201712403

(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本 (11)公開編號：TW 201712403 A

(43)公開日： 中華民國 106 (2017) 年 04 月 01 日

(21)申請案號：105117800 (22)申請日： 中華民國 105 (2016) 年 06 月 06 日

(51)Int. Cl.： *G02C7/04 (2006.01)*

(30)優先權：2015/06/08 美國 14/733,391

(71)申請人：壯生和壯生視覺關懷公司 (美國) JOHNSON & JOHNSON VISION CARE, INC. (US)
美國

(72)發明人：蓋里岡 皮耶 涅尼斯 GERLIGAND, PIERRE-YVES (FR)；霍夫曼 格雷戈里 HOFMANN, GREGORY J. (US)；裘賓 飛利浦 JUBIN, PHILIPPE (FR)

(74)代理人：林秋琴；陳彥希；何愛文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：30 項 圖式數：8 共 31 頁

(54)名稱

具最佳效能之隱形眼鏡及設計方法

CONTACT LENS WITH OPTIMIZED PERFORMANCE AND METHOD OF DESIGN

(57)摘要

一種最佳化隱形眼鏡設計及方法，該設計及方法利用了隱形眼鏡置放於眼球上時系統之應變能，從而改善共軸性、平移、及穩定化性質、或上述之任何組合，以便改善舒適性與視力兩者。一種隱形眼鏡設計及方法學，其中鏡片-眼球所得應變能經最佳化以實現所欲功能如共軸性、平移或穩定化。由於鏡片應變能直接由鏡片變形的量驅動，可能經由材料模數、鏡片幾何形狀之設計(亦即，半徑或曲率、周邊厚度輪廓、邊緣或周緣形狀)控制鏡片應變能。可針對給定群體藉由對眼睛的眼球形狀/表面取平均來最佳化表面壓力及/或鏡片應變能。或者，可針對單個給定眼球(亦即，客製設計)最佳化鏡片應變能。

An optimized contact lens design and method which leverages the strain energy of the system when placed on eye that improves centration, translation, and stabilization characteristics, or any combination thereof, in order to improve both comfort and vision. A contact lens design and methodology wherein the lens-eye resulting strain energy is optimized to achieve the desired function be it centration, translation, or stabilization. Since the lens strain energy is directly driven by the amount of lens deformation, it is possible to control the lens strain energy through the modulus of the material, design of the lens geometry, namely the radii or curvature, peripheral thickness profiles, edge or rim shapes. The surface pressure and/or lens strain energy can be optimized for a given population by averaging the ocular eye shape/surface. Alternatively the lens strain energy can be optimized for a single given eye (i.e., custom design).

指定代表圖：

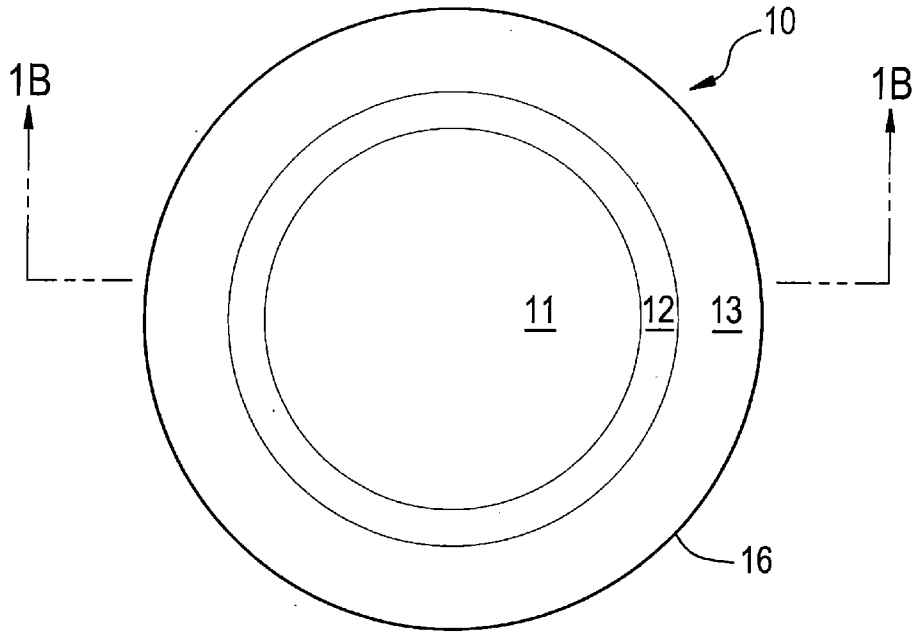


圖1A

符號簡單說明：

10・・・隱形眼鏡；鏡片

11・・・光學區域；內部區域

12・・・中間區域或區

13・・・周邊區域/外部區域

201712403

發明摘要

※ 申請案號：105118000

※ 申請日： 105. 6. -6　　※IPC 分類： G02C 7/04 (2006.01)

【發明名稱】

具最佳效能之隱形眼鏡及設計方法

CONTACT LENS WITH OPTIMIZED PERFORMANCE AND METHOD OF DESIGN

【中文】

一種最佳化隱形眼鏡設計及方法，該設計及方法利用了隱形眼鏡置放於眼球上時系統之應變能，從而改善共軸性、平移、及穩定化性質、或上述之任何組合，以便改善舒適性與視力兩者。一種隱形眼鏡設計及方法學，其中鏡片-眼球所得應變能經最佳化以實現所欲功能如共軸性、平移或穩定化。由於鏡片應變能直接由鏡片變形的量驅動，可能經由材料模數、鏡片幾何形狀之設計（亦即，半徑或曲率、周邊厚度輪廓、邊緣或周緣形狀）控制鏡片應變能。可針對給定群體藉由對眼睛的眼球形狀/表面取平均來最佳化表面壓力及/或鏡片應變能。或者，可針對單個給定眼球（亦即，客製設計）最佳化鏡片應變能。

【英文】

An optimized contact lens design and method which leverages the strain energy of the system when placed on eye that improves centration, translation, and stabilization characteristics, or any combination thereof, in order to improve both comfort and vision. A contact lens design and methodology wherein the lens-eye resulting strain energy is optimized to achieve the desired function be it centration, translation, or stabilization. Since the lens strain energy is directly driven by the amount of lens deformation, it is possible to control the lens strain energy through the modulus of the material, design of the lens geometry, namely the radii or curvature, peripheral thickness profiles, edge or rim shapes. The

surface pressure and/or lens strain energy can be optimized for a given population by averaging the ocular eye shape/surface. Alternatively the lens strain energy can be optimized for a single given eye (i.e., custom design).

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 1A

【本代表圖之符號簡單說明】：無

10...隱形眼鏡；鏡片

11...光學區域；內部區域

12...中間區域或區

13...周邊區域/外部區域

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

發明專利說明書

（本說明書格式、順序，請勿任意更動）

【發明名稱】

具最佳效能之隱形眼鏡及設計方法

CONTACT LENS WITH OPTIMIZED PERFORMANCE AND METHOD OF DESIGN

【技術領域】

【0001】 本發明係關於眼用鏡片，且更特定言之係關於隱形眼鏡之設計，該等隱形眼鏡在鏡片配戴在眼球上時利用及調適眼球-鏡片系統之所得應變能以實現改善的共軸性、平移、旋轉/穩定化、舒適性及最終改善視力。

【先前技術】

【0002】 隱形眼鏡被視為醫療裝置並可經配戴以矯正視力並/或用於妝飾用或其他治療原因。從 1950 年代起，隱形眼鏡已商品化使用，用來改善視力。早期的隱形眼鏡係以硬質材料構成或製成，且相對昂貴而脆弱。雖然這些隱形眼鏡仍在使用，但是其剛開始的舒適性較差，因此並不適合所有患者。該領域的後續發展產生了基於水凝膠的軟性隱形眼鏡，該等軟性隱形眼鏡在當今極為流行且被廣泛使用。軟性隱形眼鏡之引入已顯著改善配戴者體驗到的舒適性。儘管此成就係本領域眾多人士發展推動的成果，但是一個重大考量是軟性隱形眼鏡與其前代產品相比剛性明顯較小。因此，當在眼球上置放隱形眼鏡時，隨著隱形眼鏡變形並順應眼球之前表面，隱形眼鏡更易受到對其所施加的應力及應變所影響。鏡片與眼球形狀的此種相互作用本身是一種主要的考慮因素，特別是當企圖設計用於特定目的（諸如視力矯正）的鏡片時更是如此，但針對額外目的之其他考慮亦為重要且有關聯的。

【0003】 儘管眼球之解剖學形狀大致相似，但該形狀仍因患者而異，並且亦容易不對稱。特定而言，可將正常眼球之不對稱性描述為具有鼻區域中曲率的較大變化（如與顳區域中的曲率變化相比較）。換言之，在眼球從角膜中心朝鼻部向內移動時，觀察橫剖面中的眼球周邊區域之曲率，此曲率變化率與從角膜中心朝顳部向外移動相比較大，因此導致兩個不同曲率及導致橫剖面不對稱性。當配戴隱形眼鏡時，此不對稱性亦導致施加在

隱形眼鏡上的不對稱力。特定而言，在隱形眼鏡之後表面與眼球之前表面（特別是在周邊區域中）相互作用時，可導致隱形眼鏡暫時位移，從而影響共軸性。若鏡片不再居中，則視力矯正可受到影響。在眼球之矢狀面中，已知的是患者眼球之周邊下部容易比周邊上部更陡峭。在美國專利第6,406,145 號中呈現利用此矢狀不對稱性之嘗試，其中創新者在設計鏡片之基底曲線時考慮到了鏡片配戴者的眼球之自然形狀。儘管這是在適當的方向上邁出的一步，但可藉由考慮眼球不對稱性之多維態樣實現額外改良。此改良藉由將隱形眼鏡與眼球作為一個系統進行分析及評估來完成，特別是因其與因當配戴鏡片時鏡片幾何形狀與眼球幾何形狀相互作用而導致的應變能及鏡片共軸性相關。其他影響因素亦包括此等物件之機械特性。

【0004】 在治療老花眼患者時，一個創新是採用平移式鏡片設計。隨著人年紀變大，晶狀體逐漸變得更硬，且因此人的眼球較不能調節。換言之，眼球改變自然晶狀體之形狀來聚焦在物體上的能力減弱。此一情況習稱老花眼。一般平移式鏡片依賴於隱形眼鏡相對於眼球（特別是瞳孔）之相對移動。一般而言，平移式鏡片將具有多個光學區，例如彌補患者調節能力喪失的遠近區，並且取決於視線角度，配戴者可藉由導引視線穿過一個區或另一區來最佳化視力。為了達到此點，近區與遠區分別大致上置放在下部與上部，且作為實例，在向下看時（一般出於近距視力需要，諸如閱讀），配戴者係通過鏡片之下（近）部觀看。此是成功的，因為鏡片經由與下眼瞼相互作用，一般相對於瞳孔向上驅動鏡片，而配戴者的視線角度則導引向下。當配戴者的視線回到較為水平的位置且看向遠處的物體時，鏡片之相對位置係使得眼球瞳孔在此時與鏡片之上（遠）部對準。因此針對近距視力與遠距視力兩者的需要而最佳化焦點。

【0005】 平移式鏡片之相對移動可受到眼球不對稱性及其如何與隱形眼鏡相互作用的影響，因此無法允許實現所欲結果。然而，亦存在其他考慮因素，例如，美國專利第 7,216,978 號說明了上眼瞼及下眼瞼在眨眼時並未完全在垂直方向上移動。確切而言，上眼瞼於眨眼時的移動係實質上垂直加上小的鼻分量，而下眼瞼於眨眼時實質上為向鼻側水平移動。此外，上下眼瞼相對於切過垂直經線的平面為非對稱。換言之，人們並非相對於在敞開之上下眼瞼間引出的水平軸對稱眨眼。因此，眨眼本身可能不會導

致隱形眼鏡之理想平移，因此存在對設計加以改善之又一機會。另一類型的平移式鏡片具有一截頭形狀。亦即，不像實質上呈現連續圓形或橢圓形之多數鏡片，截頭隱形眼鏡之下部是藉由切除或縮短該部分鏡片而扁平化。此在鏡片的底部導致一實質上平且厚的邊緣。此種鏡片之例示性描述可見於若干專利，包括美國專利第 7,543,935 號、美國專利第 7,430,930 號、美國專利第 7,052,132 號，以及美國專利第 4,549,794 號。然而，像這些在隱形眼鏡上的相對扁平邊緣容易降低配戴舒適度。利用最小能量位置的概念之替代方法係美國專利第 7,810,925 號中所提供的方法，其中建議具有兩個隱蔽式(discreet)穩定位置的鏡片設計以針對近距視力及遠距視力需要最佳化鏡片位置。可利用最小勢能位置概念實現此等兩個穩定位置。考慮到需要某種程度的位移力（可能是'925 專利案件中的顯著程度）以自一個位置移動至另一位置，對於初始穩定位置亦可能引入待克服之某種程度的不適，以便移動至第二穩定位置。此外，'925 專利之方法限於兩個不同位置，與申請人的發明形成對比，申請人的發明不僅利用了位置之連續區且因此利用了相對應變能，而非不同狀態，而且允許沿此連續區的平穩過渡。

【0006】 在散光患者中，除共軸之外，鏡片之相對旋轉位向對矯正患者視力也很重要。散光是由光學區中的角膜及/或晶狀體之非旋轉對稱曲率引起。正常角膜是實質上旋轉對稱的，而在具有散光的個體中，情況則不是這樣。換言之，眼球之光學區在一方向上實際比另一方向來得更彎曲或陡峭，因此造成影像被拉長成聚焦線（柱狀）而非聚焦至單點。可使用複曲面鏡片解決此問題，而非球形/單一視力鏡片。複曲面鏡片是一種光學元件，其在兩個互相垂直之方位上具有兩種不同屈光度。基本上，複曲面鏡片具有內建於單一鏡片的一用於矯正近視或遠視之屈光度（球面）及一用於矯正散光的屈光度（柱狀）。此等屈光度係以不同角度定向的曲率建立，該等較佳為相對於眼球而經維持。複曲面鏡片之適當旋轉定向必不可少，以適當矯正散光。然而，複曲面隱形眼鏡在眼睛上可能會傾向旋轉，因此而暫時地提供次佳的視力矯正。因此，目前使用之複曲面隱形眼鏡亦包括當配戴者眨眼或向四周觀看時，用以保持隱形眼鏡在眼球上相對穩定之機構，以便維持正確的視力矯正。為了確保鏡片之適當位向，已採用各種鏡片穩定化方法，諸如底部配重(ballast)或優先厚區與薄區。儘管存在各種方

式來實現穩定化，但所有方式最終都將受到隱形眼鏡之後表面與眼球之前表面（特別是周邊區域）的相互作用影響而改變度數，從而亦可能不利地影響視力及或主觀舒適度。當前之設計或採用之穩定化區的挑戰在於隱形眼鏡穩定性與舒適性之間的取捨，外加與厚度增加關聯的物理限制。改變設計以改善轉速（諸如增加穩定化區之表面斜度）亦增加了隱形眼鏡厚度，並可能不利地影響舒適度。另外，隱形眼鏡設計必須達到兩件事；亦即，在置入時旋轉到適當的位向，及在配戴期間內維持彼位向。習知設計需要在此等兩個模式之間的效能做取捨。

【0007】 在更近期的嘗試中，例如，參看美國專利第 8,827,448 號，提出採用無散光定製鏡片用於屈光矯正，其中在隱形眼鏡之前表面上具有第一柱狀屈光度及在隱形眼鏡之後表面上具有第二柱狀屈光度。儘管已指出採用此設計實現改善的視敏度，但此等物件受限於鏡片之光學區及其與不對稱形狀角膜的相互作用方式。其他區域（最顯著的是鏡片之周邊區域）中的設計變化可仍具有影響力，並且不會不利地影響限於光學區試圖改善視敏度的彼等，而因此共存並進一步改善鏡片效能。

【0008】 本領域中的一些創新者已嘗試藉由定製針對患者的特定設計來解決鏡片/角膜不匹配。具體而言，創新者們量測角膜表面，並試圖使隱形眼鏡之後表面與角膜之表面形貌匹配。請參看例如美國專利第 6,786,603 號、美國專利第 6,340,229 號、及美國專利第 6,305,802 號。此替代方法儘管導致近乎完美匹配的共形貼合，但可能未充分解決當前的問題，因為此可能因鏡片與角膜之精確共形匹配而引入與缺乏鏡片移動相關的不良後果。此亦可導致用於系統的大量庫存計量單位(Stock Keeping Units; SKU's)，對製造商以及消費者而言成本高昂。為了維持健康的眼部生理，隱形眼鏡之移動必不可少，以允許適當的眼淚交換。人類在清醒時每分鐘平均眨眼約十二(12)次，每次眨眼可對鏡片賦予移動，從而促進必要的眼淚交換來維持健康的淚膜。然而，儘管移動對健康目的而言是重要的，但過度移動隱形眼鏡可不利地影響主觀舒適度及視力兩者。

【0009】 用於眼球增強的軟性隱形眼鏡（不論是用於定製的患者特定裝置、老花眼、散光、妝飾或治療目的及/或其他光學缺陷或矯正）可藉由合併非光學特徵來進一步改善，此等非光學特徵利用沿本文所描述之連續

區的系統最佳化應變能的原理來實現鏡片位於眼球上時的最佳定位、移動、位向及/或穩定性，所有此等可正面影響舒適度與視力，並以符合成本效益的方式執行此等功能。上文所描述之先前技術裝置採用導致做出某些取捨的特徵及設計，例如，針對視敏度的舒適性及合適性、針對健康及視力的鏡片共軸及移動、或具有大量 SKU 以適當處理患者差異的鏡片系統。因此，需要改善眼睛效能且同時維持眼球健康以及高度舒適性及視力的隱形眼鏡。

【發明內容】

【0010】 根據本發明之隱形眼鏡藉由使用設計元素/特徵克服了與上文簡要描述之先前技術關聯的缺點，此等設計元素/特徵易於抵消/復原力的理想平衡，且具體而言最佳化所得應變能以便實現隱形眼鏡之所欲共軸性、移動、位向、及/或穩定性。當置放在具有特定機械特性的特定眼睛表面上時，具有特定機械特性的特定鏡片設計將以產生一獨有總應變狀態的方式與該眼睛表面相互作用。若在不同眼睛表面幾何形狀上置放具有相同機械特性的此相同鏡片設計，則應變狀態將不同。同樣地，當置放在此相同眼睛表面上時，具有不同機械特性的不同鏡片設計亦將導致不同的總應變狀態。重點在於，鏡片之鏡片設計及機械特性以及眼球組織物質之眼睛形狀及機械特性兩者不僅導致兩個物件之間的應力及應變之複雜相互作用，而且提供機會改善鏡片與其上置放有該鏡片之眼睛表面的相互作用。

【0011】 應變能狀態的最佳化包括但不限於：最小量之應變能之位置；應變能狀態之形狀或變化率兩者；及沿不同方向或維度或在經選擇區域或表面中改變應變能狀態。本發明亦關於隱形眼鏡設計，其中以同心或徑向方式最佳化應變能狀態以允許隱形眼鏡相對於眼睛表面之受限但必要的移動，同時保持鏡片之所需共軸性以確保維持有品質之視力。藉由以雙模態對稱方式修改鏡片/眼球系統之應變能狀態，可解決老花眼，而無需平移式隱形眼鏡之複雜設計。藉由沿角膜之矢狀面界定第一最佳化應變狀態，及沿角膜之多個橫剖面界定第二最佳化應變狀態（各應力狀態係不同的），可相對於角膜實現就範圍與方向兩者而言達成隱形眼鏡之最佳化的移動/平移，而無需潛在不舒適的設計特徵。藉由以圓周或角度方式修改鏡片/眼球體系之應變能狀態，可解決散光患者的穩定化需求，而無需用以實現

習知隱形眼鏡中的穩定化而可導致不適的優先厚區。藉由改變應變能狀態之變化率，可改變穩定性之變化率，並且基本上「撥入(dial in)」跨組件之穩定化的所欲時間。

【0012】 應變能最佳化且因此鏡片相對於其上置放有該鏡片的眼球之所欲移動及定位可藉由下列實現：改變隱形眼鏡材料之機械特性；改變隱形眼鏡之厚度；改變隱形眼鏡之邊緣設計；以及選擇性改變任何數量之平面或經線中的後曲率，特別是在周邊區域中。本發明之隱形眼鏡可與任何類型之隱形眼鏡光學件一起使用，而無額外成本，並且經最佳化以改善臨床舒適性及/或生理學。

【圖式簡單說明】

【0013】 從以下對本發明較佳實施例之更詳細說明中，如所附圖式所繪示，將更清楚明白本發明之前述及其他特徵與優勢。

圖 1A 與圖 1B 分別提供隱形眼鏡之俯視圖及側視圖，其等展示可根據本發明最佳化之感興趣的代表性區域。

圖 2A 提供眼球上的鏡片及根據本發明處理的經選擇力(外力與復原力)中的一些之示意性代表圖。

圖 2B 與圖 2C 以圖形描繪了鏡片之移動，更特定而言描繪在一般眨眼循環期間由於鏡片上的外力與復原力而分別在 X 方向與 Y 方向上的鏡片位移。

圖 3 提供根據本發明所採用之設計方法學之流程圖形式的高層次概觀。

圖 4 提供表格，並展示出根據本發明的所得最小應變能之量值與三個例示性情形中的徑向位置之間的理想化關係以及其如何影響鏡片的移動及共軸性。

圖 5A 係根據本發明的典型所得應變能圖，其按鏡片位置繪示應變能之量值且係最佳化程序之結果。

圖 5B 係根據本發明的第二例示性所得應變能圖，其繪示相對於圖 5A 所展示之圖之經增加應變能變化率。

圖 5C 係根據本發明的第三例示性所得應變能圖，其繪示相對於圖 5A 所展示之圖之經減小應變能變化率。

圖 6A 展示根據本發明之按鏡片位置的例示性雙側對稱應變能圖，其可有用於以所欲方式控制鏡片移動。

圖 6B 展示根據本發明的具有額外修改的例示性更高階雙側對稱應變能圖，其可有用於以所欲方式進一步控制鏡片移動。

圖 7A 至圖 7C 繪示根據本發明的可如何在角度/旋轉基礎上調適應變能以可有用於實現有效旋轉穩定化。

圖 8 展示具有理想化多半徑曲線覆蓋在橫截面上的眼睛表面幾何形狀之典型橫截面，從而突出顯示所存在之曲率半徑差異。

【實施方式】

【0014】 針對本發明之目的，如圖 1A 所示，將隱形眼鏡 10 界定成至少三個不同區域。內部區域 11 係從之可得到視力矯正者，隱形眼鏡 10 之外周邊區域 13 提供隱形眼鏡 10 在眼球上的機械穩定度，而中間區域 12 則位於內部區域 11 與外部區域 13 之間，用於以平順的方式交融兩個前述區域而使其間不會發生突然的不連續。在一些例示性實施例中，中間區域 12 可為非必需。

【0015】 內部區域 11 或光學區提供視力矯正並且係針對特定需求而設計，例如單一視力矯正、散光視力矯正、雙焦視力矯正、多焦視力矯正、客製矯正或任何其他可提供視力矯正的設計。外周邊或周邊區 13 提供隱形眼鏡在眼球上的基本貼合及穩定化，包括共軸或位向。當光學區包括非旋轉對稱特徵時，例如散光矯正及/或高階像差矯正，位向穩定化就非常重要。可選的中間區域或區 12 確保光學區與周邊區為平順交融。重要的是請留意，光學區 11 與周邊區 13 兩者皆可獨立設計，雖然當特定要求為必要時，其設計有時為強烈相關。例如，具有散光光學區之複曲面鏡片設計可能需要一特定周邊區，以使隱形眼鏡在眼睛上維持預定位向。

【0016】 針對本發明之目的，如圖 1B 所示，亦可由前表面 14、背表面或基底曲線 15 與邊緣 16 來界定隱形眼鏡。隱形眼鏡之前表面與背表面係由至少三個區域來描述：內部區域 11，可自其得到視力矯正；隱形眼鏡之外部區域 13 或周邊，其提供隱形眼鏡在眼球上的機械穩定度；而可選的中間區域 12 則位於內部區域 11 與外部區域 13 之間，其用於以連續及/或平順的方式接合及/或交融兩個前述區域而使其間不會發生不連續。鏡片厚度

係一個重要變數，該變數係可最佳化的且可在三個區域之任何者中判定，但較佳地藉由在水平定位鏡片時僅量測前表面 14 與背表面 15 之間的相對垂直距離在外部區域或周邊區域 13 中判定。邊緣 16 係隱形眼鏡 10 之周緣，並且係最佳化方案中將考慮的另一有效變數。針對本發明的目的，邊緣 16 之形狀可以是圓形或非圓形。若在給定平面上的邊緣投影係圓形，則邊緣 16 被認為是圓形，否則邊緣被認為是非圓形。鏡片之此等參數及其他幾何變數之各者可視為輸入及可變化以試圖實現所欲應變能狀態。

【0017】 應變能係一種類型之位能，且因此可被量測。當固體處於負載下並因該負載而變形時，可在固體內儲存應變能。因此，未變形狀態中的固體對應於零應變狀態。當在眼球上置放鏡片時，鏡片可撓曲以匹配眼睛表面之形狀。因此，鏡片中的此變形可導致鏡片內儲存之應變能增加。置放在鏡片上的負載亦可導致鏡片相對於眼睛表面位移。置放在眼球上時的鏡片變形及/或位移程度將取決於眾多因素，諸如作用於鏡片上的力/負載之量值、眼睛表面幾何形狀、鏡片之幾何形狀、隱形眼鏡與人類角膜兩者之機械特性，包括如彈性模數之此類材料特性，以及此等物件之表面之間的相互作用。如圖 2A 所示，重要的是對所謂的外力 21 與所謂的復原力 22 作出區別，因為此等力之量值明顯不同。主外力 21 係在將鏡片 10 定位於眼球上時由上眼瞼 23 及下眼瞼 24 賦予隱形眼鏡 10 的彼等力，並且在量值上傾向於明顯比復原力 22 更高。復原力 22 可受到下列事項影響：諸如鏡片與角膜表面之間的摩擦，以及當鏡片與眼睛表面幾何形狀相互作用時因鏡片 10 本身變形而產生的鏡片 10 之內應力狀態。外力一般在量值方面傾向於比復原力更大，而儘管重力（未圖示）將視為額外外力，但在許多情況下，將忽略此等重力之量值。另外，可存在旋轉力或扭矩 25，此等旋轉力或扭矩將對鏡片 10 賦予旋轉移動，而非賦予平移。當涉及諸如鏡片穩定化、共軸性及移動之事項時，此等類型之復原力特別重要。因此，如圖 2A 所示，在眨眼期間，由於眼瞼對鏡片 10 本身賦予外力 21，鏡片可能存大幅度移動。可量測此等移動；在圖 2B 及圖 2C 中展示此類量測，兩圖分別用圖形描繪鏡片之垂直(Y)與水平(X)位移。圖 2B 與圖 2C 包括針對多次連續眨眼在給定方向（Y 或 X 方向）上的鏡片移動之實際數據，並展示針對單次眨眼在 Y 或 X 方向上的鏡片移動之理想化曲線。由眨眼一開始時（標記

為「A」的點）、一直到眨眼結束（標記為「B」的點）、到最終靜置位置（標記為「C」的點）的點展示單次眨眼的鏡片位移。點「A」與點「B」之間的鏡片位移係對鏡片施加外力 21 的直接結果。在圖 2B 所示之 Y 位移的情況下（右側影像），此將主要來自上眼瞼對鏡片所施加的力，從而導致上部(S)移動或下部(I)移動。在圖 2C 所示之 X 位移的情況下，此位移起因於上眼瞼與下眼瞼兩者對鏡片所施加的力，從而導致顳部(T)移動或鼻部(N)移動。在眨眼及施加外力 21 之後，復原力 22 開始起作用，點「B」與點「C」之間的鏡片位移即此等復原力 22 對鏡片作用所導致，最終導致鏡片 10 重新定位至靜置位置，如圖 2B 與圖 2C 兩者所展示。此程序在每次眨眼後重複鏡片之垂直(Y)與水平(X)位移兩者。在如圖 2B 所展示之垂直位移情況下，眨眼之每一序列伴隨鏡片 10 本身的較大移動，描繪先向下而隨後向上，此係因為施加外力 21。隨後，復原力 22 主要賦予向下移動，起初較大，但位移量值隨著時間推移減小，一直到鏡片 10 實質上復原至開始或靜置位置，直到緊接著的下一次眨眼再重複此過程。類似地，參看圖 2C，該圖展示鏡片在 X 方向上的移動時外力及復原力之影響，此等位移曲線圖一起展示因外力（眼瞼）與復原力（眼球上的鏡片）兩者造成之鏡片在眼球上的相互作用。

【0018】 根據本發明，可將最佳化應變能狀態視為依待改變之鏡片與眼球兩者之幾何及機械特性輸入而變化直至所欲能量應變能狀態實現。所欲應變能狀態可取決於試圖解決的條件而不同，諸如改善的共軸性、平移、或旋轉。根據本發明的此方法學之使用及所得隱形眼鏡亦可改善鏡片穩定化、光學矯正及舒適性。幾何及機械特性輸入可包括但不限於鏡片厚度、鏡片邊緣幾何形狀、鏡片基底曲線、鏡片前曲線、及鏡片彈性模數。此可在函數上由下列給出的方程式表達：

$$\{\text{最佳應變能狀態}\}_{\text{條件}} = F\{LG, EG, LMP, EMP\},$$

其中 LG=鏡片幾何形狀，

EG=眼球幾何形狀，

LMP=鏡片機械特性，及

EMP=眼球機械特性。

【0019】 由於此等材料（水凝膠及生物組織）之本質，所以這並不是無關緊要的分析。此外，由於黏彈性考慮，上文情況評估及式計算因環境、溫度以及負載下的時間而更加複雜。即使在具有明確定義之線型彈性材料的情況下，仍不易真正理解此能態，更何況是具有複雜不對稱幾何形狀的各向異性黏彈性材料。為了解決此問題，有限元素分析(「FEA」)之使用提供了在負載、材料特性及邊界條件的給定集合下評估及計算物件之應力及應變的分析方法學。可採用 FEA 之迭代使用以評估具有相似機械特性的不同幾何形狀在給定負載條件下將如何表現以收斂至最佳解。在使用最佳化技術及識別關鍵參數及與其他參數之關係的情況下，可發展最小化關係，隨後可使用 FEA 迭代求解此最小化關係以顯示理想的最佳化幾何形狀，其針對函數中給定的條件集合以所欲方式表現。可定製眼睛表面幾何形狀輸入，或在代表性群體上對眼睛表面幾何形狀輸入取平均，與眼睛表面之機械特性結合的此等輸入可隨後與理想化初始鏡片幾何形狀一起加以模型化。根據本發明，儘管鏡片區域（內部區域、中間區域、外周邊區域）、或鏡片表面（前表面或背表面）或兩者之間的厚度、或鏡片邊緣設計之任意者可係設計最佳化之目標，但較佳實施例是鏡片之外周邊區域之背表面的最佳化。具體而言，針對實現改善的共軸性、平移、旋轉及穩定化的特定目的之所得最佳化幾何形狀以及判定此等最佳化幾何形狀的方法是本發明之焦點。

【0020】 根據本發明，如圖 3 之流程圖所示，採用方法學 30 之概述得到鏡片之改善的應變能狀態。首先，將眼睛表面幾何形狀及初始鏡片幾何形狀輸入到 FEA 模型中 31。隨後，藉由執行 FEA 模型獲得隨位置變化之與所輸入眼睛表面幾何形狀相互作用的鏡片幾何形狀之應變能狀態 32。此步驟後接著使步驟二 32 之所得應變能圖與高階多項式函數擬合 33。隨後可迭代調整（亦即，最佳化）初始鏡片設計，使得所擬合應變能圖等效於所欲應變能狀態 35。舉例而言，在最佳化共軸之情形下，此將導致最小應變能狀態與理想共軸鏡片一致的鏡片設計 36。若應變能狀態在步驟五 34 中不一致（亦即，非可接受），則可再次迭代，直至實現所欲解 36。作為實例，對鏡片設計的可選額外二次調整以便最佳化更高階項(higher order term)可導致進一步減小鏡片相對於眼睛表面的移動，從而獲得的鏡片不僅在所欲

處居中，而且移動受限並居中於所欲共軸點周圍。此導致最佳幾何形狀及定位以及理想程度的移動及舒適性。共軸性可影響光學效能及在妝飾/美瞳(beauty lense)鏡片的情況下於配戴時鏡片呈現美觀性的方式。鏡片之一些移動對維持眼球健康係必要的，而過多移動則係非欲的，因為其可不利地影響視力及舒適度。在上述實例中，可輸入個體眼睛表面幾何形狀，或替代地，可能欲取決於希望達到的結果藉由在給定群體或群體子集上取平均來使用理想化幾何形狀。可針對其他狀況重複此方法，諸如在位於眼球上時實現最佳平移的鏡片以解決老花眼的需求，或實現最佳穩定化的鏡片以滿足散光患者的需求。為了處理此等情形，識別所欲目標應變能圖，並根據本發明，使用所指示方法學改變設計/材料輸入，直至分析收斂至針對彼特定狀況的目標應變能圖。

【0021】 在本發明之一較佳態樣中，利用最小化應變能差異來最佳化眼球上的鏡片共軸性之製造隱形眼鏡的方法包括以下步驟：將眼睛表面幾何形狀及初始隱形眼鏡幾何形狀輸入到分析模型中；隨後獲得與預先輸入之眼睛表面幾何形狀相互作用的隱形眼鏡幾何形狀之初始應變能狀態；接著，使所得應變能狀態與參數化多項式函數擬合；及隨後，改變隱形眼鏡幾何形狀並獲得隱形眼鏡幾何形狀之新應變能狀態，直至實現經平衡（亦即，所欲的）的應變能圖。根據本發明，在使用參數化多項式函數最小化初始應變能狀態與新應變能狀態之間的差異時實現經平衡應變能圖。

【0022】 圖 4 展示針對相對於可為所欲的鏡片之徑向位置之每一輸入項(entry)的一系列三個理想化應變能曲線。因此，在每一情況中，垂直軸表示應變能位準，而水平軸表示每一實例中的徑向位置。在第一實例中，曲線 41 表示理想化狀態，其中最低應變能緊密居中於導致最小移動的單個點周圍，且因此在除了零徑向位置之外的任何位置處，應變能迅速增加。考慮到將鏡片移動離開中心位置所需的能量將需要克服迅速上升及高量值應變能狀態，忽略明顯較大外力，此條件將相當於鏡片因復原力而展示出最小移動。與曲線 41 相比，曲線 43 導致最小應變能，其佔據了徑向位置之較大寬度，另稱為共軸變化性。因此，考慮到在較寬徑向區域上此等區域中的應變能的值一致為低（或經最小化），在此徑向寬度上的鏡片之移動將可能增加。如先前所述，由於健康考量，不移動係非所欲。在此特定情

況下，增加的移動可在某些情形下為所欲，恰如過多移動可為非所欲一樣，因為此可對視力具有不利影響。最後，亦可實現由曲線 42 表示的中間條件，其中鏡片居中於最小低應變能狀態周圍，但鏡片/眼球相互作用允許解決健康與視力問題兩者的適度移動，同時保持共軸性。在自曲線 41 行進至曲線 42 至曲線 43 時，看到共軸變化性增加以及鏡片之移動增加，如箭頭所指示。取決於對共軸性及/或鏡片移動的所欲需要，可調適幾何形狀及特性以實現所欲效果。實際上，此等三個曲線表示沿可使用的潛在解之連續區的狀態，並且儘管在圖中僅表示三個條件，但沿此連續區可存在多個條件。

【0023】 圖 5A 至圖 5C 展示上文關於圖 3 所描述之先前所述方法學 30 之所得應變能等位線圖 50。在此圖 50 中，垂直軸 51 表示沿下部-上部軸的幾何位置，而水平軸 52 表示沿鼻部-顳部軸的幾何位置。各等位線表示特定位置處的所得應變能值。位於(0,0)處的中央區域 53 表示應變能之最小值，其中值隨著向外徑向移動至極限周邊而增加。在此具體實施例中，所得應變能圖是旋轉對稱的，意謂自(0,0)位置開始在任何方向上的任何向外徑向移動將導致應變能類似於亦自(0,0)位置開始的交替方向上的等效徑向移動而增加。因此，應變能是旋轉平衡的，且因此在此實例中鏡片將容易於(0,0)附近居中。自中心位置的任何移動將導致應變能增加，且因此鏡片將具有返回到其最小應變能狀態的自然傾向（亦即，由於復原力而居中）。由於此例示性實施例是旋轉對稱的，鏡片應變能增加的程度將導致就量值與方向兩者而言的等效復原力以使鏡片返回到最小能量位置（亦即，中心位置）。應將瞭解，在設計更改及最佳化參數下，可改變相對於眼睛表面幾何形狀的所需中心位置之位置。根據額外例示性實施例，可改變輸入參數及所得鏡片設計以實現應變能變化的替代梯度。因此，仍可實現旋轉對稱應變能圖，但可能增加應變能梯度（參看圖 5B），如相同徑向距離上的較多遞增所證明。或如圖 5C 所示，減少應變能梯度，與圖 5A 所示梯度相比具有較少遞增。因此，若欲藉由鏡片之幾何形狀或機械特性變化來增加或減小復原力之程度，可影響鏡片多快重新居中於最小能量位置及對偏心的阻力。

【0024】 在又一替代例示性實施例中，可改變應變能圖之對稱性以實現可有用於所欲方向性移動的所欲效果。藉由使用此方式，可根據本發明

獲得應變能圖，如圖 6A 所示。儘管圖 6A 所示之應變能圖不再是旋轉對稱的，此應變能圖具有應變能量值的雙側對稱性，其中沿垂直經線在垂直經線之顳側與鼻側兩者上存在等效對稱性及量值。在此實例中亦存在有在下部與上部兩者之對稱應變能，但應變能的值在垂直方向（下部/上部）上的等效移動變化率明顯小於顳部/鼻部方向上的變化率。因此，根據本發明，此鏡片幾何形狀將更傾向垂直地或在下部-上部方向上移動，而非水平（鼻部-顳部）移動，因為考慮到應變能變化率在此方向上增加，水平方向上對移動的阻力更大。導致如圖 6A 所示之雙側對稱應變能圖的具有一指定幾何形狀的鏡片設計可用於鏡片之優先下部-上部平移。可在不使用特定可不能舒適特徵的情況下實現此設計，因為總體幾何形狀經最佳化且經組態以在沒有特定設計特徵的情況下實現所欲結果。根據本發明，可建立沿外周邊區域具有基底曲線的背表面，此背表面在一或多個方向上變化或不同，從而可導致具有雙側對稱性不同應變能狀態。方向可以是水平、垂直或兩者之組合。

【0025】 根據又一例示性實施例，隱形眼鏡可經設計具有額外高階變化，其在維持主要垂直移動的同時，可引入移動之下部/鼻部分量。圖 6B 展示根據本發明的此類型鏡片相互作用之所得應變能圖。如前所述，可調整應變能之程度及變化率以獲得具有所欲之所意欲相互作用/移動的鏡片設計。

【0026】 根據又一例示性實施例，隱形眼鏡可經設計以實現容許快速有效且舒適的穩定化之應變能圖。舉例而言，藉由將此方法學應用於針對散光患者的複曲面類型鏡片之使用中，可最佳化相對於柱狀軸及/或徑向位置應變能。在如圖 7A、圖 7B、及圖 7C 之一系列曲線圖所示之此情境中，圖形指示相對於徑向位置及柱狀軸的應變能位準，由此展示在每一各別柱狀角度及徑向位置處的應變能。如在此情況中可見到的，所關注的移動係控制旋轉。藉由使得最小應變能位置與所欲角度柱狀軸一致，如圖 7A 所示，在此情況中為 15°之所欲目標柱狀軸，可實現針對此特定柱狀軸角度的最佳穩定化。因此，15°之所欲柱狀軸上方及下方的柱狀軸將具有較高位準之應變能，而超過此等的額外柱狀軸仍具有更高位準之應變能且因此將鏡片將傾向返回到較低應變能之位置，以將鏡片有效穩定在最小應變能位準

處（亦即，至 15°之柱狀軸）。相比之下，圖 7B 展示居中於 25°之柱狀軸周圍的最小應變能，注意與圖 7A 中的圖形相比，應變能之總體對稱性如何垂直向上偏移，但總體形狀及所欲梯度保持在一定程度上等效。此將導致鏡片穩定在 25°之柱狀軸，而非如圖 7A 所示的 15°之柱狀軸。然而，亦可在其他維度上「調整(tune)」應變能。如圖 7C 所示，儘管較不顯著，但徑向方向上的梯度程度（亦即，與所欲共軸中心的距離）可仍促進移動，且在此情況中，可幫助保持鏡片居中於所欲軸與所欲徑向位置兩者。如在其他例示性情形中，此處亦可改變梯度以實現關於鏡片多快返回到其靜置位置的所欲效果。將圖 7A 與圖 7C 對比，兩圖皆展示居中於 15°之柱狀軸周圍的最小應變能，儘管是兩圖皆具有圍繞 15°之柱狀軸的所欲最小應變能，但圖 7C 所示之最小應變能位置及梯度已自圖 7A 所示之所欲共軸中心位置徑向偏移。藉由沿兩個維度調適柱狀軸及所欲共軸中心，可實現快速且有效的穩定化，同時仍維持舒適性與視力需求。根據本發明，可使用此方法學生產隱形眼鏡，該隱形眼鏡具有背表面，背表面之幾何形狀經組態以與眼球之眼睛幾何形狀相互作用來產生相對於柱狀軸的對稱應變能狀態。當定位在眼球上時，此鏡片在對外力及復原力作出反應之後，將重新定位使得因眼球上的鏡片相互作用返回到最小（亦即，所欲的）應變能狀態而實現鏡片之所欲共軸性與相對旋轉兩者。

【0027】 圖 8 展示已被理想化所得曲線 80 覆蓋之眼睛表面幾何形狀之橫截面，此理想化所得曲線 80 是上文所描述之最佳化程序之結果。如此橫截面所示，可看到角膜 81 及虹膜 83。此曲線 80 包括與眼睛表面幾何形狀相互作用之多個半徑。眼睛表面或者隱形眼鏡表面之半徑或多個半徑的變化將導致此相互作用的變化且因此影響所得應變能圖。

【0028】 儘管所顯示與所描繪者是被認為最實用且最佳的實施例，但對所屬技術領域中具有通常知識者來說，仍可輕易思及偏離所描述且所顯示的特定設計與方法，且可加以運用而不脫離本發明的精神與範疇。本發明並不限於所敘述及繪示的具體構造，而是應建構為符合可落在所附申請專利範圍之範疇內的所有修改形式。

【符號說明】

10...隱形眼鏡；鏡片

11...光學區域；內部區域

12...中間區域或區

13...周邊區域/外部區域

14...前表面

15...基底曲線；背表面

16...邊緣

21...外力

22...復原力

23...上眼瞼

24...下眼瞼

25...旋轉力/扭矩

30...方法學

31...步驟

32...步驟

33...步驟

34...步驟

35...步驟

36...步驟

41...曲線

42...曲線

43...曲線

50...所得應變能等位線圖

51...垂直軸

52...水平軸

53...中央區域

80...理想化所得曲線

81...角膜

83...虹膜

申請專利範圍

1. 一種最佳化眼球上一隱形眼鏡之共軸性的方法，該方法包含以下步驟：

將眼睛表面幾何形狀及初始隱形眼鏡幾何形狀輸入到一分析模型中；

獲得該隱形眼鏡幾何形狀的一初始應變能狀態，該隱形眼鏡幾何形狀與該眼睛表面幾何形狀相互作用；

使該所得應變能狀態與一參數化多項式函數擬合；

改變隱形眼鏡幾何形狀並獲得該隱形眼鏡幾何形狀之一新應變能狀態，直至實現一經平衡應變能圖，其中在使用該參數化多項式函數最小化該初始應變能狀態與該新應變能狀態之間的差異時實現該經平衡應變能圖；及

製造採用該最小化應變能差異的一隱形眼鏡。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該經平衡應變能圖具有一最小應變能位置，該位置同時水平地且垂直地居中在用於一給定鏡片幾何形狀及眼睛表面幾何形狀的經選擇靜置位置處。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，該方法藉由進一步控制該經平衡應變能圖相對於眼球上的鏡片位置之斜率或變化率來最佳化眼球上的該鏡片之移動。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，該方法藉由進一步控制該經平衡應變能相對於眼球上的鏡片位置之不對稱性來最佳化眼球上的該鏡片之移動。

5. 如申請專利範圍第 3 項所述之方法，其中該鏡片之該移動係旋轉的。

6. 如申請專利範圍第 4 項所述之方法，其中該鏡片之該移動係旋轉的。

7. 一種定位在眼球上的隱形眼鏡，該眼鏡包含：

一內光學區，其經組態以用於矯正視力；

一外周邊區，其圍繞該內光學區且經組態以用於為眼球上的該隱形眼鏡提供機械穩定性；及

至少一個鏡片參數，該至少一個鏡片參數待最佳化以實現眼球上的一理想所得應變能狀態，用以實現一預定條件，其中該鏡片參數選自由下列組成之群組：鏡片厚度、鏡片邊緣幾何形狀、鏡片基底曲線、鏡片

前曲線及鏡片彈性模數，且其中該預定條件選自由下列組成之群組：鏡片共軸性、鏡片平移、鏡片旋轉、鏡片穩定化、鏡片光學矯正及鏡片舒適性。

8. 一種隱形眼鏡，該眼鏡包含：

一內光學區，其經組態以用於矯正視力；及

一外周邊區，其圍繞該內光學區且經組態以用於為眼球上的該隱形眼鏡提供機械穩定性，該外周邊區具有一背表面，其中該背表面包含沿該外周邊區域的一基底曲線，其中沿水平方向、垂直方向或者兩個方向分化該周邊基底曲線而導致該應變能平衡以產生該所得應變能狀態。

9. 一種定位在眼球上的隱形眼鏡，該眼鏡包含：

一內光學區，該內光學區包含在一柱狀軸處的一柱狀屈光度，該屈光度經組態用於視力矯正；及

一外周邊區，其圍繞該內光學區且經組態以用於為眼球上的該隱形眼鏡提供機械穩定性，該外周邊區具有一背表面，其中該背表面幾何形狀經組態以與該眼球之該眼睛幾何形狀相互作用以產生相對於該柱狀軸的一所得對稱應變能狀態。

10. 如申請專利範圍第 7 項所述之隱形眼鏡，其中該應變能狀態在一或多個維度上不對稱。

11. 如申請專利範圍第 8 項所述之隱形眼鏡，其中該應變能狀態在一或多個維度上不對稱。

12. 如申請專利範圍第 9 項所述之隱形眼鏡，其中該應變能狀態在一或多個維度上不對稱。

13. 如申請專利範圍第 7 項所述之隱形眼鏡，其中該應變能狀態藉由組合不同鏡片材料獲得。

14. 如申請專利範圍第 8 項所述之隱形眼鏡，其中該應變能狀態藉由組合不同鏡片材料獲得。

15. 如申請專利範圍第 9 項所述之隱形眼鏡，其中該應變能狀態藉由組合不同鏡片材料獲得。

16. 如申請專利範圍第 7 項所述之隱形眼鏡，其中該隱形眼鏡經組態以矯正老花眼。

17. 如申請專利範圍第 8 項所述之隱形眼鏡，其中該隱形眼鏡經組態以矯正老花眼。
18. 如申請專利範圍第 9 項所述之隱形眼鏡，其中該隱形眼鏡經組態以矯正老花眼。
19. 如申請專利範圍第 7 項所述之隱形眼鏡，其中該隱形眼鏡經組態以矯正散光。
20. 如申請專利範圍第 8 項所述之隱形眼鏡，其中該隱形眼鏡經組態以矯正散光。
21. 如申請專利範圍第 9 項所述之隱形眼鏡，其中該隱形眼鏡經組態以矯正散光。
22. 如申請專利範圍第 7 項所述之隱形眼鏡，其中該隱形眼鏡經組態以用於妝飾目的。
23. 如申請專利範圍第 8 項所述之隱形眼鏡，其中該隱形眼鏡經組態以用於妝飾目的。
24. 如申請專利範圍第 9 項所述之隱形眼鏡，其中該隱形眼鏡經組態以用於妝飾目的。
25. 如申請專利範圍第 7 項所述之隱形眼鏡，其中該隱形眼鏡經組態以用於治療目的。
26. 如申請專利範圍第 8 項所述之隱形眼鏡，其中該隱形眼鏡經組態以用於治療目的。
27. 如申請專利範圍第 9 項所述之隱形眼鏡，其中該隱形眼鏡經組態以用於治療目的。
28. 如申請專利範圍第 7 項所述之隱形眼鏡，其中該所得應變能狀態在維持視力矯正的同時最大化眼球舒適度。
29. 如申請專利範圍第 8 項所述之隱形眼鏡，其中該所得應變能狀態在維持視力矯正的同時最大化眼球舒適度。
30. 如申請專利範圍第 9 項所述之隱形眼鏡，其中該所得應變能狀態在維持視力矯正的同時最大化眼球舒適度。

圖式

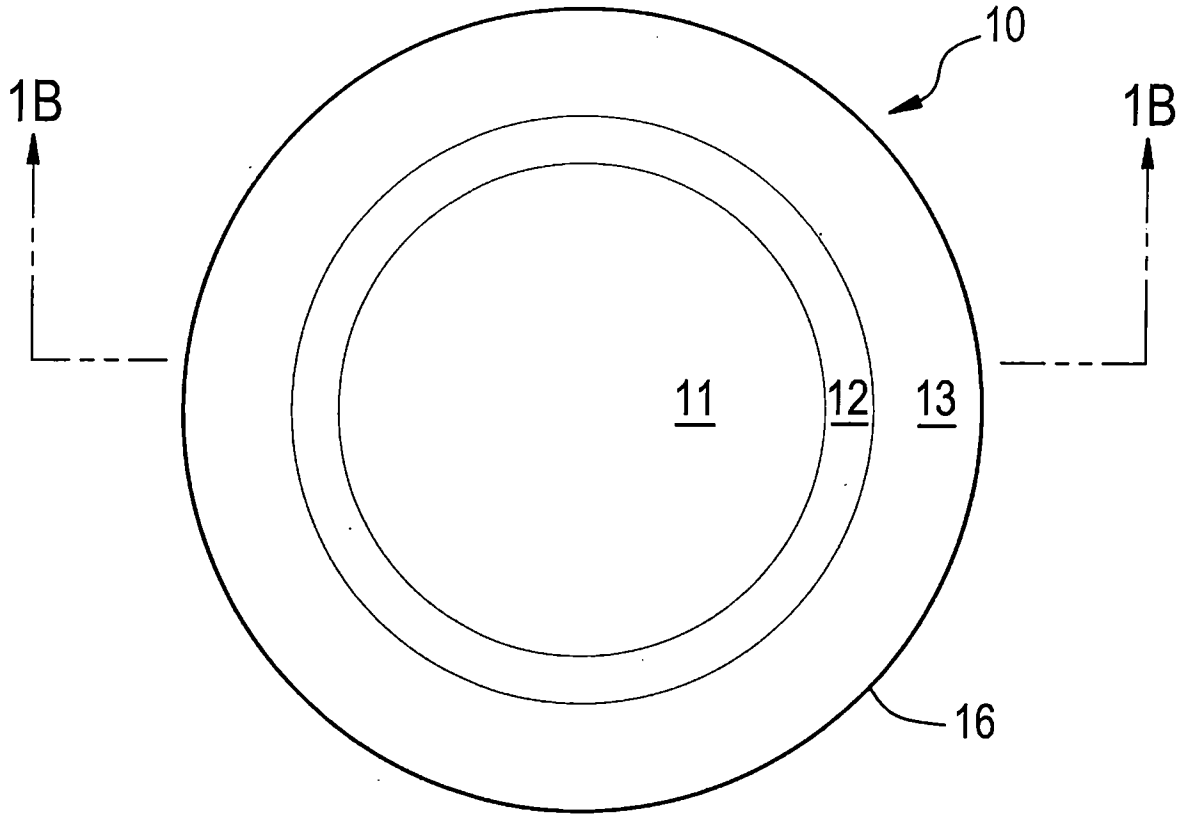


圖1A

圖1B

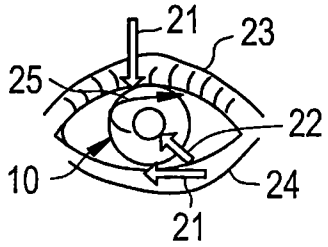
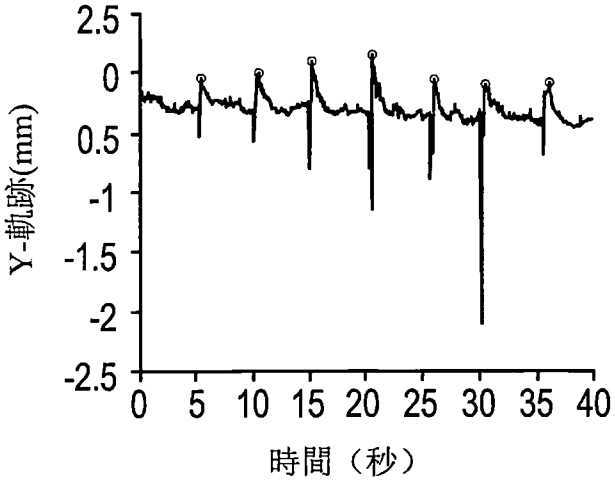
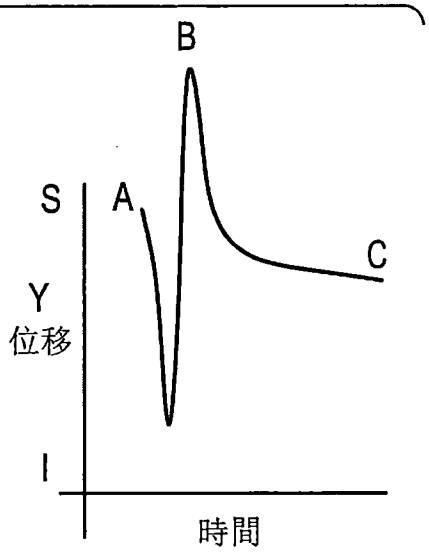


圖2A

圖2B

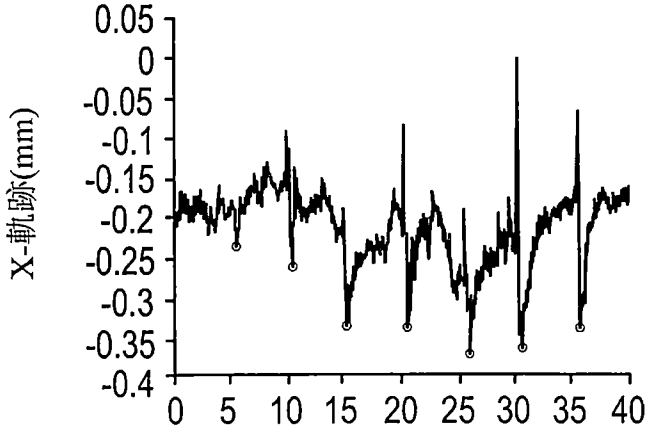


來自連續眨眼的數據

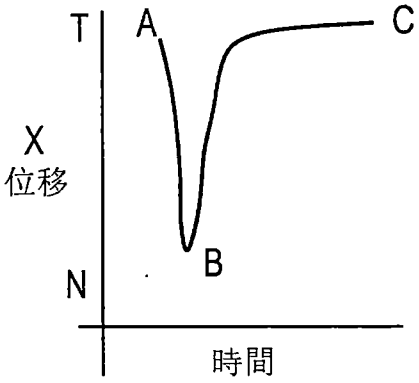


理想化單次眨眼

圖2C



來自連續眨眼的數據



理想化單次眨眼

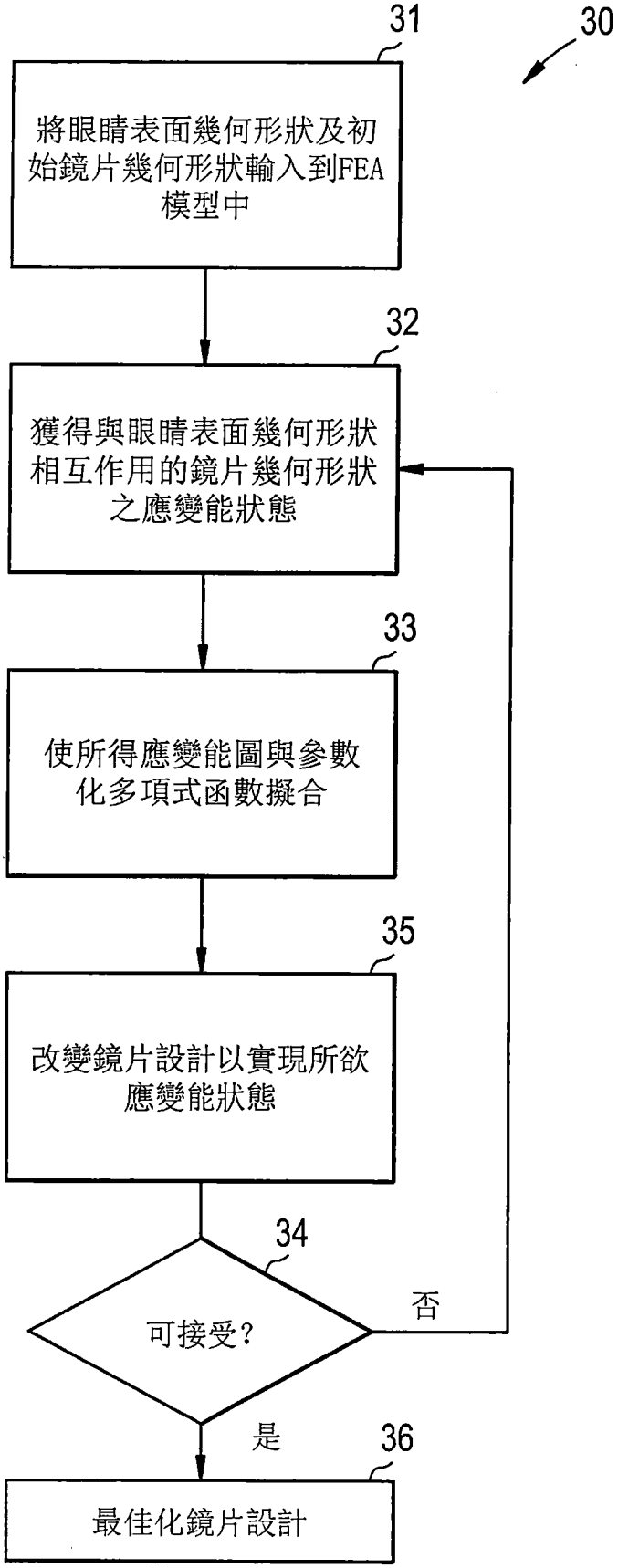

30
31
將眼睛表面幾何形狀及初始鏡片幾何形狀輸入到FEA模型中
32
獲得與眼睛表面幾何形狀相互作用的鏡片幾何形狀之應變能狀態
33
使所得應變能圖與參數化多項式函數擬合
35
改變鏡片設計以實現所欲應變能狀態
34
可接受?
否
是
36
最佳化鏡片設計

圖3

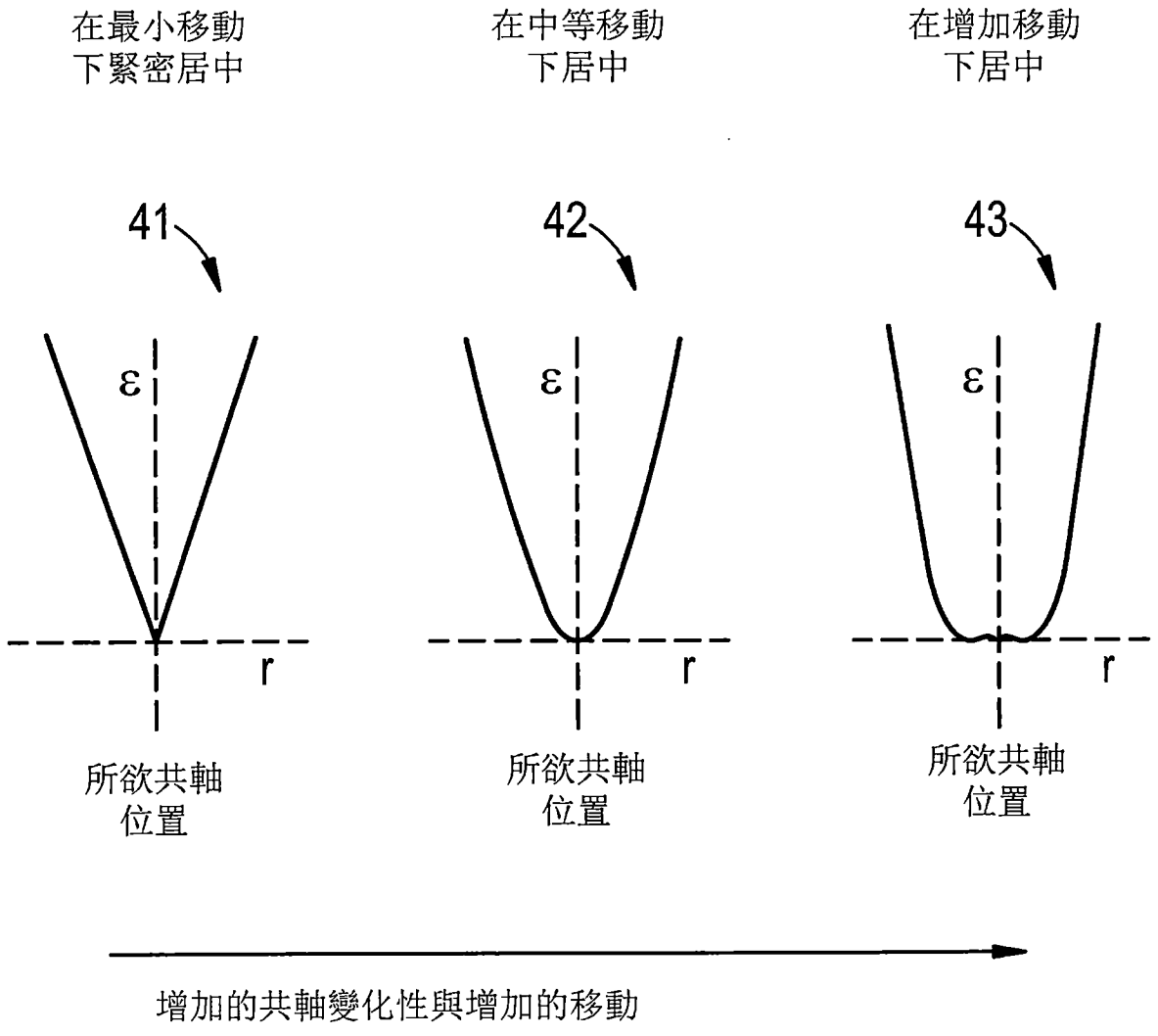

在最小移動
下緊密居中
在中等移動
下居中
在增加移動
下居中
41
42
43
ε
ε
ε
r
r
r
所欲共軸
位置
所欲共軸
位置
所欲共軸
位置
增加的共軸變化性與增加的移動

圖4

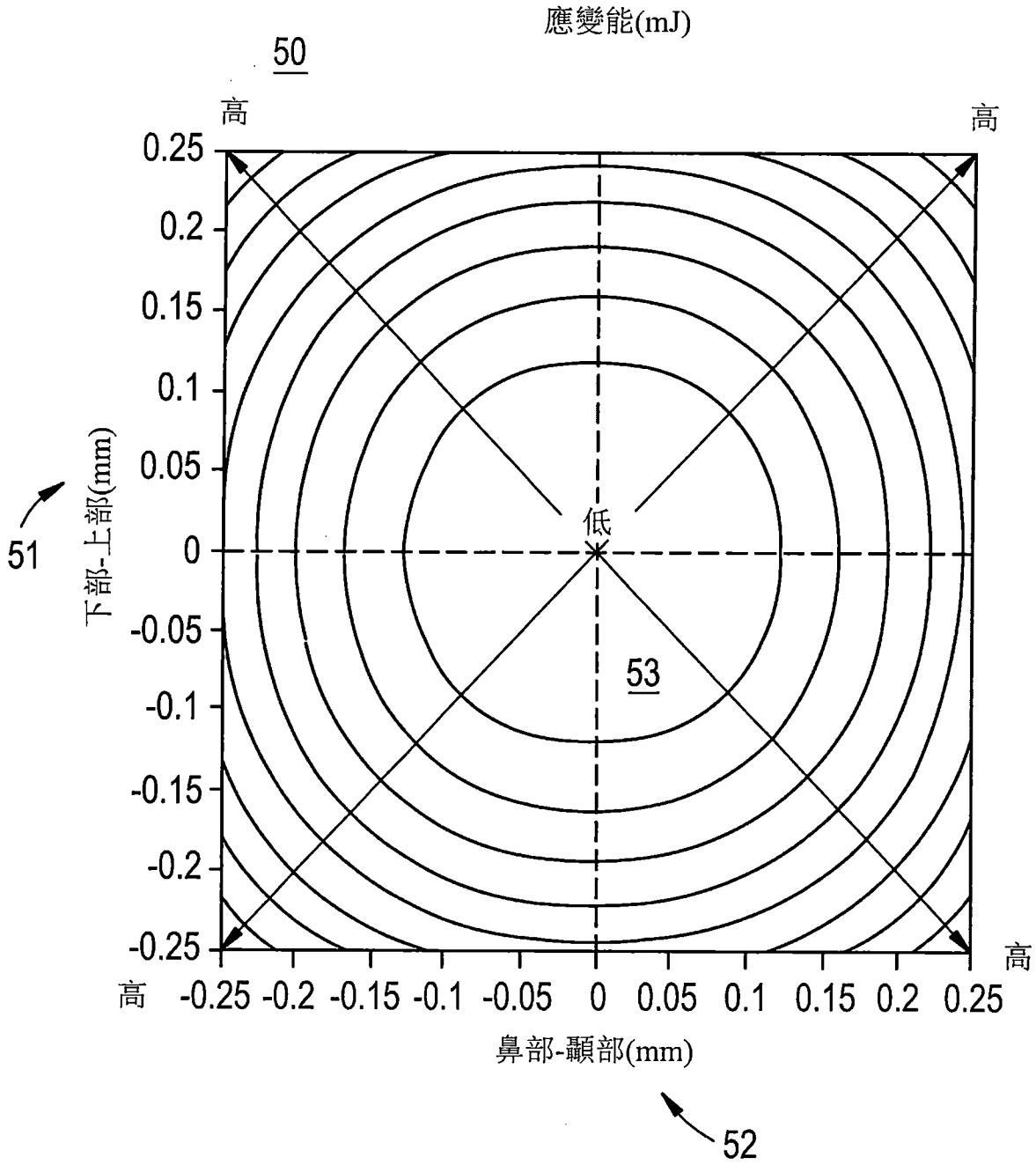

應變能(mJ)
50
高
高
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
低
53
51
下部-上部(mm)
高
高
-0.25 -0.2 -0.15 -0.1 -0.05 0 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25
鼻部-顳部(mm)
52

圖5A

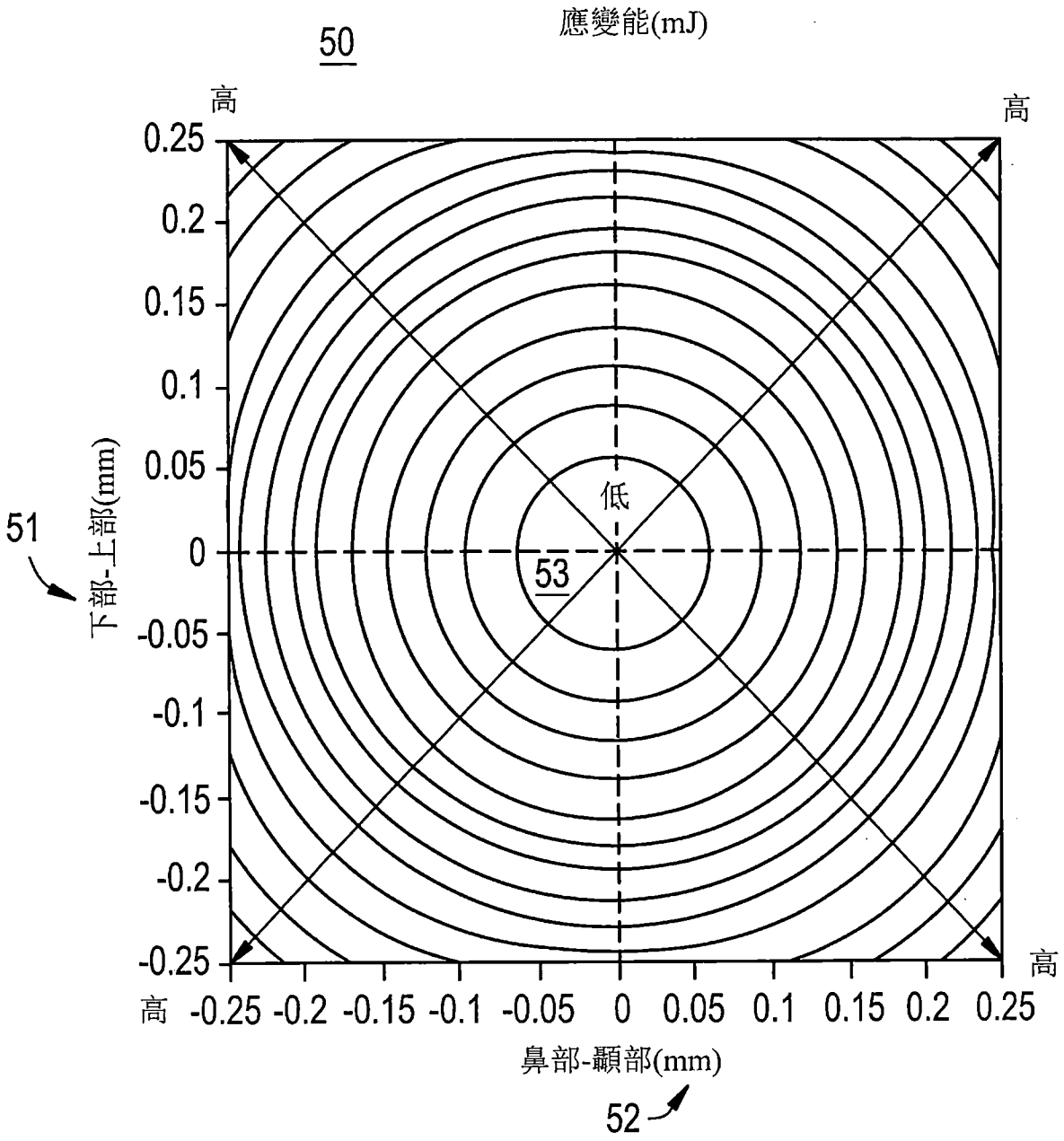

50
應變能(mJ)
高
高
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
低
53
51
下部-上部(mm)
高
高
高 -0.25 -0.2 -0.15 -0.1 -0.05 0 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25
鼻部-顳部(mm)
52

圖5B

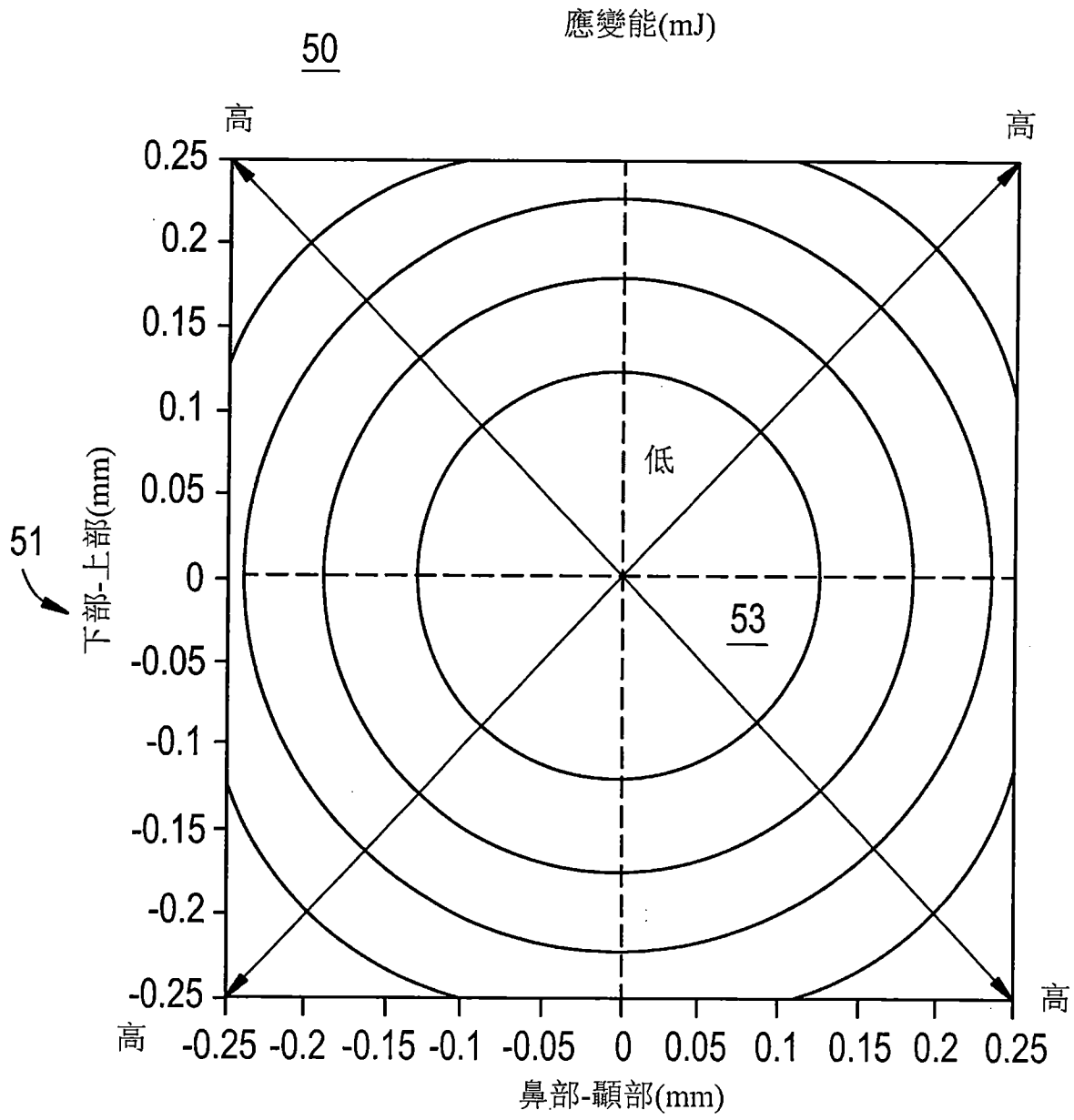

應變能(mJ)
50
高
高
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
低
53
51
下部-上部(mm)
高
高
-0.25 -0.2 -0.15 -0.1 -0.05 0 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25
鼻部-顴部(mm)
52

圖5C

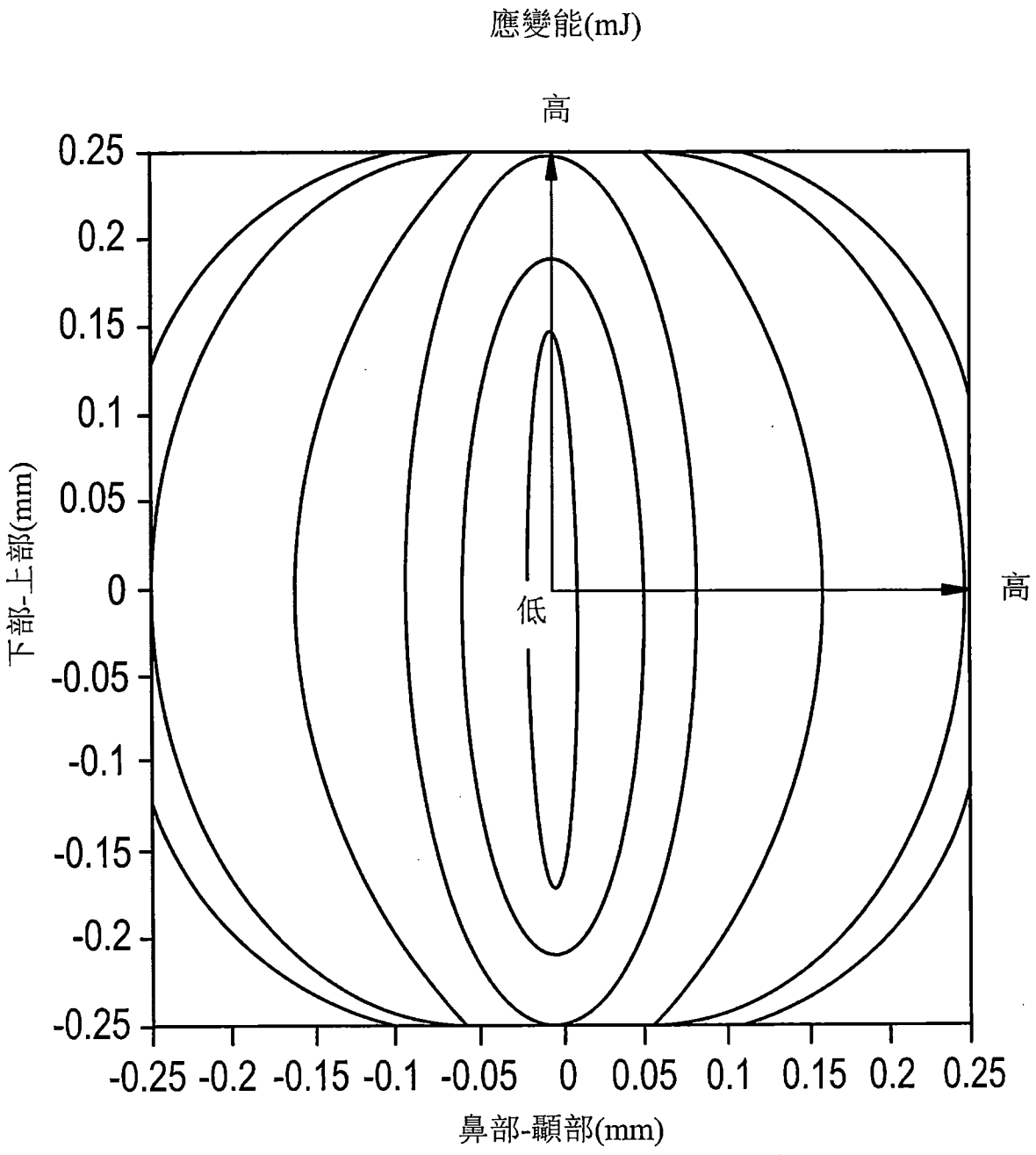

應變能(mJ)
高
低
高
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
下部-上部(mm)
-0.25 -0.2 -0.15 -0.1 -0.05 0 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25
鼻部-顳部(mm)

圖6A

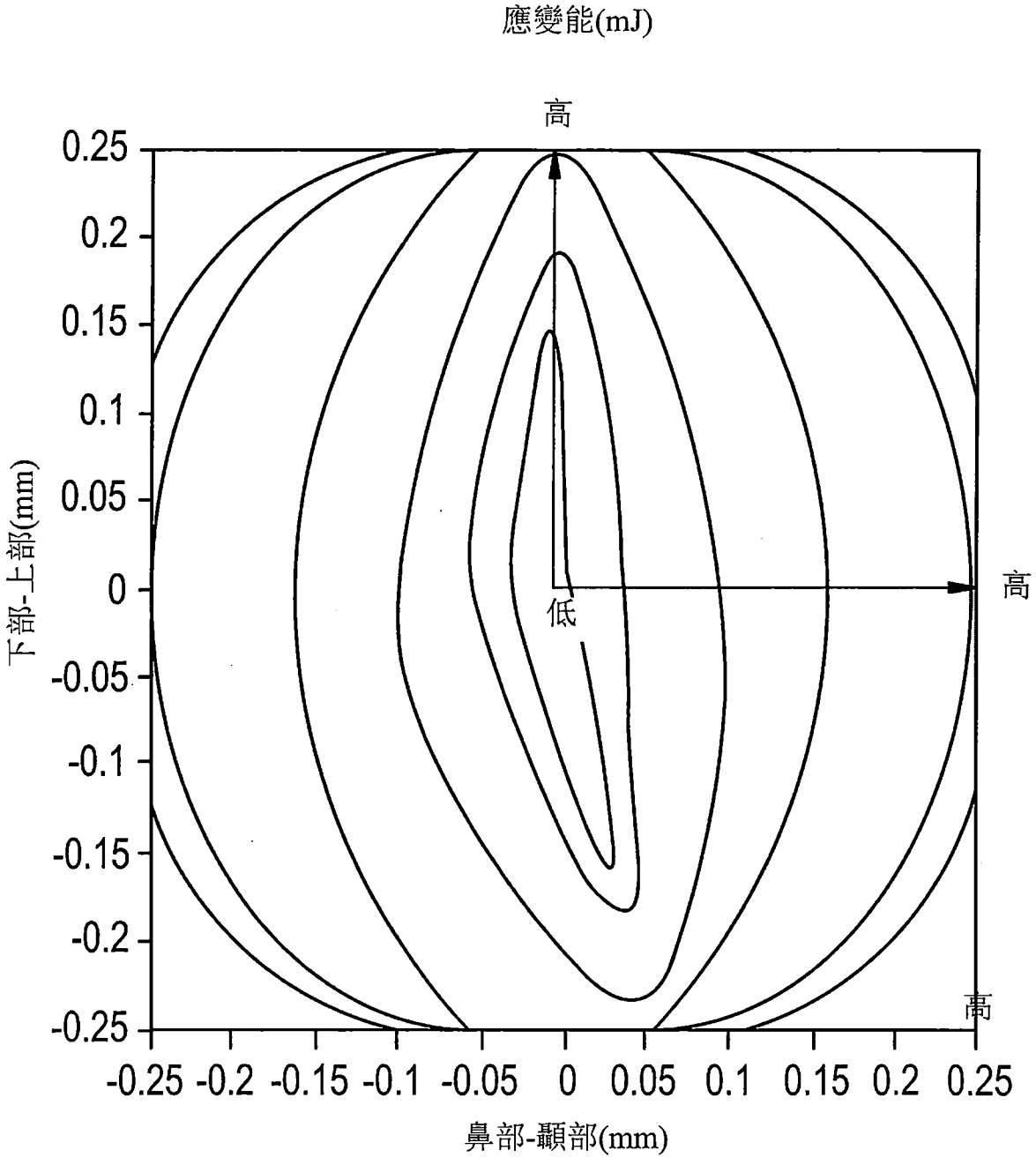

應變能(mJ)
高
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
下部-上部(mm)
低
高
高
-0.25 -0.2 -0.15 -0.1 -0.05 0 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25
鼻部-顳部(mm)

圖6B

15°柱面軸之最小應變能

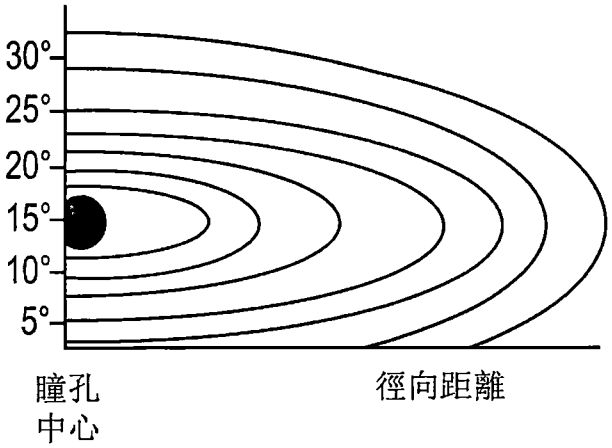


圖7A

25° 柱面軸之最小應變能

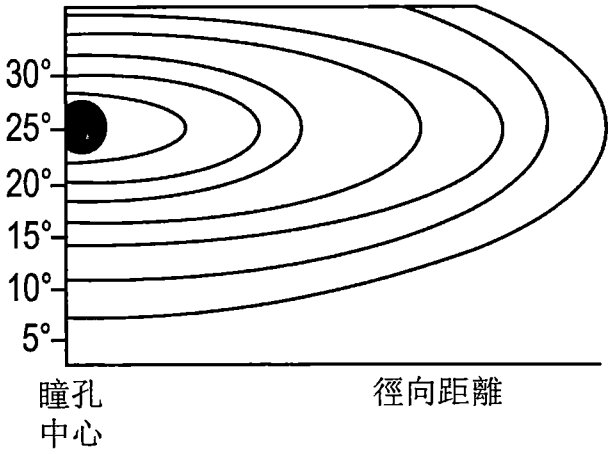


圖7B

具有徑向偏移的15° 柱面軸之最小應變能

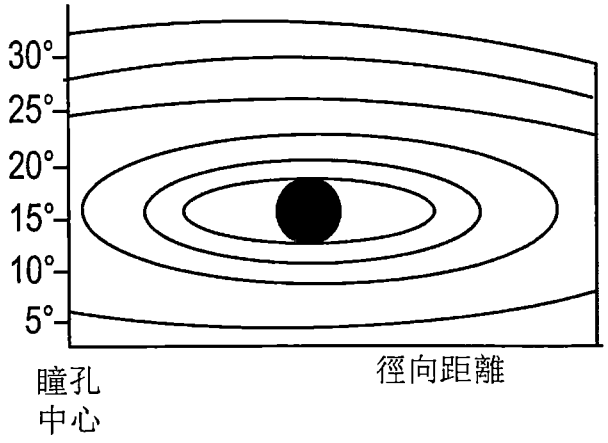


圖7C