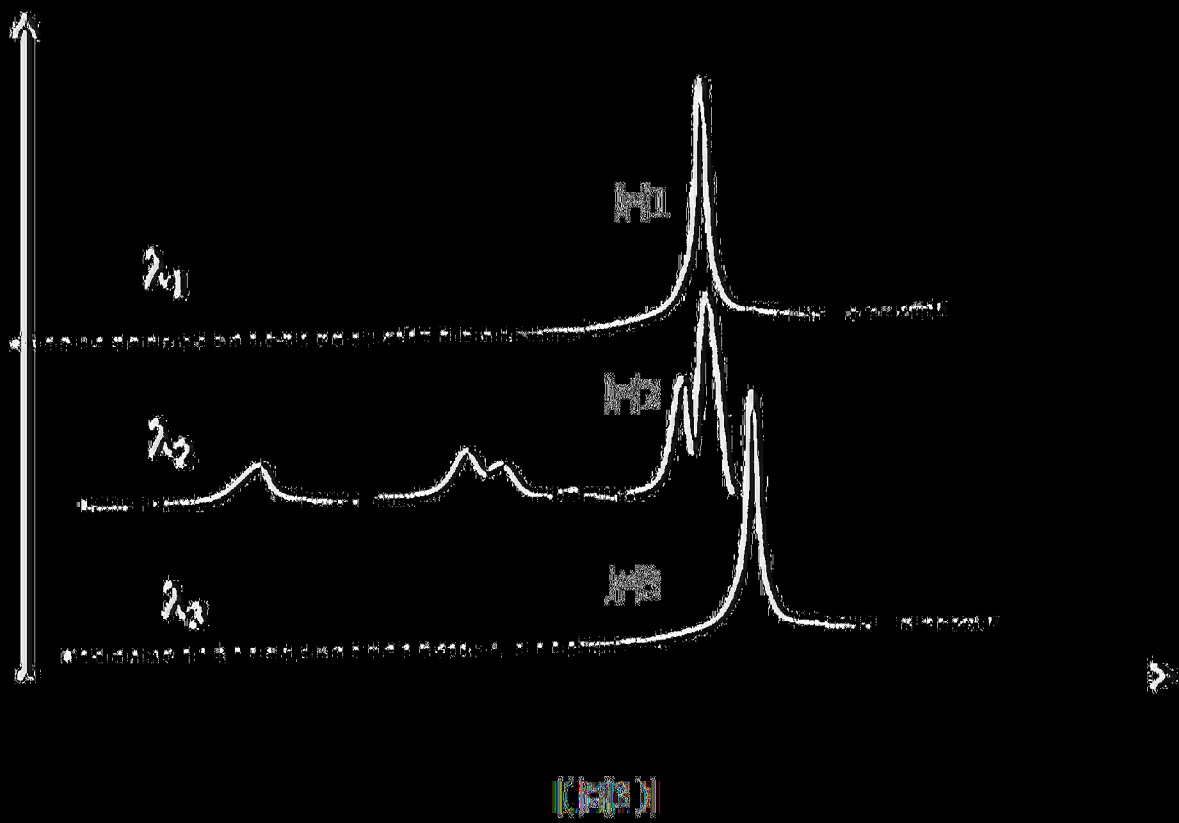
如請求項18之非暫時性電腦可讀儲存媒體，其中使用一機器學習演算法來判定該應力量測。

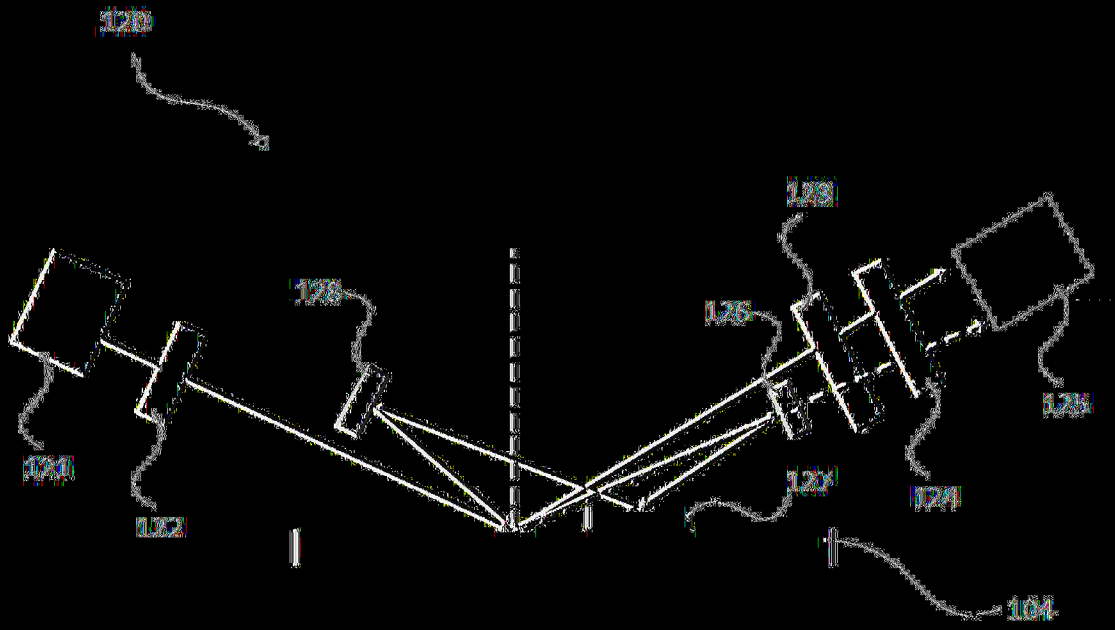
(發明圖式)





(1112)





(圖 1)

