



國立臺北科技大學

電資學士班 光電組

專題論文

頭戴式微型投影裝置光路設計
(Optical Design for Head Mounted
micro-projection Display)

專題生：陳彥羽

指導教授：林世穆 光學博士

中華民國 103 年 6 月

國立臺北科技大學專題論文

電資學士班－光電組編號：100820338

頭戴式微型投影裝置光路設計專題生 陳彥羽





國立臺北科技大學

電資學士班 光電組

專題論文

頭戴式微型投影裝置光路設計
(Optical Design for Head Mounted
micro-projection Display)

專題生：陳彥羽

指導教授：林世穆 光學博士

中華民國 103 年 6 月

摘要

論文名稱：頭戴式微型投影裝置光路設計

校所別：國立台北科技大學電資學士班 光電組

專題生：陳彥羽

指導教授：林世穆 博士

本專題主旨在探討頭戴式微型投影裝置光路設計，一開始會將所有光學成像系統最需要被討論的幾何像差仔細討論，其中包含球差(Spherical aberration)、彗差(Coma)、像散(Astigmatism)、場曲(Field curvature)、畸變(Distortion)及色像差(Chromatic Aberration)，要設計出一個好的光學成像系統必須先把這些因素都考量進去，定義完理論基礎之後，會對頭戴式微型顯示器(Head Mounted Display, 簡稱 HMD)做一個簡介，包含使用的顯示元件以及它的原理結構，並且討論現階段對我們在生活中應用以及重要性，接著會針對設計時要注意的規格需求一一做探討，接下來再簡述光學系統中三個重要的參數，分別為焦距(Focal length, 簡稱 FL)、視場角(Field of view, 簡稱 FOV)、焦比(F-number, 簡稱 $f/\#$ 又稱光圈)，所以該如何設計能使光路達到一個平衡且良好狀態是我們必須探討的重要課題，在基礎的參數和光學特性介紹和設定後，就會利用 OSLO 軟體進行光路的模擬。

由於隨著科技的快速發展，資訊傳遞的方式日新月異，如何將資訊有效且快速的連接並傳輸甚至是顯示已經成為目前最重要的研究課題。能夠將資料透過隨身攜帶並移動伴隨著工作、軍事、醫療或是娛樂等，進一步發展到每個人的日常生活中，人們的需要滿足的需求和標準越來越高，而頭戴式顯示器(Head Mounted Display, 簡稱 HMD)便成為了現今最熱門的研究議題，在 goole glass 正是上市後，也為 HMD 的市場投下一顆震撼彈，特別是他擁有著體積小重量輕的特點，並且具備傳資料、上網、拍照、攝影、導航等功能，幾乎是將一支智慧型手機或是一台電腦的功能集於一身，完全顛覆人們對傳統的想像。本專題會針對 goole 提出專利中的設計理念利用 OSLO 光學軟體來進行模擬，研究他設計的方式，透過光學光路一階尺寸 FL、FOV 和 $f/\#$ 做進一步界定，並嘗試建構出他的光路。

誌謝

很高興最後能夠順利完成這份專題，過程當中除了我的努力之外，當然還包含很多人在大三這一整年來對我的幫助和支持。

首先最感謝的當然是我的指導教授林世穆光學博士，因為他引領我進入了光學這塊領域，並且對於我在研究方法上給予細心的指導和適時的叮嚀，還有每次都能不厭其煩的為我解答問題；另外，也謝謝我的爸媽在生活上對於我的鼓勵及支持，讓我能夠專心的完成這份專題。

另外我也很感謝光學實驗室裡的學長姊，他們總是給我不同的建議和關心，對於我不會的地方指導我，還有其他同學們彼此之間的討論和切磋，這些都讓我覺得獲益良多。



目錄	
摘要.....	i
圖目錄.....	v
表目錄.....	viii
第一章 緒論.....	- 1 -
1.1 前言.....	- 1 -
1.2 研究動機與目的.....	- 1 -
第二章 理論基礎.....	- 2 -
2.1 幾何像差.....	- 2 -
2.1.1 球差(Spherical aberration).....	- 2 -
2.1.2 彗差(Coma).....	- 3 -
2.1.3 像散(Astigmatism).....	- 5 -
2.1.4 場曲(Field curvature).....	- 6 -
2.1.5 畸變(Distortion).....	- 7 -
2.1.6 色像差(chromatic aberration).....	- 7 -
第三章 HMD 簡介.....	- 9 -
3.1 HMD 的顯示元件介紹.....	- 9 -
3.1.1 液晶顯示器(LCD).....	- 9 -
3.1.2 矽基液晶顯示器(LCOS).....	- 11 -
3.1.3 有機發光二極體(OLED).....	- 12 -
3.1.4 微機電系統(MEMS).....	- 15 -
3.2 HMD 的結構和應用.....	- 16 -
3.2.1 HMD 的結構原理簡介.....	- 16 -
3.2.2 HMD 的發展和應用.....	- 17 -
第四章 HMD 的規格需求.....	- 23 -
4.1 重量.....	- 23 -
4.3 輝度(Luminance).....	- 23 -
4.4 視場角(Field of view).....	- 24 -
4.5 解析度(Resolution).....	- 24 -

4.6 鏡目距(Eye relief).....	- 26 -
4.7 視窗大小(Eye box).....	- 27 -
4.8 對比度(Contrast).....	- 27 -
4.9 調制轉換函數(Modulation Transfer Function)	- 28 -
第五章 一階尺寸 FL、FOV、F/#的進一步界定	- 30 -
5.1 光學系統三大重要參數	- 30 -
5.1.1 焦距(Focal length).....	- 30 -
5.1.2 視場角(Field of view).....	- 32 -
5.1.3 焦比(F-number).....	- 33 -
5.2 如何進一步界定三大參數	- 34 -
第六章 光路的建構與模擬	- 36 -
第七章 討論	- 45 -
第八章 結論	- 47 -
第九章 參考文獻	- 48 -



圖目錄

圖 1 球差示意圖	p.3
圖 2 有球差	p.3
圖 3 沒有球差	p.3
圖 4 彗差示意圖	p.4
圖 5 有彗差	p.4
圖 6 正彗差	p.4
圖 7 負彗差	p.4
圖 8 像散示意圖	p.5
圖 9 場曲示意圖	p.6
圖 10 有場曲	p.6
圖 11 理想無畸變	p.7
圖 12 枕形畸變	p.7
圖 13 桶形畸變	p.7
圖 14 色像差示意圖	p.8
圖 15 橫向及縱向色像差	p.8
圖 16 液晶顯示器原理結構示意圖	p.10
圖 17 薄膜電晶體液晶顯示器示意圖	p.10
圖 18 LCOS 技術概念圖	p.11
圖 19 LCOS 內部結構圖	p.11
圖 20 偏極分光鏡的工作原理	p.12
圖 21 OLED 基本結構圖	p.13
圖 22 OLED 各層示意圖	p.14
圖 23 OLED 原理示意圖	p.14
圖 24 MEMS 結構示意圖	p.15

圖 25 MEMS 應用示意圖-----	p.16
圖 26 可透視的 HMD 架構-----	p.17
圖 27 HMZ-T1 的外觀圖-----	p.17
圖 28 1280×720 的 EL 面板-----	p.17
圖 29 視角 45 度的光學鏡頭-----	p.17
圖 30 Google Glass 的基本系統架構圖-----	p.18
圖 31 Google Glass 的實體圖-----	p.19
圖 32 Google Glass 結合眼鏡設計示意圖-----	p.19
圖 33 HMD - Oculus Rift 外觀圖-----	p.20
圖 34 Oakley 的滑雪風鏡型 HMD 外觀圖-----	p.20
圖 35 GoPro 運動相機外觀圖-----	p.21
圖 36 Google Glass 操作示意圖-----	p.22
圖 37 Google Glass 目前重量為 50g-----	p.23
圖 38 輝度示意圖-----	p.24
圖 39 水平及垂直視場角示意圖-----	p.24
圖 40 左右眼能看到的視場範圍圖-----	p.24
圖 41 不同解析度的比較圖-----	p.25
圖 42 VGA 與 QVGA 比較示意圖-----	p.26
圖 43 圖中 3 的位置為鏡目距-----	p.26
圖 44 Eye box 示意圖-----	p.27
圖 45 Exit pupil 示意圖-----	p.27
圖 46 對比度 500:1 與 2000:1 的比較圖-----	p.28
圖 47 MTF 原理示意圖-----	p.28

圖 48 MTF 特性曲線圖-----	p.29
圖 49 正透鏡、負透鏡、凹面鏡和凸面鏡的焦點 F 和焦距 f 示意圖-----	p.31
圖 50 焦距示意圖-----	p.32
圖 51 視場角示意圖-----	p.32
圖 52 焦比的示意圖-----	p.33
圖 53 以 16:9 的 LCOS 設定物高示意圖-----	p.35
圖 54 Google Glass 專利中的架構圖-----	p.36
圖 55 2D 的光路建構示意圖-----	p.40
圖 56 2D 的眼睛看到情形-----	p.40
圖 57 3D 的光路建構示意圖-----	p.40
圖 58 的眼睛看到情形-----	p.40
圖 59 2D 光路建構示意圖-----	p.42
圖 60 2D 眼睛看到的情形-----	p.42
圖 61 3D 光路建構示意圖-----	p.42
圖 62 3D 眼睛看到的情形-----	p.42
圖 63 光路中各元件的名稱及對應位置圖-----	p.43
圖 64 Google Glass 專利設計俯瞰圖-----	p.43
圖 65 Google Glass 專利設計正視圖-----	p.44
圖 66 Google Glass 專利設計側視圖-----	p.44
圖 67 Google Glass 專利設計立體圖-----	p.44
圖 68 光路模擬之視場角結果圖-----	p.45
圖 69 光路模擬之 MTF 結果圖-----	p.46
圖 70 光路模擬之像差結果圖-----	p.46

表目錄

表 5-1 Panel 的規格-----	p.34
表 6-1 將 Ebr 和 Object height 輸入-----	p.37
表 6-2 輸入光路建構的五點座標-----	p.37
表 6-3 輸入各面的材質-----	p.38
表 6-4 輸入曲率半徑及厚度-----	p.38
表 6-5 設定 APERTURE RADIUS 的值-----	p.39
表 6-6 設定為方形及 X、Y 方向的值-----	p.39
表 6-7 設定成像面的 X、Y 方向的值-----	p.39
表 6-8 輸入光路建構的五點座標-----	p.41
表 6-9 將 Ebr 和 Object height 輸入-----	p.42



第一章 緒論

1.1 前言

隨著科技的進步，現代人的生活早已脫離不了電子產品，現階段更以電子裝置為基礎，然而，穿戴式電子裝置就是現在最新的產品，例如目前當紅的 Goole glass 就是他的應用產品，因此，頭戴式微型投影裝置成為現在最熱門的話題，他綜合了電腦和手機的功能，不僅能運用的範圍廣泛，且具備有如重量輕、攜帶方便等特點，又能享有如微型電腦、通信裝置、相機、GPS 或是傳輸資料等功能，這樣的技術已超越我們對於 3C 產品本身的傳統印象，更為這個市場帶來一股新的衝擊。所以，我們要來討論頭戴式微型投影裝置內部的光路設計，值得我們去一窺他的構造和原理，並且自己去模擬及設計，找出它的優點和需要改進的缺點。本專題也會一步一步的從光學基本參數開始討論到 HMD 的簡介和內容，最後討論該如何設計，並做光路的模擬分析。

1.2 研究動機與目的

有鑑於如此熱門的話題，就讀光電系的我們當然不可以放過這個絕佳的研究機會，再加上頭戴式微型投影裝置一定是未來的趨勢，並且結合了多種功能於一身，也引發了我高度的興趣，我們生活在 21 世紀，隨著科技產品的推陳出新，HMD 目前正站在領先的地位，不只是對於人類會產生高度的需求，也在如此競爭的市場中持續保有競爭力，在廣大的市場中，HMD 也迅速成為最被看好的技術和產品，因此，我想更深入的做一個探討和研究，將我平時所學的知識和技術，試著結合和運用，最後做一個全面性的整合思考，希望透過這次的專題研究，能使我獲益良多。

第二章 理論基礎

2.1 幾何像差

像差(aberration)是指在光學系統中由透鏡材料的特性折射或反射，會改變表面的幾何形狀引起實際像與理想像的偏差。其中，理想像指的是完全沒有考慮物理光學的繞射影響，而且是由近軸光線的高斯光學結果，簡單來說，就是理想光學系統所成的像。然而實際的光學系統，會為了亮度、視場角等要求，導致光線並非都是近軸的軌跡，由於只有在近軸以小孔徑角的光束所成的像才是完善的，因此，在這樣的情形下所成的像便會和理想像有所出入。在實際應用中我們需要一定大小的成像空間及光束孔徑，並且成像光束是由許多不同顏色的光所組成，在同一介質中，折射率因不同顏色的光而改變，所以，在實際的光學系統中這樣的差異現象或成像的缺陷就稱為像差，其中，像差的大小會反映光學系統的品質好壞。幾何像差主要分為七種，其中單色光的像差有五種，分別為球差(Spherical aberration)、彗差(Coma)、像散(Astigmatism)、場曲(Field curvature)、畸變(Distortion)；多色光的像差則分為橫向色像差(Lateral chromatic aberration)和軸向色像差(Longitudinal chromatic aberration)兩種。緊接著，就來一一介紹這些像差。

2.1.1 球差(Spherical aberration)

球面像差是指由軸上的一個物點發出光線後，以不同的高度入射至系統，在通過系統後，卻無法會聚成一個像點的差異現象。簡單來說，就是當光線經過透鏡折射或面鏡反射後，通過主軸的光與邊緣光不能將影像聚集在一個點上的現象。球差的值會隨著物點的位置改變而有所變化，因此我們主要取平行主軸的光線入射到系統中的值當作球差的主值，而球差對於像望遠鏡這樣的光學儀器上是一個滿大的缺點，因為透鏡和面鏡都是球面的形狀，會因為無法聚焦於一個點上產生球差的問題。但是因為球面鏡比非球面鏡容易製造，所以絕大部分的透鏡都是球面鏡。

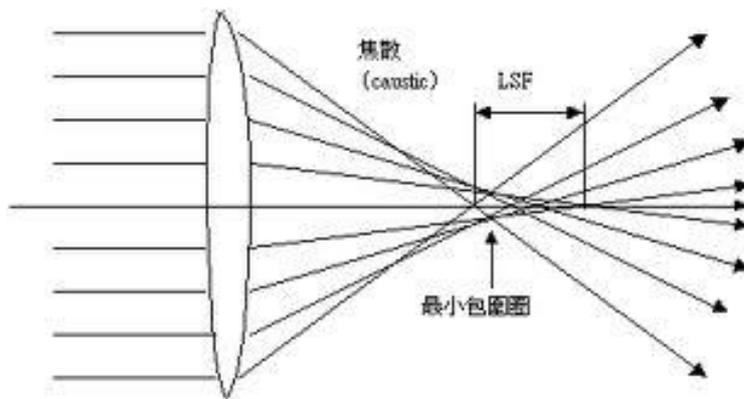


圖 1 球差示意圖

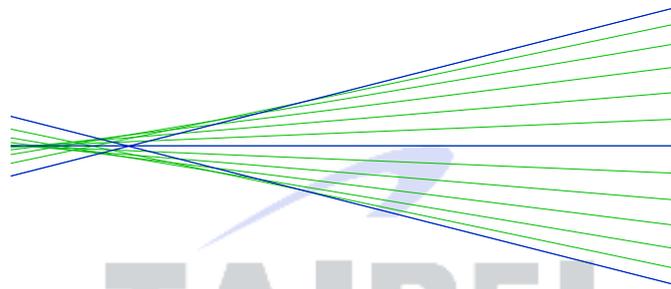


圖 2 有球差

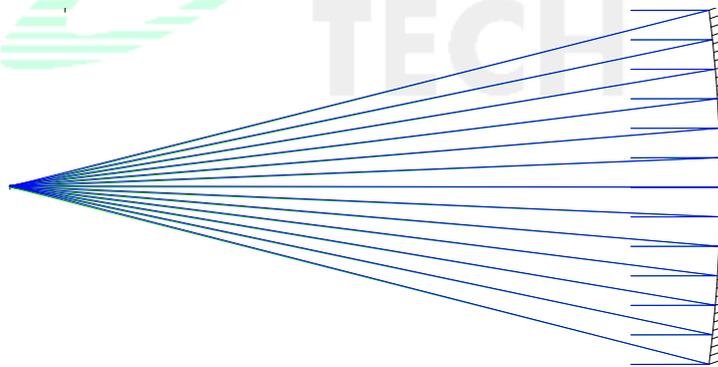


圖 3 沒有球差

2.1.2 彗差(Coma)

彗差產生的原因是因為球外的物點以不同高度的光線入射系統，而每個高度的光線對於系統的成像放大率皆有所不同，產生了一種形狀類似彗星的像差，因此稱為彗差。簡單來說，彗差的成因就是軸外物點發出寬光束通過光學系統後，沒有會聚在一點上，而呈現如彗星狀圖形的一種像差。具體來說，在軸外物點發出的光束

中，對稱於主光線的一對光線經光學系統後，失去對主光線的對稱性，使焦點無法再位於主光線上，離軸越遠，這樣的現象便會越明顯，彗差常發生在拋物鏡和望遠鏡上。

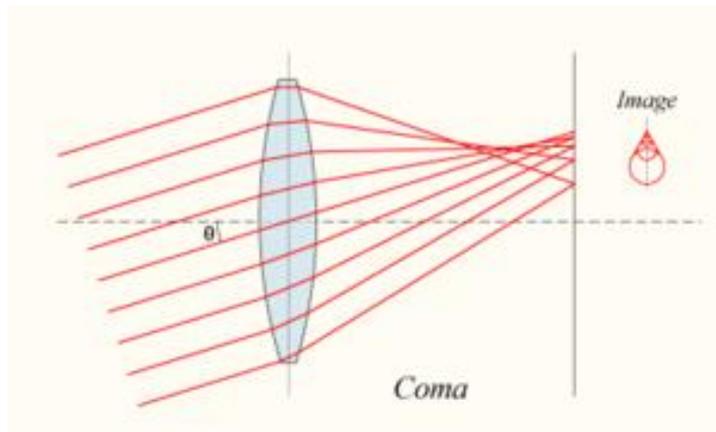


圖 4 彗差示意圖

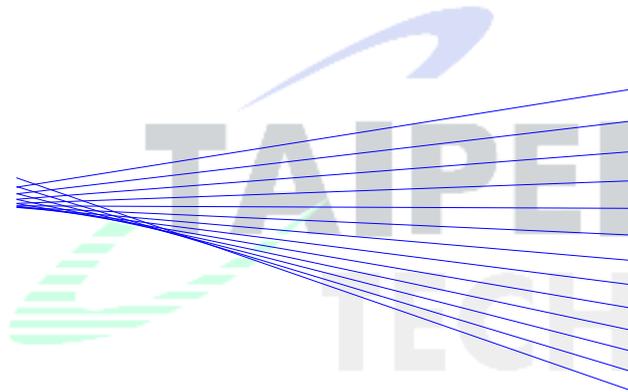


圖 5 有彗差

其中，彗差的形狀有兩種，若彗星狀像斑的尖端指向視場中心者，也就是尖端朝下，成像圓朝上排列的，就稱為正彗差；若彗星狀像斑的尖端指向視場邊緣者，也就是尖端朝上，成像圓朝下排列的，就稱為負彗差。



圖 6 正彗差



圖 7 負彗差

雖然彗差是屬於軸外物點的成像缺陷，但他仍然是算在軸附近的一部分，也因此他對像是望遠鏡或是顯微鏡這些將視場放在光軸的儀器影響甚大。彗差對成像的影響就是物方一點的像成為彗星狀彌散斑，損害了像的清晰度，使成像品質降低。

彗差大小會與光束寬度、物體大小、光闌位置、光學系統內部結構如：透鏡折射率、曲率、孔徑等有關。

2.1.3 像散(Astigmatism)

像散其實簡單來說就是離軸較遠的物點因為成像位置不同的關係，導致產生成像差異的現象。在經過球差和彗差矯正後，在光軸上也就是所謂的畫面中心，可以將點成像變成點畫像，可是，離軸區的點卻不成點，而變成橢圓形或線狀，這樣的像差即為像散。為了能詳細地在周邊觀察這種現象，將焦點慢慢錯開，放射狀延長的線一直到焦點的第一位置，和同心圓的線一直到清晰的焦點的第二位置（這兩個焦點位置的距離，稱為像散差距）都可以確認出來。換言之，子午（meridional）像面的光線和弧矢（sagittal）像面的光束並無等價條件，所以兩者的光線不能同時成為一點。子午像面的焦點在最佳位置時，弧矢像面的光線就結成線狀（同心圓方向/子午焦線），反之，弧矢像面的焦點在最佳位置時，子午像面的光線也結成線狀（放射狀方向/弧矢焦線）。

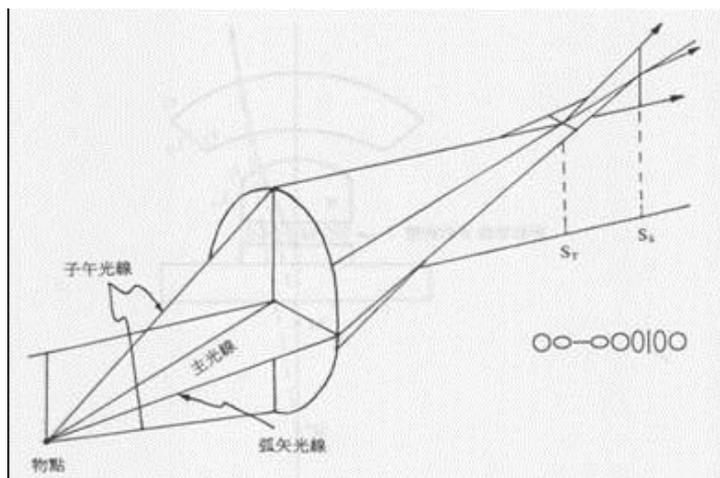


圖 8 像散示意圖

2.1.4 場曲(Field curvature)

場曲是像場彎曲的簡稱。焦點對在平面物體時，像面並沒有結成平面，像碗狀一樣形成內凹的一種現象。因此，當焦點對在畫面中心時，四周趨清晰，反之，焦點對在四周時中心就變模糊。像面彎曲主要隨著像散現象的矯正方法而改變，由於像面會出現在子午像面和弧矢像面之間，因此，像散現象矯正得愈好，像面彎曲現象就愈少。所以，當透鏡存在場曲的時候，整個光束的焦點並沒有和理想的像點重合，雖然在每一個特定點都能得到清晰的像點，但整個像平面卻會是一個曲面，導致我們看到的影像不完全清楚。

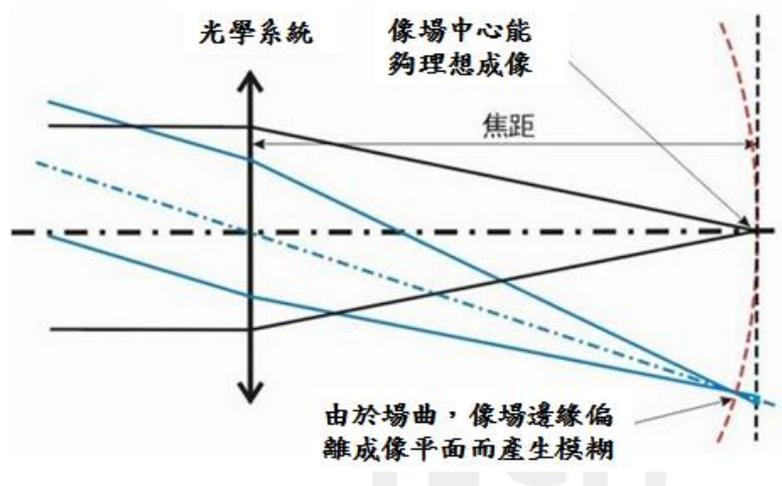


圖 9 場曲示意圖

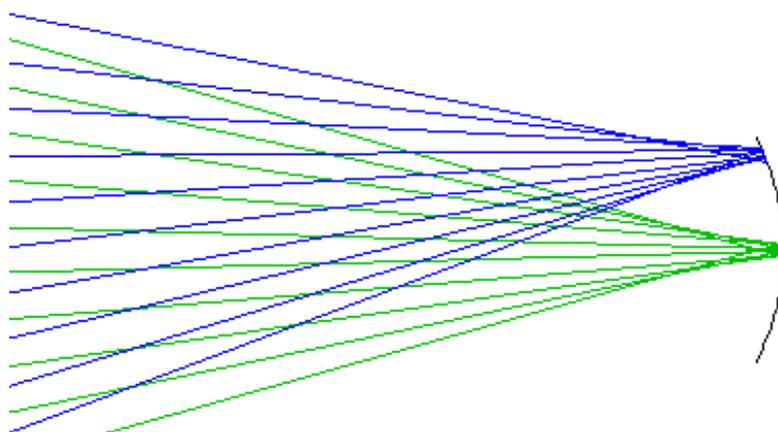


圖 10 有場曲

2.1.5 畸變(Distortion)

畸變的產生是由於在像點和像點彼此之間並非完美，有可能會有些許變化，因為物點離軸的遠近不同使得橫向放大率有所不同，這樣所造成的像差就是畸變。進一步來說，他就是橫向(垂軸)放大率隨視場的增大而變化，所引起一種失去物像相似的像差，由於畸變的存在會使得物平面內軸外直線形成曲線的一個像。讓我們以一個方格型的物面成像來說明，畸變又分為枕形畸變和桶形畸變。枕形畸變(pin-cushion distortion)又稱正畸變，即垂軸放大率隨視場角的增大而增大的畸變，當離光軸越遠時，物點的放大率也就越大，它使對稱於光軸的正方形物體像呈現枕形。桶形畸變(barrel distortion)又稱負畸變，即垂軸放大率隨視場角的增大而減少的畸變，當離光軸越遠時，物點的放大率就越小，它使對稱於光軸的正方形物體像呈現桶形。畸變量並不會受到物體的方位影響，他只會隨著物離軸的高度改變而產生變化，因此，畸變其實與其它像差不同，它僅由主光線的光路決定，引起像的變形，並不影響成像的清晰度。

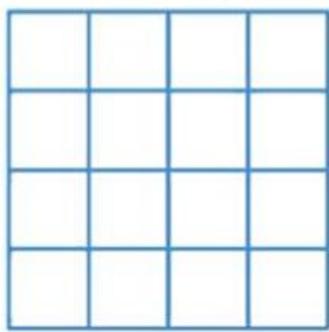


圖 11 理想無畸變

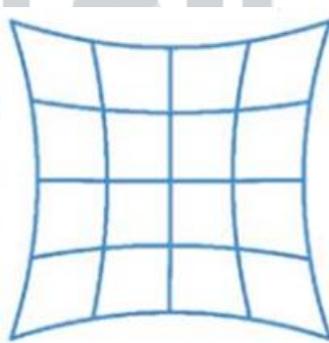


圖 12 枕形畸變

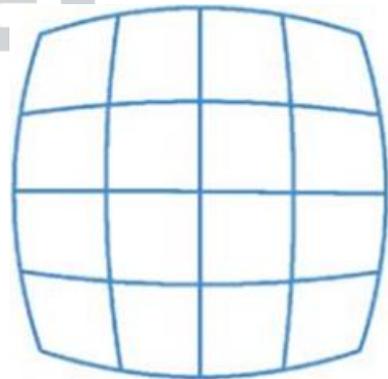


圖 13 桶形畸變

2.1.6 色像差(chromatic aberration)

光學系統大多是白光成像，而白光是由許多不同波長(顏色)的單色光組成。光學材料對於不同波長的色光折射率也不同，白光經光學系統第一面折射後，各種色光被分開，在光學系統中以各自的光路做傳播，造成各色光間成像位置和大小不同，此現象為色差，因為前面介紹的都是單色像差的部分，但如果入射光是複色光，會因為介質對不同波長有不同的折射率反應，而產生另一種像差稱為色像差

(chromatic aberration)，基本上，除了反射鏡之外，其他任何元件都會產生色像差的成像缺陷。

色像差可分為縱向色像差(Congitudinal chromatic aberration)(稱軸像色差或位置色差)和橫向色像差(Lateral chromatic aberration)(稱垂軸色差或倍率色差)兩種。

縱向色像差其主要原因是因不同色光在透鏡中有著不同折射率，造成彼此間聚焦的位置不同，有不同的焦距，簡單來說，就是當軸上物點對透鏡成像時，因為透鏡的折射率與波長成反比，使各色光所成的像點，像點間的距離就是縱向色像差。

橫向色像差其原因也是因不同色光在透鏡中有著不同折射率，造成焦距不等時，放大率也不相同，因而有不同的像高，簡單來說，就是物成像會因為光波長不同，而有位置上的差異，成像的大小也因光波長的不同而有所不一樣，其中的高度差就是橫向色像差。

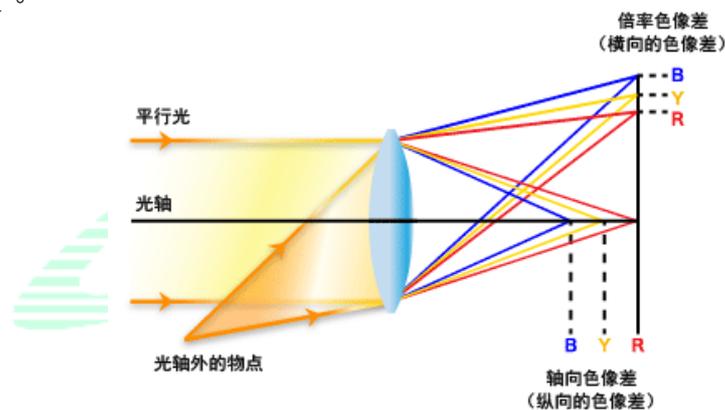


圖 14 色像差示意圖

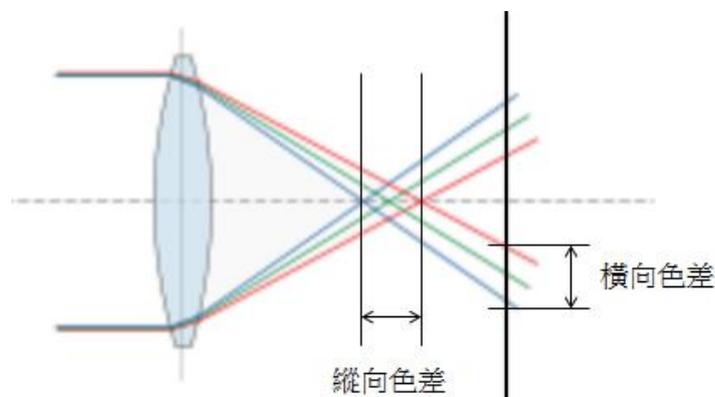


圖 15 橫向及縱向色像差

第三章 HMD 簡介

3.1 HMD 的顯示元件介紹

一個良好的頭戴式顯示器(HMD)，主要是能提供使用者在可視範圍內，必須具備有高亮度、大視場、重量輕、體積小、高的成像品質、好的外觀設計、舒適穿戴、使用方便及電池高效率，要達到以上這些要求，除了講求系統架構及鏡頭設計之外，顯示元件的部分也扮演很重要的角色。接下來會針對一般頭戴顯示器之元件及系統架構做介紹。

目前常見的頭戴式顯示器之顯示元件主要可分為四種：液晶顯示器(Liquid Crystal Display, LCD)、矽基液晶顯示器(Liquid Crystal On Silicon, LCOS)、有機發光二極體(Organic Light-Emitting Diode, OLED)及微機電系統(Microelectromechanical Systems, MEMS)。

3.1.1 液晶顯示器(LCD)

其實最早陰極射線管(Cathode Ray Tube, CRT)為最早被應用在頭戴顯示器上面的顯示元件，但由於他的體積、重量以及有輻射問題，因此早已被液晶顯示器(Liquid Crystal Display, LCD)所取代，所以在這也不多做介紹 CRT 的部分。

首先介紹液晶顯示器(Liquid Crystal Display, LCD)，他的構造由懸浮的兩個透明電極(氧化銦錫)間的一系列液晶分子層及兩邊外側有兩個偏振方向互相垂直的偏振過濾片所組成。如果沒有電極間的液晶，光透過第一個偏振過濾片的偏振方向會和第二個偏振片完全垂直，這樣光就會被完全的阻擋了。但是如果透過第一個偏振過濾片的光線偏振方向被液晶所旋轉，那麼它便也可以透過第二個偏振過濾片。其中，液晶對光線偏振方向的旋轉可以透過靜電場來控制。液晶分子很容易受到外加電場的影響而產生感應電荷，若將少量的電荷加到每個畫素或者子畫素的透明電極產生靜電場，則液晶的分子將被此靜電場誘發感應電荷並產生靜電扭力，而使液晶分子原本的旋轉排列產生變化，因此會改變透過光線的旋轉幅度。

液晶顯示器之基本架構如圖所示，主要的組成元件包含偏光板、彩色濾光器、參錫氧化銦畫素電極(Indium Tin Oxide, ITO)液晶層以及薄膜電晶體。其主要工作原理為一背光源提供入射光，經過前偏極化片(Pre-polarizer)吸收某一方向上

之偏極化光，使另一方向之偏極化光通過，接著進入液晶層，藉由電壓控制液晶旋轉角度來改變進入液晶層中光的偏振狀態，並配合解偏極化片(Analyzer)，即可控制經過解偏極化片之光的灰階，再透過彩色濾光器，即可達到色彩的控制之效果。

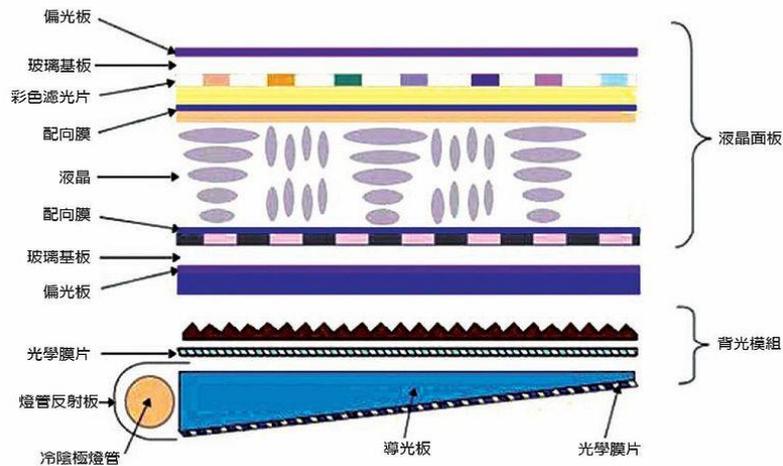


圖 16 液晶顯示器原理結構示意圖

在不加電壓下，光線會沿著液晶分子的間隙前進而轉折 90 度，所以光可通過。但加入電壓後，光順著液晶分子的間隙直線前進，因此光被濾光板所阻隔。液晶是具有流動特性的物質，所以只需外加很微小的力量即可使液晶分子運動，以最常見普遍的向列型液晶為例，液晶分子可輕易的藉著電場作用使得液晶分子轉向，由於液晶的光軸與其分子軸相當一致，故可藉此產生光學效果，而當加於液晶的電場移除消失時，液晶將藉著其本身的彈性及黏性，液晶分子將十分迅速的回復原來未加電場前的狀態，由於這樣的特點，適合用來當作 HMD 的顯示元件。

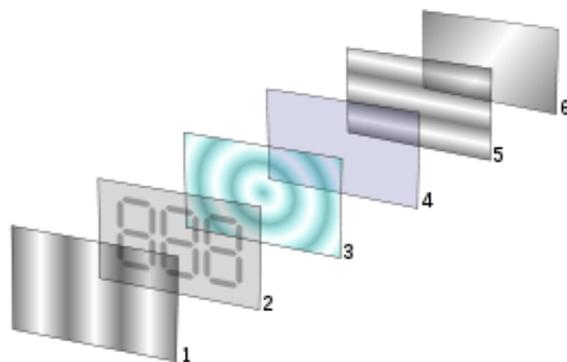


圖 17 薄膜電晶體液晶顯示器示意圖

3.1.2 矽基液晶顯示器(LCOS)

緊接著，介紹第二種顯示元件：矽基液晶顯示器(Liquid Crystal On Silicon, LCOS)又稱反射式液晶顯示器，其結構如圖。它是在矽圓片上製作成包括驅動電晶體在內的 LSI 回路層和反射電極，並與液晶層、玻璃基板(對向電極基板)共同構成的。由於它是在矽圓片(wafer)上製造，因此積體電路製作的所有技術幾乎都可比照採用，所以 LCOS 的技術主要是用在超高解析度、高亮度大型投影機上。

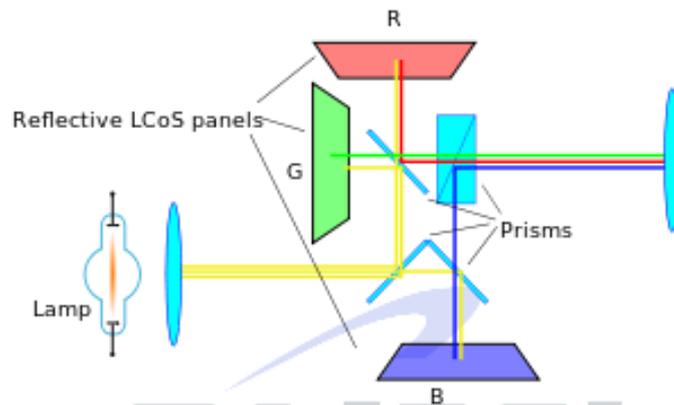


圖 18 LCOS 技術概念圖

其工作原理為光在通過液晶層之後，液晶分子的物理方向會隨著所施加的電壓而改變，進而改變穿透液晶的光線極化方向。微型顯示器就如同一列可以自行變化的極化偏光鏡，調整入射光的旋轉角度，於是產生了灰階影像，矽基板與玻璃面板之間填充了液晶分子材料，光在通過液晶層之後，會經由單晶矽液晶之反射層將光線反射回去，對於整片液晶面板來說，光線並沒有穿透液晶面板，而是全部將光反射回去。

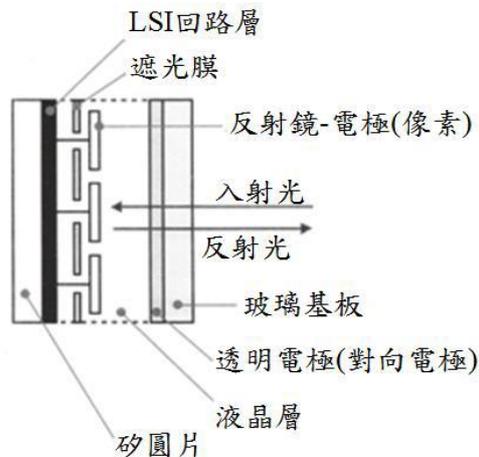


圖 19 LCOS 內部結構圖

LCOS 為一種反射式的顯示器，因此 LCOS 通常需要在光學系統上搭配偏振分光鏡(Polarized Beam Splitter, PBS)，將亮、暗狀態的光路分離出來，如圖所示。當一個 S 偏振的光入射至光閥時，因為受液晶分子折射率的影響，使反射後的光偏振方向旋轉 90° 成為 P 偏振，此 P 偏振光可順勢穿透 PBS 到達投影鏡頭，再將影像投射至屏幕，呈現亮狀態；反之，當驅動電壓改變液晶的扭轉形態，使入射 S 偏振光與反射光的偏振方向不變，將無法穿透 PBS，則使屏幕上的影像呈現暗的狀態。藉由驅動電路對液晶的控制，使反射光有不同的偏振成分，再搭配 PBS 的使用，即可讓穿透 PBS 的光達到灰階的效果。

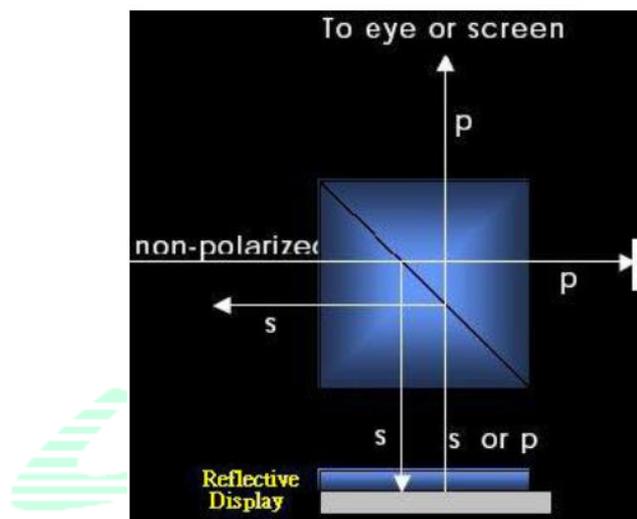


圖 20 偏極分光鏡的工作原理

LCOS 最大優點在於可大幅降低 LCD 的生產成本，且具有相當好的解析度。與一般 LCD 在結構上也有所差異，LCD 上下二面都以玻璃作為基板，而 LCOS 僅有上面採用玻璃，底下的基板是以半導體材料矽(Si)為主，因此 LCOS 製程其實是結合 LCD 與互補式金屬氧化物半導體 (CMOS) 製程的技術。

3.1.3 有機發光二極體(OLED)

再來要介紹的是有機發光二極體(Organic Light-Emitting Diode, OLED)，OLED 相較於 LCD，它具有自發光性、廣視角、高對比、低耗電、高反應速率、全彩化及製程簡單等優點，OLED 還可分單色、多彩及全彩等種類，而其中以全彩製作技術最為困難，又可依驅動方式的不同又分為被動式(Passive Matrix, PMOLED)與主動式。

OLED 的基本結構是由一薄而透明具半導體特性之銦錫氧化物 (ITO) 與正極相連接，再加上另一個金屬陰極，包起來成為一個像三明治的結構。整個結構層當中包括了：電洞傳輸層 (HTL)、發光層 (EL) 與電子傳輸層 (ETL)。下圖中，1~5 的對應位置分別是陰極、發光層 (Emissive Layer, EL)、陽極空穴與陰極電子在發光層中結合產生光子、導電層 (Conductive Layer) 以及陽極。當供應至適當電壓時，正極電洞與陰極電子便會在發光層中相結合，產生光子，並依材料特性的不同，產生紅、綠、藍三原色，構成基本色彩。OLED 的特性是自發光，不像 LCD 是需要背光，因此可視度和亮度均較高，且無視角的問題，其次是驅動電壓較低且省電效率較高，另外還具有反應快、重量輕、厚度薄、構造簡單及成本低等優點。

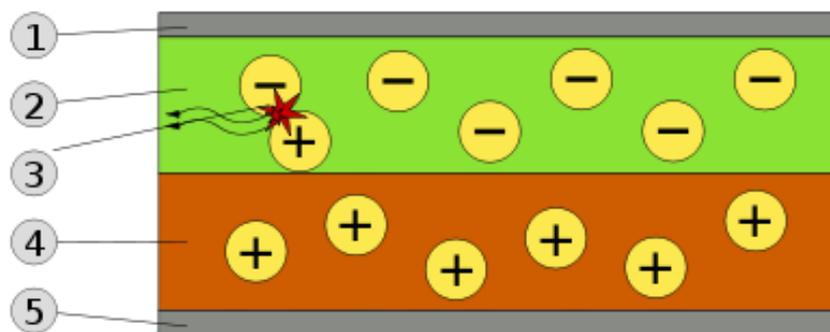


圖 21 OLED 基本結構圖

OLED 也與 LCD 一樣其驅動方式也分為主動和被動式兩種。被動式依照定位發光點亮；而主動式則和薄膜電晶體液晶顯示器相同，會在每一個有機發光二極體單元背增加一個薄膜電晶體，發光單元則依照電晶體接到的指令點亮。而主動和被動的分法，主要差異是在顯示器內打開或關閉像素的電子開關型式不同而導致。

典型的 OLED 是由陰極、電子傳輸層、發光層、電洞輸運層和陽極組成。電子會從陰極注入到電子輸運層，而電洞則會由陽極注入進空穴輸運層，它們便會在發光層重新結合而發出光子。與無機半導體不同的地方是，有機半導體（小分子和聚合物）並沒有能帶，因此電荷載子輸運並沒有廣延態。其中，受激分子的態是不連續的，電荷主要是通過載子在分子間的躍遷來輸運。因此，在有機半導體中，載子的移動能力比在矽、砷化鎵、甚至無定型矽的無機半導體中還要低幾個數量級。

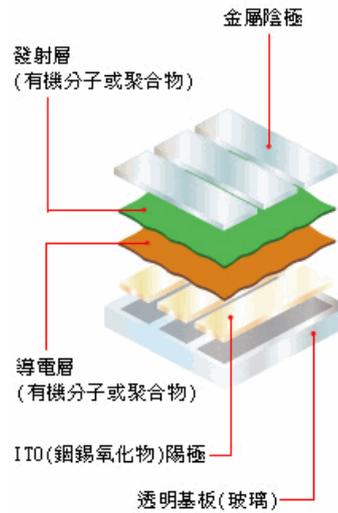


圖 22 OLED 各層示意圖

OLED 的特色在於其核心可以做得很薄，厚度為目前液晶的 1/3，加上有機發光半導體為全固態組件，抗震性好，能適應惡劣環境。有機發光半導體主要是自體發光的，讓其幾乎沒有視角問題；與 LCD 技術相比，即使在大的角度觀看，顯示畫面依然清晰可見。有機發光半導體的元件為自發光且是依靠電壓來調整，反應速度也比液晶元件來得快許多。另一項特性則是對低溫的適應能力，舊有的液晶技術在零下 75 度時，即會破裂故障，有機發光半導體只要電路未受損仍能正常顯示。此外，有機發光半導體的效率高，耗能較液晶略低還可以在不同材質的基板上製造，這些都是用來做為頭戴式微型顯示器顯示元件的優勢。

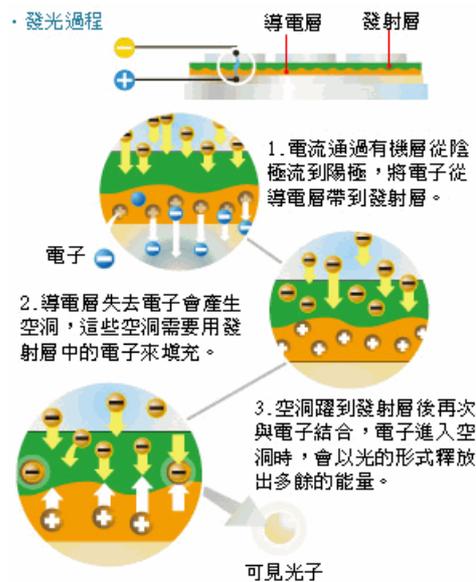


圖 23 OLED 原理示意圖

3.1.4 微機電系統(MEMS)

微機電系統(Microelectromechanical Systems, MEMS)是將微電子技術與機械工程融合在一起的一種工業技術，它的操作範圍通常在微米範圍內。微機電系統的加工技術由半導體加工技術改造而來，如表面微加工、體型微加工等技術製造的，其中包括更改的矽加工方法如壓延、電鍍、濕蝕刻、干蝕刻、電火花加工等。

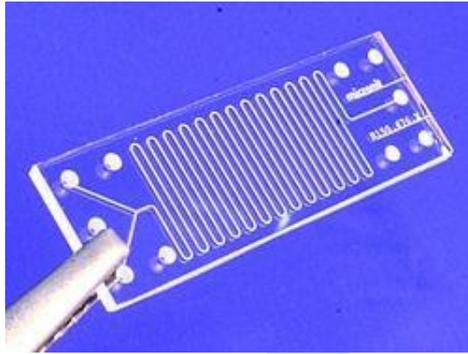


圖 24 MEMS 結構示意圖

微機電系統有多種原材料和製造技術，以下便一一介紹其種類。首先，矽是用來製造集成電路的主要原材料，由於在電子工業中已經有許多實用矽製造極小的結構的經驗，矽也是微機電系統最常使用的原材料。矽的物質特性也有一定的優點，單晶體的矽遵守虎克定律，幾乎沒有彈性滯後的現象，因此幾乎不耗能，且運動特性非常可靠。此外矽也不易折斷，且非常可靠，它的使用週期可以達到上兆次。一般微機電系統的生產方式是在基質上堆積物質層，然後使用平板印刷和蝕刻的方法來讓它形成各種需要的結構；表面微加工則是在矽晶片上沉積多晶矽然後進行加工；深層刻蝕如深層反應離子刻蝕技術向矽晶片內部刻蝕，刻蝕到晶片內部的一個犧牲層，這個犧牲層在刻蝕完成後被腐蝕掉，這樣本來埋在晶片內部的結構就可以自由運動了；另外，體型微加工法與深層刻蝕法類似，是另一種去除矽的方法，一般體型微加工使用鹼性溶液如氫氧化鉀來腐蝕平板印刷後留下來的矽，這些鹼溶液腐蝕時的相對各向異性非常強，沿一定的晶體方向的腐蝕速度比其它的高 1000 倍。這樣的過程往往用來腐蝕 V 狀的溝，假如我們選擇的原材料的晶向足夠精確的話，這樣的溝的邊便可以非常的平；接著是高分子材料，雖然電子工業對矽加工的經驗是非常豐富和寶貴的，並提供了很大的經濟性，但是純的矽依然是非常昂貴的，由於高分子材料非常便宜，而且其性能各種各樣，因此使用注射成形、壓花、立體光固

化成形等技術便會使用高分子材料製造微機電系統；最後則是金屬，金屬可以亦用來製造微機電系統，雖然金屬比矽缺乏良好的機械特性，但是在金屬的適用範圍內它非常可靠。

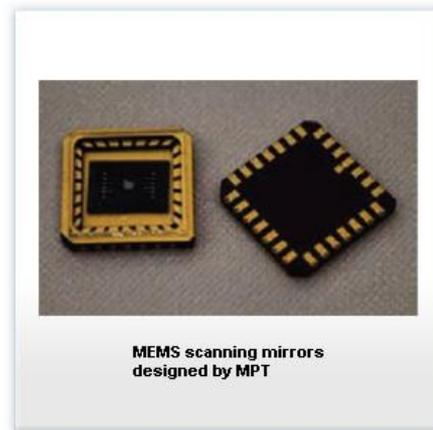


圖 25 MEMS 應用示意圖

在比較以上四種顯示元件後，這次的專題主要會以 LCOS 做為我在模擬使用的顯示元件，由於他具備高解析度且高亮度的特性，且製程也相對便宜，目前也是 HMD 主流成像的來源，因此，選擇使用 LCOS。

3.2 HMD 的結構和應用

在了解並選定了本專題要使用的 HMD 顯示元件後，就要來介紹 HMD 的內部結構以及他的操作原理，其中，也會介紹到 HMD 的應用及過程。

3.2.1 HMD 的結構原理簡介

一般而言頭戴顯示器分為兩種，可透視(See-through)以及不可透視(Immersive 或稱 Non see-through)，在架構上又可分為軸上式與離軸式兩種。本專題為設計於外界環境與影像做結合之頭戴式顯示器，因此選擇討論可透視式(See-through)的架構，而根據不同的成像元件，系統架構上也會有所不同。圖為以 LCOS 當作顯示元件的軸上式 See-through 頭戴顯示器之系統架構，也就是本專題討論且使用的系統架構。

在圖中 LED 為系統的光源，發散經過準直透鏡(Collimator Lens)後，形成平行光源，而光經過 PBS 後，將 S 偏極的光反射，讓 P 偏極的光穿透。而反射的 S 偏極光，入射至 LCOS 上成為影像的光源，LCOS 再把 S 偏極轉換成 P 偏極，經 PBS 後穿透，再經由目鏡成一放大虛像，此虛像再經人眼前面之分光鏡(Beam Splitter,

BS)反射至人眼瞳孔，外界的環境也會經人眼前的BS 穿透至人眼瞳孔，因此可達到影像與外界環境做結合之效果。我們主要是針對 eyepiece 的部分做鏡頭設計的光路分析及討論重要性。

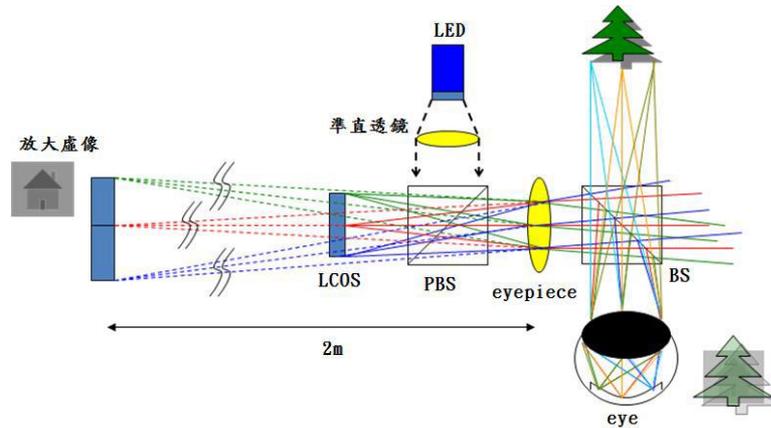


圖 26 可透視的 HMD 架構圖

3.2.2 HMD 的發展和應用

我們都知道 HMD 並不是新創的產品，其實早在 90 年代中期他就已經出現，當時推出了 HMD 的商用化消費性產品，那時也正是 DVD 播放機初進入市場的時候，所謂個人電影院在那個時候就已經可以實現，也可以進入 PC 市場上的應用，且不管是用在醫療、軍事或遊戲中。只不過當時的 HMD 產品重量上還未太輕，且解析度上也並沒有達到很好，反而是隨著 DVD 帶來的 Dolby Digital AC3 或是 DTS 多聲道音效比較令人震撼。

約經過十多年之後，藍光出現了、3D 也流行了，Sony 又推出了一個消費性 HMD - 「HMZ-T1」，廣受消費者好評，不僅賣到產品缺貨，也有後續機種的出現，這在當時已經是非常好的技術了。而這個產品的技術最大特徵以及規格要求為採用了 1280×720 解析度的有機 EL 面板、對應 3D 技術及對於光學系統視場角 45 度的實現。



圖 27 HMZ-T1 的外觀圖



圖 28 1280×720 的 EL 面板



圖 29 視角 45 度的光學鏡頭

電子資訊時代的潮流改變得很快，在當時認為影像視聽用途的 HMD 隨著雲端時代的來臨，又再開啟了新用途，不僅包含了運動用途，甚至還延伸到日常生活也不會是問題。因此，進入 HMD 產品的廠商其實很常見，目前 HMD 最熱門的應用莫過於 Google Glass 莫屬了，一宣告要上市那一刻開始似乎也說明了他就是下一個世代的新興產品。放眼未來，Google 公司正積極創造出一個「Smart Glass」的新市場，甚至想出透過眨眼睛的動作，來作為一種人機介面來控制。不過，透過主客觀來觀察 Google Glass，以 HMD 產品成熟度、小型化、性能面以及應用技術面的標準來看，其實，都越過了一個高嶺，時間點也相當不錯，想必能繼手機、平板之後開啟另一個新平台。

一般來說，一個好的智慧眼鏡系統架構應該包括以下這些：中央處理器 RAM、WIFI、BlueTooth、MIPI、行為感測器、語音控制系統、微型顯示光機模組 Eyepiece、驅動晶片、硬體關鍵零組件以及 UI 人機介面作業系統。

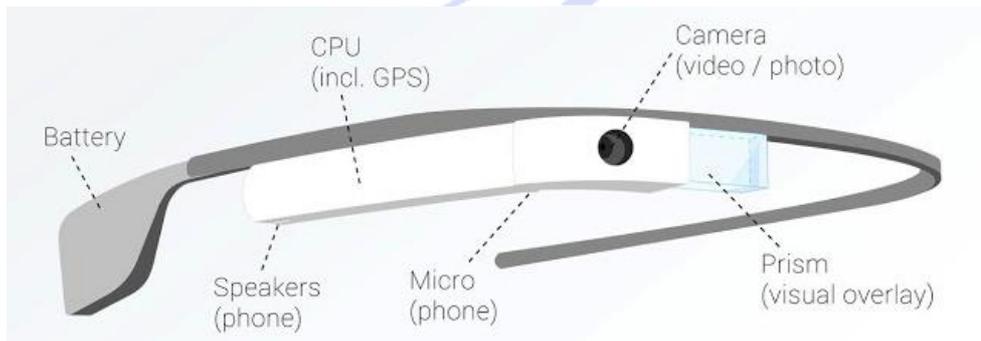


圖 30 Google Glass 的基本系統架構圖

基本上，要利用 HMD 的技術去設計出一支好的智慧眼鏡必須要具備很多因素，其中，嚴格地去對他的系統規格做一系列的規範及要求更是關鍵，要求的重點如下：重量體積必須符合輕薄短小的特性、外觀設計必須擁有造型極致的工業設計、穿戴舒適必須要有合宜的人體工學考證、使用方便必須要有順暢的人機介面和操作系統、電池效率必須至少能連續使用 4 小時，且待機時間能達到 24 小時。

再來看看在 2013 年 4 月 Google 公司提出的 Google Glass 初步規格如下：顯示部分約 2.4 米前頭、相當於 25 吋、像機功能使用 500 萬畫素靜態影像，720p 影片、喇叭部分採用骨傳導方式(Bone Conduction Transducer)、無線通訊功能則用 IEEE 802.11 b/g，藍牙系統、內建記憶體部分使用 16GB，其中 12GB 供使用者利用，可

與 Google 提供的雲端儲存服務做同步、在充電電池的驅動時間長度通常為一天；若是頻繁觀賞影片會縮短時間，充電方式是透過了 Micro USB 介面，最後在針對搭載 Android 4.0.3 以上的終端裝置，準備了與 Google Glass 連動的 GPS 位置定位與 SMS 訊息應用。

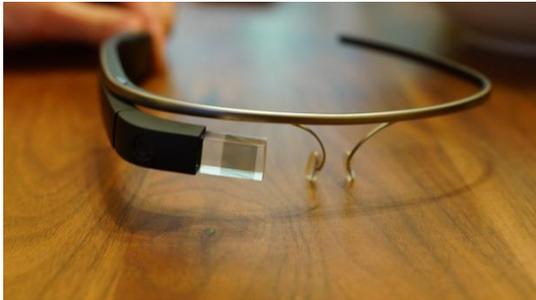


圖 31 Google Glass 的實體圖



圖 32 Google Glass 結合眼鏡設計示意圖

那這邊就來探討一下過去的 HMD 產品及現今像是 Google Glass 彼此之間的差異在於那些地方：在重量方面的話，過去產品動輒超過 100 公克，而現在的產品重量約在 30 ~ 70 公克間；在應用處理器的部分，昔日是採用約 600MHz 單核心的製品，現在則可以高達 2GHz 的四核心；在顯示元件方面，就液晶面板來說，0.37 吋 640x480 是以往的標準，而現在則可到達 0.22 吋 1280x720，最後在整體的應用方面來看，過去使用的功能較為單一範圍也比較狹窄，而現在無論是視聽遊戲、運動、業務用途還是日常生活，幾乎無一不可實行，任何電子產品做得到的都能在 Google Glass 上實現成真。

在一開始的介紹有提到傳統上，HMD 的歸類方式分為可透視(See-through)以及不可透視(Immersive 或稱 Non see-through)，或是單眼式(Monocular)以及雙眼式(Binocular)兩種分法。在市場上最先推出的就是雙眼式且不可透視型，主要是以視聽市場為主。若以 Sony 的 HMZ-T1 來說，就是採用了兩枚的有機 EL 面板，可以顯現鮮明的 3D 影像而獲得好評；另外，美商 Oculus VR 針對遊戲玩家的 HMD - Oculus Rift，這個商品受到注目的一大要因，就是從 Kickstarter 募集群眾資金，有約 9500 人出資達 250 萬美金(目標值的 10 倍)。他在 HMD 上使用了虛擬實境，讓玩家能有身臨其境的感覺，而它的技術規格如下：頭部追蹤(head tracking)為 6 段階設定的超低遲延，視野是對角線 110 度和水平角 90 度，解析度為 1280 × 800 (640 × 800 per eye)，介面使用 DVI/HDMI 與 USB，一般用於 PC 與行動裝置，而

重量大約為 0.22 Kg。



圖 33 HMD - Oculus Rift 外觀圖

當然另一備受矚目的是單眼式可透視型的產品，在運動用途以及業務用途上已開始活用。就運動用途的產品來說，美商 Oakley 於 2012 年秋季開始販賣的滑雪風鏡型 HMD 就是個例子，不僅可以掌握滑行的狀態，也可以表示出滑道資訊，也可以顯示出好友的位置。在業務用途方面，比如說在倉庫內收集貨物作業之際，在 HMD 的表示部分反應出做為嚮導，將目標產品可以俐落地完成作業。透過了 HMD 上所搭載的像機，可以將作業現場的樣子傳送給遠端的其他人，透過 HMD 的畫面很快可以得到作業建議。



圖 34 Oakley 的滑雪風鏡型 HMD 外觀圖

諸如以上所描述的 HMD，它所訴求的重心主要是即時可以閱覽資訊，視線夠大且可以持續雙手作業，而這些特點都不是筆電或是智慧型手機可以辦的到的事情。這項優點若是滲透到日常用途時，就精采萬分了。不難猜測，所謂推入型(push)的資訊服務是消費者的實際需求，好比說，電子郵件、SNS 訊息的接收，道路交通資訊，天氣情報等。

雖然，HMD 的優點從 90 年代後期進入視聽開始，轉進業務用途；但是面臨著構成組件的性能大小、成本、設計性、操作性、視認性等等議題。譬如說，頭部搭載部份超過 110 公克，重量超過眼鏡，內建的充電電池的驅動時間，也只不過是兩個小時罷了。由於沒有對應到無線通訊，無法接續到網際網路。不過，現在的 HMD 在外觀、用途、設計、操作性、畫面顯示的研究開發上，已經有相當的進展，尤其是硬體上的性能表現改善最為明顯。好比說，電池驅動時間增長許多，具備了無線網路、藍牙、GPS 等無線通訊機能。

其實我們都知道構成組件的性能改善與智慧型手機的普及，是關鍵契機所在。一旦性能足夠了，HMD 的適用環境就會更為齊全。畢竟，智慧型手機的日常用途越來越廣泛，若是 HMD 與智慧型手機連動或是接續，活用手機上的 App 軟體可以展開各式各樣的機能；例如：以手機為中介來上網，就可以善用雲端服務了。而且，若能納入了相機的功能更是引爆的開關，像是美商 Woodman Labs 所開發可穿戴式相機「GoPro」系列的運動相機，市場急遽性的擴大。此類像機的最大特徵是一般相機難以實現的，也就是宛如自身所見的單人視點的影像攝影。用這樣的方式透過影片 SNS 與友人分享交流，的確帶來了滿足感的樂趣，且目前以戶外運動愛好者為主力的愛用者，也正在逐漸增加中。



圖 35 GoPro 運動相機外觀圖

當然我們熟知的 Google Glass 就是將這種功能完美地使用上去。靜止畫像、動態影片的攝影功能就是採用騰出時間的方式，也就是說使用者將所喜愛的攝影靜止畫透過 SNS 與友人分享時，也可以將攝影中的影片即時發信。以美國當地來說，投稿 10 ~ 15 秒動畫影片的視聽最具有人氣，也因此可以知道 Google 做這項功能的原因。

HMD 另一個朝向日常用途的普及徵兆，就是讓使用者操作介面的進化。以現階段來看，誰掌握了適用於 HMD 的使用者介面，誰就掌握了主導權，像是智慧型手機的觸控輸入就是暢銷產品的原因之一。因此，當前的 HMD 從事企業，可以往這方面去考量。另外，HMD 操作性的問題也是重點之一，首先，操作遙控裝置體積如果不夠小是個問題，同時如果又看不見指頭，操作上又困難。而在視角的部分，若視野不足、資料量多便會難以閱讀。HMD 還是傾向於不使用遙控裝置本身，而是仰賴聲音辨識或是姿勢輸入，以人類最自然的方式來輸入而使得裝置來動作，以 Google Glass 來說，他是利用手指滑動或是輕敲框邊以及語音辨識的方式來進行操作。



圖 36 Google Glass 操作示意圖

而在硬體開發的另一個焦點就是亮度提升的問題了。畢竟，在大白天屋外使用的機會與場合，是跑不掉的。通常，預估的亮度目標值約超過 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 。一般來說，顯示部分不使用半鏡(Half Mirror)的 HMD 場合，視認顯示畫面夠小的話，可以滿足這個數值。然而，若是採用半鏡(Half Mirror)的 HMD 場合，若是亮度低於 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 以下，屋內尚可，屋外的使用可就麻煩了，這也是各個企業要去挑戰的所在地。

當 HMD 越來越小型化輕量化之際，HMD 帶在身上作業就會更活潑化，如前面所言，民生用途方面涵蓋有運動或是娛樂的運用，日常生活可供的運用提案也相繼出現；而業務用途方面，就看見了作業支援或是設計支援方面的運用。當各種用途的 App 越是充實的時候，即時性的價值就越高，所謂 Smart Glass 就化身為另一種平台。

由以上的介紹可以了解，現階段 HMD 的應用非常的廣泛且發展十分的快速，這項產品十分具有前瞻性，也是我主要會來探討的原因，於是我挑選了 Google 在 2013 年 1 月所發表的 Google Glass 專利來做一個詳細的研究和探討。

第四章 HMD 的規格需求

4.1 重量

一個好的 HMD 系統必須符合輕薄短小的要素，重量絕對是消費者購買時的考量因素之一，同時，也考驗著研發者在製作的過程中要如何降低重量，該如何設計出一個較輕的 HMD 卻又不失其他功能。如果太重的話可能會導致種種的不方便，對人體造成負擔，因此重量問題是值得我們去思考和討論的。一個商用的 see-through HMD 必須以將重量控制在 10g 以內為目標去努力。



圖 37 Google Glass 目前重量為 50g

4.2 耗電量

HMD 若採用 LCOS 光學成像技術，同時使用 CMOS Sensor(R. G. B. 同步晶片感測器)，且在低電壓下工作，如此一來的設計能讓耗電量少，而且對於一個商用的 see-through HMD 來說需要低耗電量，高效率，基本上正常使用下，需至少連續使用 4 小時，且能待機 24 小時，耗電量要求能小於 10mW 為原則。

4.3 輝度(Luminance)

輝度是指從某一方向的單位表面積所放射出光束的量(光通量)。光束(光通量)是指光源每秒鐘所發出的量之總和，也就是發光量，當由一特定的光源發出強度相同時，發光的面積越大，則輝度值越小。某一截面的輝度 L (nit) 值，為其該方向的光度值 I (cd)，以該截面的視面積 A (m^2) 除得之值，表示為 $L=I(cd)/A(m^2)$ ，單位為 nit 或 cd/m^2 ，一個商用的 see-through HMD 輝度要大於 17(nit)。

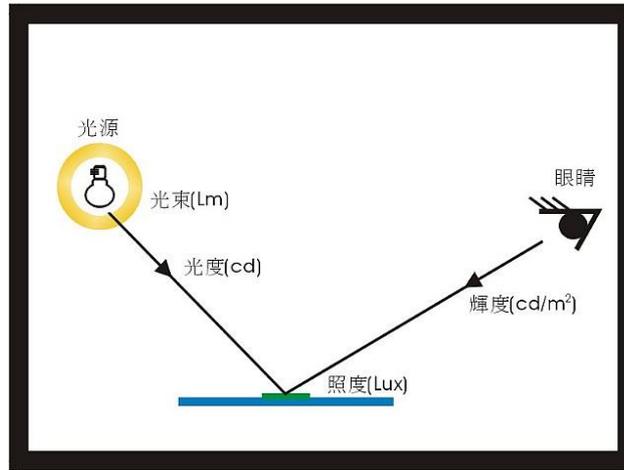


圖 38 輝度示意圖

4.4 視場角(Field of view)

視場角(FOV)就是指若以光學儀器的鏡頭為頂點，以被測目標的物像可通過鏡頭的最大範圍的兩條邊緣光所構成的夾角。視場角的大小決定了光學儀器的視野範圍，視場角越大，視野就越大，光學倍率也就越大。在顯示系統中，視場角就是顯示器邊緣與觀察點（眼睛）連線的夾角。對於一個商用的 see-through HMD 來說，視場角是必須要大於 20 度的。

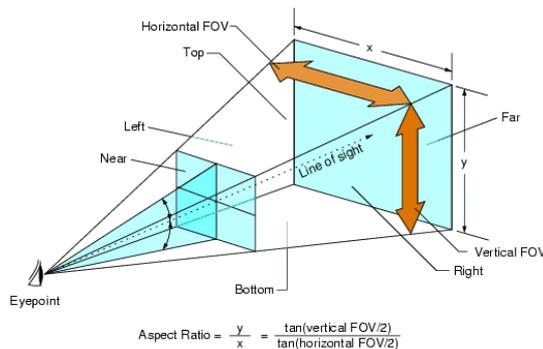


圖 39 水平及垂直視場角示意圖

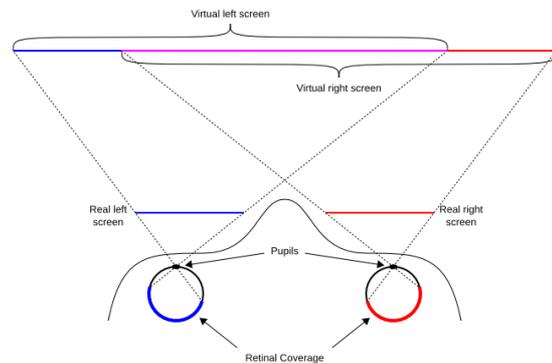


圖 40 左右眼能看到的視場範圍圖

4.5 解析度(Resolution)

要說明解析度(resolution)之前我們先談一下畫素(Pixel)，畫素指的就是組成畫面的基本單位，也就是指一個畫面是有多個點所組成。畫素就是決定解析度的重要關鍵，畫素愈高解析度就越高，所以畫素是相當重要的規格，也是必定會標示的

規格之一。

解析度(resolution) 最基本的定義泛指量測或顯示系統對細節的分辨能力，此概念可以用時間、空間等領域的量測，一般來說解析度多用於影像的清晰度。解析度越高代表影像品質越好，越能表現出更多的細節；但相對的，因為紀錄的資訊越多，檔案也就會越大，一般以每英寸有多少點 DPI(Dots Per Inch)來表示，數值越高表示越精細。

其中，解析度又分為影像解析度、顯示解析度、光學解析度和數位相機解析度四種。

影像解析度是指對一般的電腦圖片而言，解析度越高表示構成圖片的點數越多，常用線每毫米或線每英寸等來衡量。以圖為例，50 x 50 表示該圖片是由長寬各 50 點所構成，那麼這張圖的解析度就是 50 x 50 pixel，而 25 x 25 的圖就只有 50 x 50 的 1/4 大，12 x 12 就更小了。如果把三張圖不同解析度的圖放大到一樣大來看，就可以發現構成圖片的像素越多，細節就越清楚。

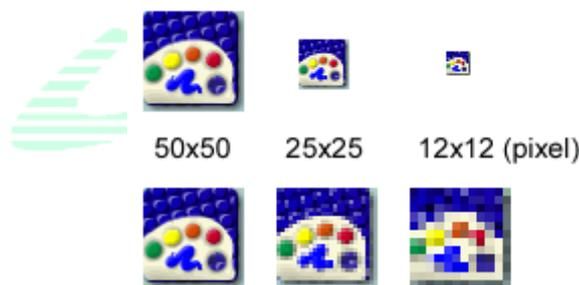


圖 41 不同解析度的比較圖

顯示解析度通常用在電腦螢幕上，通常用每英寸所含點或像素 dpi 來衡量。如果說一個螢幕的顯示解析度是 800 x 600，表示這台螢幕目前的桌面大小是由 800 x 600 點所構成，不過同樣是 800 x 600，可以用 15 吋、21 吋的螢幕，甚至用 200 吋的投影電視，雖然解析度都是一樣的，但實際產生的畫面大小並不相同，因此解析度高並不代表畫面就大。

光學解析度與影像解析度類似，惟著重光學透鏡重效果，其實指的就是掃描器感光元件實際的感測能力，一般常用 Optical Transfer Function (OTF) 和 Modulation Transfer Function (MTF) 來衡量。

數位相機解析度像是目前的數位相機皆是以百萬畫素來區分等級，是以 CCD 或 CMOS 影像感測器成像後的「長邊畫素 x 寬邊畫素」來表示，但早期皆以以長寬比=4:3 來表示，但最近的數位相機皆可以調整長寬比=3:2。

在商用的 see-through HMD 來說，Resolution 必須大於 QVGA，這邊的解析度指的是顯示解析度，而 QVGA 指的是「Quarter VGA」，顧名思義即 VGA 的四分之一尺寸，其中，VGA 是指 640x480 像素(約 300 萬像素)，那麼 QVGA 亦即在液晶螢幕上輸出的解析度是 240x320 像素(約 80 萬像素)。



圖 42 VGA 與 QVGA 比較示意圖

4.6 鏡目距(Eye relief)

鏡目距(eye relief)是最接近眼睛的目鏡到眼睛的距離，也就是眼睛至少要距離多遠才能看清楚整個視野範圍，簡單來說，就是當我們能看到全部視野時，眼睛距離目鏡表面最遠的距離。一般鏡目距 22mm 至 25mm 是使用者比較不會感到壓迫的距離，當鏡目距增加，光學系統會變大增重，成本也會增加。若 HMD 有較長的鏡目距，觀測時會較舒適，如果用較短的鏡目距去觀測的話，表示眼睛必須相當貼近目鏡才能看清楚所有的視野，長時間觀看下來也會造成壓迫感，讓人覺得不舒服。對於目前商用的 see-through HMD 來說，最適合的鏡目距為 19mm 至 21mm 之間。

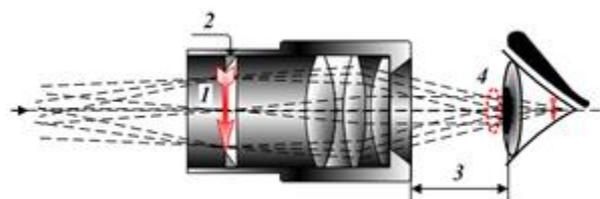


圖 43 圖中 3 的位置為鏡目距

4.7 視窗大小(Eye box)

Eye box 又稱為視窗大小，主要跟出瞳位置(exit pupil) 有直接的相關連，由於 HMD 不僅要表現出放大影像，同時成像位置要在人眼能夠舒適觀看處，並且人眼在轉動時不至於導致影像的失真、變形。當放大元件的孔徑太小時，便無法得到完整的 FOV，影像會被截掉或是有暈影，一般來說 eye box 是指眼睛在不影響影像品質的前提下，可以移動的程度。當然，HMD 在未來若要應用在娛樂市場或是行動配備產品等方面，較大的 eye box 會比較符合此類消費性產品設計需求，目前理想商用的 see-through HMD 的 eye box 規格必須大於 $10\times 10\text{mm}$ 。

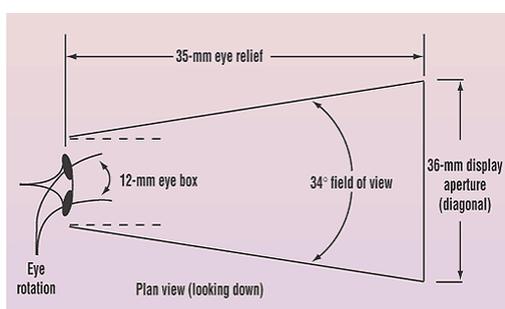


圖 44 Eye box 示意圖

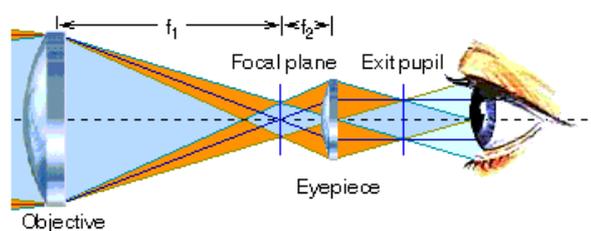


圖 45 Exit pupil 示意圖

4.8 對比度(Contrast)

對比度是指畫面黑與白的比值，就是從黑到白的漸變層次。比值越大，從黑到白的漸變層次就越多，色彩表現就越豐富。對比度對視覺效果的影響很關鍵，對比度越大，圖像越清晰醒目，色彩也越鮮明；而對比度越小，整個畫面都會灰濛濛的。

高對比度對於圖像的清晰度、細節表現、灰度層次表現都有很大幫助。在一些黑白反差較大的文本顯示、CAD 顯示和黑白照片顯示等方面，高對比度產品在黑白反差、清晰度、完整性等方面都具有優勢。相對而言，在色彩層次方面，高對比度對圖像的影響並不明顯。

對比度對於動態視頻顯示效果影響要更大一些，由於動態圖像中明暗轉換比較快，對比度越高，人的眼睛越容易分辨出這樣的轉換過程。對比度高的產品在一些暗部場景中的細節表現、清晰度和高速運動物體表現上優勢更加明顯，以一個商用的 see-through HMD 來看，對比度必須要大於 50:1。



圖 46 對比度 500:1 與 2000:1 的比較圖

4.9 調制轉換函數(Modulation Transfer Function)

MTF 特性圖是 Modulation Transfer Function(調制轉換函數)的簡稱，是一種測試鏡頭反差對比度及銳利度的評估方法。由 35mm 畫幅中心區至邊界位置，劃出與對角線平行的幼細線條，這些線條稱為弧線；而另外一些和弧狀線成直角的是子午線。這些重複而幼細的平行線以每毫米 30 條排列，可用來評估鏡頭記錄細節的精細度(或稱解像度)；而對某些光學設計藝術者更為重要的是鏡頭反差對比性能，可藉由另一組以每毫米 10 條排列的較粗線條量度。一支好的鏡頭無論在拍攝與對菲林平面對角線平行的弧狀線或是與之垂直的子午線都應有相同的準確性。但世界上並沒有完美的鏡頭，尤其在子午線向，你會發現影像邊緣區比中心區域較難得到精細的還原度。換句話說，幾乎所有的鏡頭在中央部分的明銳度是明顯比邊緣部份為佳。

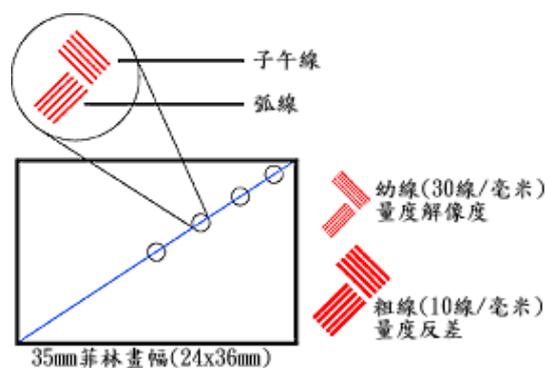


圖 47 MTF 原理示意圖

MTF 特性圖反映出鏡頭由中心區到邊緣位置的畫質表現。圖表的水平軸，由 0 至 20，代表從 35mm 影像中心點沿著對角線到畫幅角位的距離，大約是 21.5 毫米。圖表的垂直軸，代表鏡頭在記錄這兩種不同方向、不同粗幼線條時所顯示的精確度。

特性圖中的實線及虛線，分別對應弧狀線及子午線。理論上，一支完美的鏡頭將會在 MTF 特性圖頂部劃出一條筆直的水平線，代表鏡頭從中心部份到邊緣位置都具有 100% 的精確還原度。當然事實上並不存在這樣完美的鏡頭，因此一般的 MTF 特性圖中的線是呈曲線，由左至右移動(追蹤鏡頭由中心到邊緣的質素變化)時，曲線趨向下滑。

從 MTF 特性圖中，可以觀察到兩種光圈下的得分結果：光圈全開及 f/8.0 光圈，對焦方式則設為無限遠對焦。雖然 MTF 特性圖並不包括另外一些選擇鏡頭時的重要考慮因素，例如尺吋、價格、處理、最近對焦距離、自動對焦速度、像差、明亮均衡度以及是具備可提高影像質素的影像穩定器等，它不失為一個技術性的參考，從中得知個別鏡頭的光學特性。

由於 MTF 是三種以光度對比法對光學系統（鏡頭、底片、掃描器等）的成像質素測量方式之一。透過 MTF 曲線表現，大家可以對鏡頭產生的反差及解析度有初步的了解。 $MTF = \text{影像對比度} / \text{主體對比度}$ ，從上述概括的公式可以知道，影像的對比度愈接近主體對比度，MTF 的數值便愈接近 1，影像的質素便愈高。而大部份情況下，由於光線穿過鏡頭時會產生衍射作用及像差，影像的反差會較原來影像小，鏡頭 MTF 的數值都是在 1 以下。

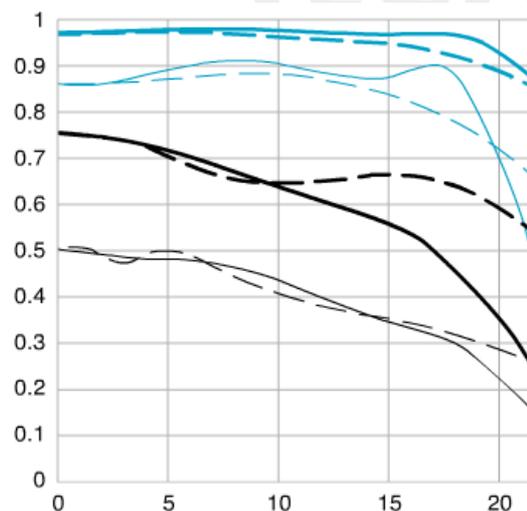


圖 48 MTF 特性曲線圖

對於一個商用的 see-through HMD 來說，他的 MTF 規格是 0.3，也就是每毫米 40 條的排列。

4.10 價格

在近年來崛起的 HMD 應用於很多產品上，例如目前當紅的 Google Glass，以消費者的角度來看，除了會在乎使用操作及外觀之外，最重要且影響消費者購買的因素肯定是價格了，當然以製作的觀點來看，使用的材料和技術都必須是數一數二，如何在擁有好的品質且又能使價格不會太高之中取得一個良好的平衡，就是研發者必須要去思考的一個部分，舉 Google Glass 為例，目前提供四種處方鏡片用鏡框款式選擇，售價約為 225 美元，同時，Google 也與擁有 Ray-Ban、Oakley 等品牌的眼鏡商 Luxottica 合作，會推出其他的鏡框設計款式。Google 於 2014 年 4 月 15 日於美國限時販售 Google 眼鏡，售價為 1500 美元。在未來，這個價格是否會調降或者是有什麼樣的改變，值得我們拭目以待。

第五章 一階尺寸 FL、FOV、F/#的進一步界定

5.1 光學系統三大重要參數

一個光學系統中最重要三個參數莫過於是焦距(Focal length，簡寫 FL)、視場角(Field of view，簡寫 FOV)及光圈(F-number，簡寫 F/#)，這三個參數幾乎決定了整個光學系統的定位及其性能，在光學系統中扮演著極為重要的角色。在做光學系統設計時我們必須要符合用戶所設定的這三個參數，而且也應該要合理。之後我們在探討設計理念時會在更進一步的了解，以下先簡單介紹這三個基本參數。

5.1.1 焦距(Focal length)

焦距，又稱焦長，是光學系統中衡量光的聚集或發散的度量方式，指從透鏡中心到光聚集之焦點的距離，也是照相機中從鏡片光學中心到底片、CCD 或 CMOS 等成像平面的距離，具短焦距的光學系統比長焦距的光學系統有更佳聚集光的能力。

在空氣中，薄透鏡(不考慮厚度)的焦距是由透鏡的中心至主焦點的距離。對一個匯聚透鏡(凸透鏡)來說，焦距是正值，而一束平行光將會聚集在一個點上；對一個發散透鏡(凹透鏡)來說，焦距是負值，而一束平行光在通過透鏡之後將會擴散開。

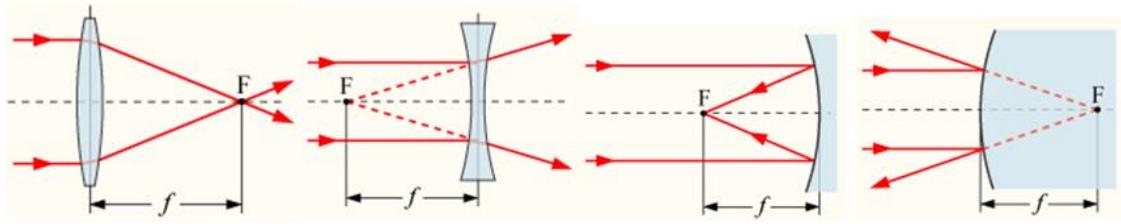


圖 49 正透鏡、負透鏡、凹面鏡和凸面鏡的焦點 F 和焦距 f 示意圖

厚透鏡(厚度不能忽略)，或是有好幾片透鏡或面鏡的系統(像是照相機鏡頭或望遠鏡)，焦距通常會以有效焦距 (EFL, effective focal length) 來表示，以與一般常用的參數有所區別：前焦距 (FFD) 或前焦長 (FFL) 是系統前方的焦點至第一個光學表面頂點的距離；而後焦距 (BFD) 或後焦長 (BFL) 是系統最後一個光學表面頂點至後方焦點的距離。

在空氣中的一個光學系統，有效焦距是由前面和後面的主平面至對應的焦點的距離。如果周圍的環境不是空氣，則距離要乘上該物質的折射係數，這個距離又稱為前(後)焦距，以與上面定義的前(後)焦點距離有所區別。

通常，焦距或有效焦距是描述光學系統聚集光線能力的值，並且常被用來計算放大倍數，其他的參數則被用來計算一個特定對象的影像將會在什麼位置上形成。

對在空氣中厚度為 d ，曲率半徑為 R_1 和 R_2 的透鏡，有效焦距為：

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n - 1)d}{nR_1R_2} \right],$$

此處 n 是透鏡材料的折射率，數值 $1/f$ 就是這個透鏡的光學倍率。

對應前端透鏡的焦距是：
$$\text{FFD} = f \left(1 + \frac{(n - 1)d}{nR_2} \right),$$

而對應後端透鏡的焦距：
$$\text{BFD} = f \left(1 - \frac{(n - 1)d}{nR_1} \right).$$

通常，如果第一個表面的透鏡是凸透鏡， R_1 的數值是正值，如果是凹透鏡則是負值；如果第二個表面是凹透鏡， R_2 的數值是正值，如果是凸透鏡則是負值。對一個球形曲率的鏡子，焦距等於鏡子的曲率半徑的一半。凹面鏡的焦距是正值，凸面鏡的焦距是負值。

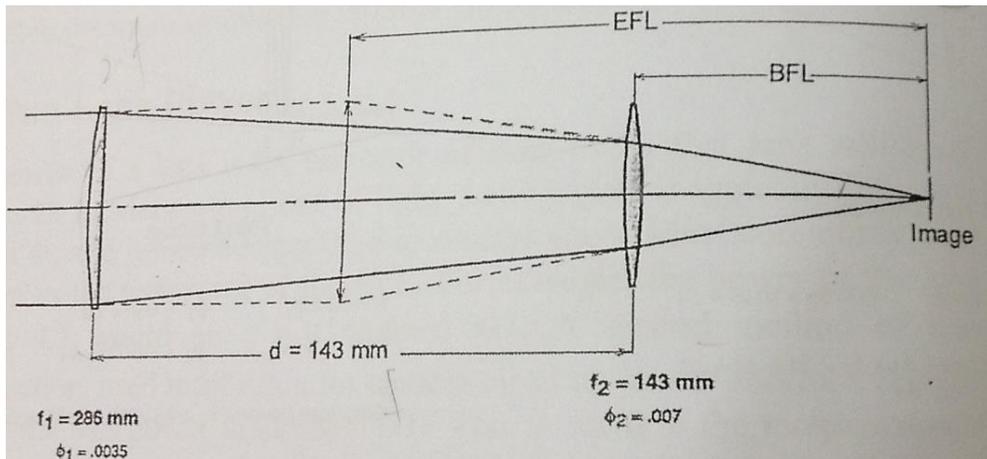


圖 50 焦距示意圖

5.1.2 視場角(Field of view)

在光學儀器中，以光學儀器的鏡頭為頂點，以被測目標的物像可通過鏡頭的最大範圍的兩條邊緣構成的夾角，稱為視場角。視場角的大小決定了光學儀器的視野範圍，視場角越大，視野就越大，光學倍率也就越大。因此，目標物體超過這個角就不會被收在鏡頭裡。

在顯示系統中，視場角就是顯示器邊緣與觀察點（眼睛）連線的夾角。如圖，視場角(2ω)為入射光線和光軸的夾角，其代表的意義簡單來說就是視野，視場角越大，所能看到的範圍越廣。

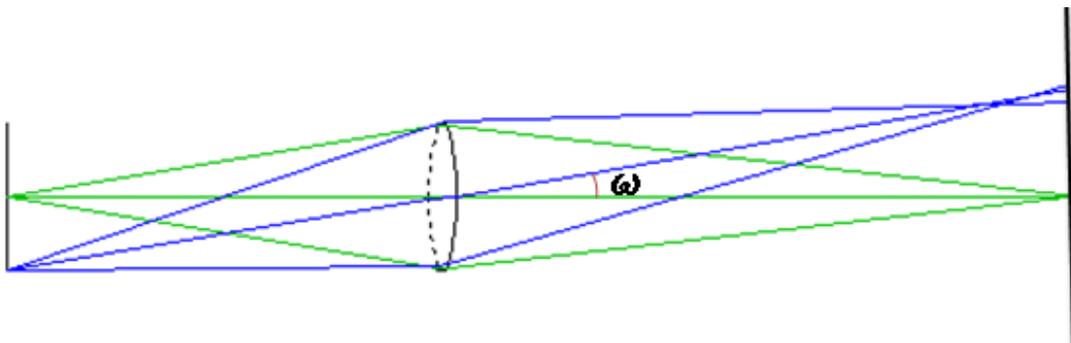


圖 51 視場角示意圖

5.1.3 焦比(F-number)

接下來要介紹的是焦比，又稱為光圈，也就是 $F/\#$ ，他與系統的相對孔徑 (relative aperture) 和照速 (speed) 有著密切的關係。對於較遠物體的成像系統中 (如：照相機或望遠鏡的物鏡)， F -number 是一個相當重要的物理量。當我們不考慮系統本身反射的能量和元件材料所吸收的能量時，通過系統的光能量將散佈在有限的像面面積上，若成像的面積越大，光通量的密度就會越小，由此可知，系統的光通量密度和成像面積成反比。又因為成像面積和系統焦距的平方成正比，則光通量密度就會與 $(1/f^2)$ 成正比，此外，光通量的大小也和系統的入瞳面積成正比，其中，通常以 D 代表入瞳直徑，則像面上光通量密度和 (D^2/f^2) 成正比。於是，我們將 (D/f) 的比值定義為系統的相對孔徑，他的倒數就定義為焦比 (F -number)，其關係式為 $F/\# = f/D$ 。

簡單來說，焦比就是照相機上用來控制鏡頭孔徑大小的部件，以控制景深、鏡頭成像質素、以及和快門協同控制進光量，有時也表示光圈值的概念。通常對於已經製造好的鏡頭，我們不能隨意改變鏡頭的直徑，但是可以通過在鏡頭內部加入多邊形或者圓型，並且面積可變的孔狀光柵來達到控制鏡頭通光量，這個裝置就叫做比焦，比焦 $F/\# = \text{鏡頭的焦距 (EFL)} / \text{光圈口徑 (EPD)}$ 。

因此，焦比對照片的影響非常的大，光圈越大則進光量就越大，景深也就越小， $F/\#$ 值就越小。

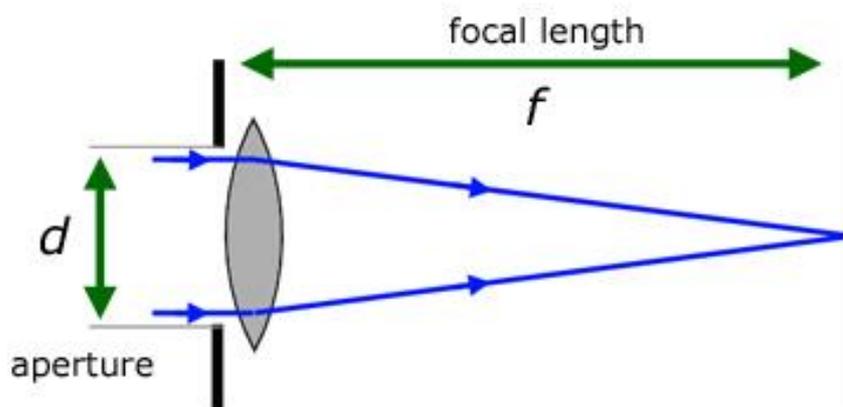


圖 52 焦比的示意圖

5.2 如何進一步界定三大參數

了解了光學系統中的三大參數之後，我們必須進一步的來設定 HMD 的光路中這 3F 的值該為多少。在進行光學透鏡設計前，首先要先了解所有光學系統都是由近軸光學的假設情況下，來針對近軸成像面來做設計，因此 HMD 系統之初階設定，將使用近軸之成像公式來計算，而要設計 HMD 系統，首先的第一步則是選定 Panel，本專題討論所選用的 Panel 為奇景光電生產之 LCOS HX7309，規格如下表。

Panel 型式	HX7309 (LCOS)
Active Area Dimensions	4.8 mm × 2.7 mm
Active Area Diagonal	0.22 inch
Native Aspect Ration	16:9
Display Resolution	640 Pixels × 360 Pixels
Pixel Pitch	7.5 μm × 7.5 μm

表 5-1 Panel 的規格

選用這片 LCOS 當 Panel 的原因是因為要符合商用 see-through HMD 的規格，其中，解析度必須要大於 QVGA，也就是 240×320 像素，另外 0.22 吋也符合 HMD 上的 Panel 不能太大片的原則。

完成 Panel 的選擇後，接下來開始設定一些需要使用到的初階規格。

1. 物高: 選取 Panel 的對角線長度 0.22 吋(5.588 mm)，當作系統的兩倍物高，因此系統的物高為 2.794 mm，這是以 Panel 的對角線的光入射的角度來看，若以 Panel 的長寬來看，由於是選用 16:9 的 Panel，而且 2.794mm(=0.11*25.4) 為對角線的一半，於是我們可以利用公式來求出半長及半高的值分別為 $2.794 * \cos(\tan^{-1}(9/16)) = 2.45\text{mm}$ 及 $2.794 * \sin(\tan^{-1}(9/16)) = 1.36\text{mm}$ 。
2. 焦距: 由於前面有介紹到符合商用 see-through HMD 的規格，視場角必須要 20 度，我們可以利用物高和視場角計算焦距， $f = 2.794 / \tan(10) = 15.85\text{mm}$ 約等於 16mm。

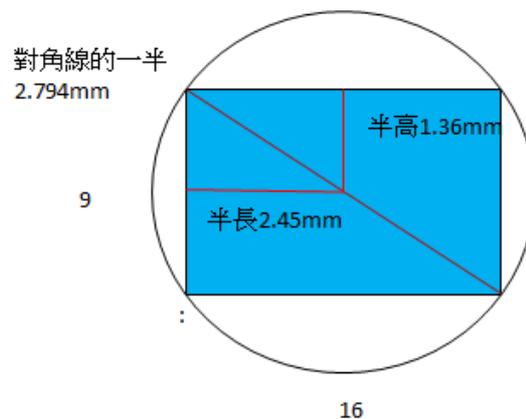


圖 53 以 16:9 的 LCOS 設定物高示意圖

3. 兩個分光稜鏡的大小及材料:左邊的設計為 $8\text{mm} \times 8\text{mm}$ ，右邊設計為 $12\text{mm} \times 12\text{mm}$ ，材料皆使用壓克力 ACRYL。
4. Panel(LCOS)的厚度及材料:一開始設定厚度為 0.5mm ，材料選用 BK7。
5. $1/4$ 波板厚度及材料:厚度設定為 0.2mm ，材料選用 BK7。
 接下來要計算還有多少長度可以配置剩下的空間，由於焦距為 16mm ，要扣掉光在 prism 中的等效光程(t/n)，我們使用的材料中 BK7 的 n 為 1.51 ，而 ACRYL 的 n 則是 1.49 ，為計算方便均使用 1.5 ，所以 $16-(0.5+8+12+0.2)/1.5=2.2$ ，表示還有 2.2mm 能夠分配到剩下的空間當中。
6. Panel(LCOS)到左邊 BS 的距離: 0.5mm
7. 兩個 BS 間的距離: 0.5mm
8. 右邊 BS 到 $1/4$ 波板間的距離: 0.4mm
9. 波板至反射面的距離: 0.8mm
10. 反射面的曲率:由於是球面鏡的關係，因此曲率為焦距的 2 倍也就是 $16*2=32$ ，且由圖可知為負曲率要加上負號。
11. Eye relief:由規格可知需在 $19\sim 21\text{mm}$ 之間，因此選定 20mm 。
12. 人眼明視距離: 250mm

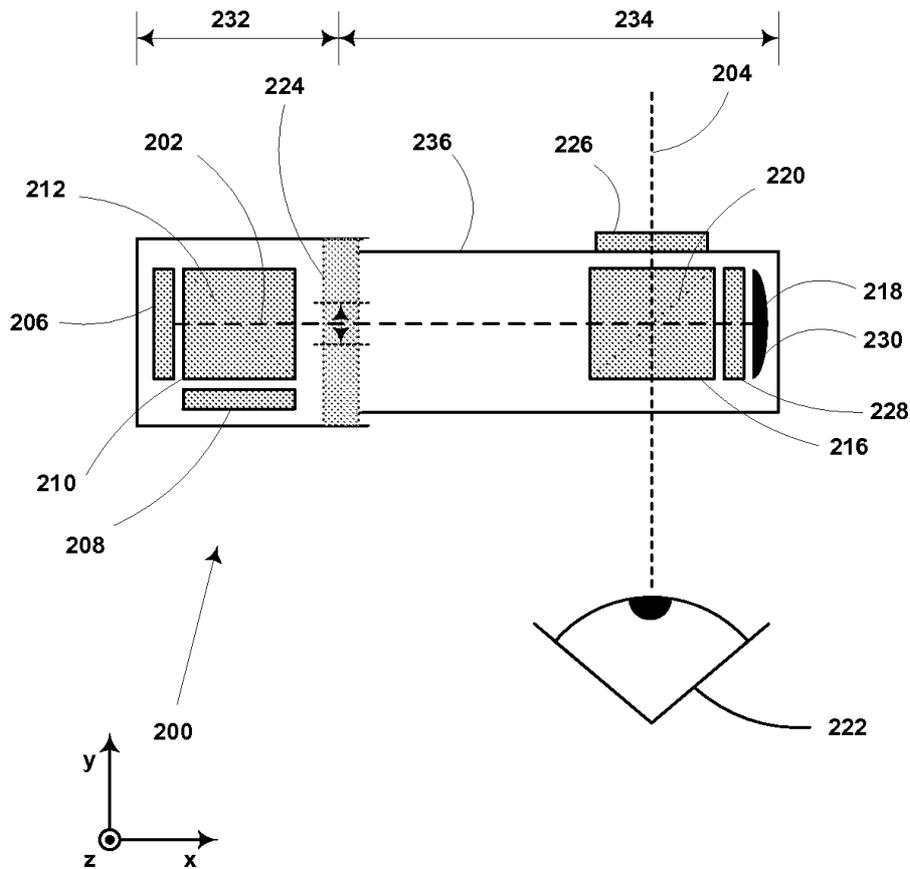


圖 54 Google Glass 專利中的架構圖

將以上參數都設定完成後，便開始進行 OSLO 的光路設計，建構出一個 HMD 的系統，並完成模擬，設計出由 Panel 發出的光線經過分光稜鏡、1/4 波板和反射鏡後能平行光進眼，最後使眼睛看到像。

第六章 光路的建構與模擬

完成了參數設定後，我們開始利用 OSLO 軟體來進行光路的建構和模擬，先從對角線的觀點切入，因此先輸入 $Ebr=0.1$ 和 $Object\ Height=2.794$ (如表 6-1)，由於要從 Panel 的對角線上四個點及中心一個點共五個點做光路建構，因此我們必須知道五個點的座標，以 16:9 的 Panel 來說，將對角線設為 1，X 方向長度就是 0.87，Y 方向長度則為 0.49，所以我們將五點座標輸入 (如圖 55)，(Y, X) 分別為 (0, 0)、(-0.49, 0.87)、(0.49, -0.87)、(-0.49, -0.87)、(0.49, 0.87)。

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPECIAL
OBJ	0.000000	0.500000	2.794000	BK7 C	F
1	0.000000	0.500000	3.000000	AIR	
2	0.000000	8.000000	4.000000 X	ACRYL C	
3	0.000000	0.500000	4.000000 X	AIR	
4	0.000000	12.000000	6.000000 X	ACRYL C	
5	0.000000	0.400000	6.000000 X	AIR	
6	0.000000	0.200000	6.000000 X	BK7 C	N
7	0.000000	0.800000	6.000000 X	AIR	
8	-32.000000	-7.400000	6.000000 X	REFL_HATCH	
9	0.000000	26.000000	8.500000 X	REFLECT	NC
AST	0.000000	0.000000	1.594380 AS	AIR	NF
IMS	0.000000	0.000000	1.594380 SX		F

表 6-1 將 Ebr 和 Object height 輸入

Frac Y Obj	Frac X Obj	Rays	Min Pupil	Max Pupil	Offset	FY	FX	Wvn	Cf
0.000000	0.000000	3	-1.000000	1.000000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	0
-0.490000	0.870000	3	-1.000000	1.000000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	0
0.490000	-0.870000	3	-1.000000	1.000000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	0
-0.490000	-0.870000	3	-1.000000	1.000000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	0
0.490000	0.870000	3	-1.000000	1.000000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	0

表 6-2 輸入光路建構的五點座標

接著我們要將設定的材質輸入進去，其中，Panel 和 1/4 波板皆選擇使用 BK7，而在分光稜鏡的部分就用壓克力 ACRYL，空氣的部分就輸入 AIR，由於第 8 面是反射面及第 9 面均需要做反射，因此設定以 REFLET 表示(如表 6-3)。

Gen	Setup	Wavelength	Field Points	Variables	Draw On	Group	Notes
Lens: No name Zoom 1 of 1 EFL 16.000000							
Object num aper 0.100000 Object height 2.794000 Primary wavln 0.58756							
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPECIAL		
OBJ	0.000000	0.500000	2.794000	BK7	C	F	
1	0.000000	0.500000	3.000000	AIR			
2	0.000000	8.000000	4.000000	ACRYL	C		
3	0.000000	0.500000	4.000000	AIR			
4	0.000000	12.000000	6.000000	ACRYL	C		
5	0.000000	0.400000	6.000000	AIR			
6	0.000000	0.200000	6.000000	BK7	C	N	
7	0.000000	0.800000	6.000000	AIR			
8	-32.000000	-7.400000	6.000000	REFL_HATCH			
9	0.000000	26.000000	8.500000	REFLECT		NC	
AST	0.000000	-250.000000	1.594380	AIR		NF	
IMS	0.000000	0.000000	45.630908	SX		F	

表 6-3 輸入各面的材質

再來我們將原先設定的參數都輸入進去，像是反射面的曲率半徑為-32，Panel 厚度 0.5，兩個分光稜鏡厚度分別為 8 和 12，Panel 到左邊 BS 的距離 0.5，兩個 BS 間的距離 0.5，右邊 BS 到 1/4 波板間的距離 0.4，波板至反射面的距離 0.8，反射面到分光稜鏡中心距離為 7.4，eye relief 加上 BS 的一半距離為 26，最後輸入人眼明視距離 250(如表 6-4)。

Gen	Setup	Wavelength	Field Points	Variables	Draw On	Group	Notes
Lens: No name Zoom 1 of 1 EFL 16.000000							
Object num aper 0.100000 Object height 2.794000 Primary wavln 0.58756							
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPECIAL		
OBJ	0.000000	0.500000	2.794000	BK7	C	F	
1	0.000000	0.500000	3.000000	AIR			
2	0.000000	8.000000	4.000000	ACRYL	C		
3	0.000000	0.500000	4.000000	AIR			
4	0.000000	12.000000	6.000000	ACRYL	C		
5	0.000000	0.400000	6.000000	AIR			
6	0.000000	0.200000	6.000000	BK7	C	N	
7	0.000000	0.800000	6.000000	AIR			
8	-32.000000	-7.400000	6.000000	REFL_HATCH			
9	0.000000	26.000000	8.500000	REFLECT		NC	
AST	0.000000	-250.000000	1.594380	AIR		NF	
IMS	0.000000	0.000000	45.630908	SX		F	

表 6-4 輸入曲率半徑及厚度

在 Aperture Radius 設定部分，皆改為方形的，BS 的高度就設定的和寬度一樣，其他就取適當高度，主要是設定時必須依據需求做位置輸入值的改變，例如：BS 的 Aperture Radius 為 6，則對角線就是 8.5，而在 AST 面由於是 Exit pupil 的位置，因此眼睛的位置不用改為方形，最後成像面便依據 Solve 得到的值 45.63 與 16:9 的 Panel 比例去做 X 方向和 Y 方向的調整(如表 6-5、6-6、6-7)。

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPECIAL
OBJ	0.000000	0.500000	2.794000	BK7	C F
1	0.000000	0.500000	3.000000	AIR	
2	0.000000	8.000000	4.000000	ACRYL	C
3	0.000000	0.500000	4.000000	AIR	
4	0.000000	12.000000	6.000000	ACRYL	C
5	0.000000	0.400000	6.000000	AIR	
6	0.000000	0.200000	6.000000	BK7	C N
7	0.000000	0.800000	6.000000	AIR	
8	-32.000000	-7.400000	6.000000	REFL_HATCH	
9	0.000000	26.000000	8.500000	REFLECT	NC
AST	0.000000	-250.000000	1.594380	AIR	NF
IMS	0.000000	0.000000	45.630908		F

表 6-5 設定 APERTURE RADIUS 的值

Type	Action	Group
Rectangle	Transmit	0
X min	X max	Y min
-6.000000	6.000000	-8.500000
Y max	Angle	
8.500000	0.000000	

表 6-6 設定為方形及 X、Y 方向的值

Type	Action	Group
Rectangle	Transmit	0
X min	X max	Y min
-40.000000	40.000000	-22.000000
Y max	Angle	
22.000000	0.000000	

表 6-7 設定成像面的 X、Y 方向的值

完成前面的動作後，我們來看成像的情況，分成 2D 和 3D 的光路模擬圖，可以看出 HMD 中的光線如何運作。

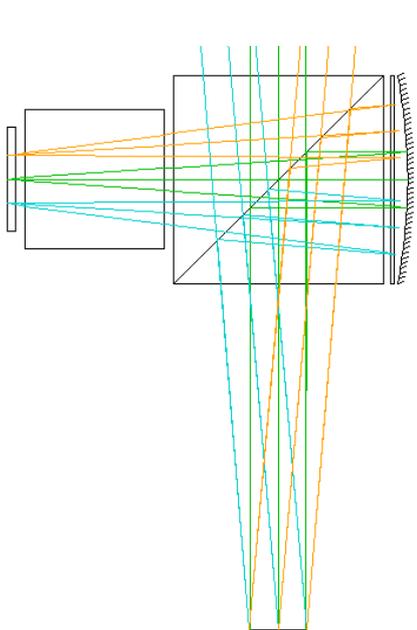


圖 55 2D 的光路建構示意圖

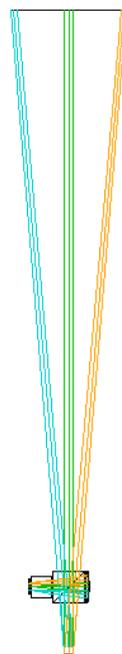


圖 56 2D 的眼睛看到情形

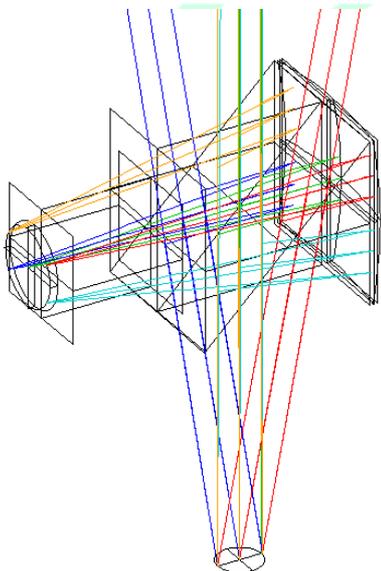


圖 57 3D 的光路建構示意圖

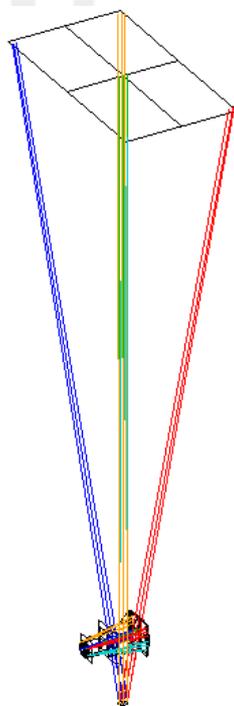


圖 58 的眼睛看到情形

若要直接從十字的觀點切入，以 16:9 的 Panel 來說，對角線的一半為 2.794，則 Object Height 便為 1.35，由於要從 Panel 的十字形上四個點及中心一個點共五個點做光路建構，因此我們必須知道五個點的座標，將高度(Y 方向)設為 1，則長度(X 方向)就是 1.77，所以我們將五點座標輸入，(Y, X)分別為(0, 0)、(1, 0)、(-1, 0)、(0, 1.77)、(0, -1.77)，而與對角線的觀點最大不同僅在此，其他參數輸入均一樣。

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE	RADIUS	GLASS	SPECIAL
OBJ	0.000000	0.500000	1.350000		BK7	C F
1	0.000000	0.500000	3.000000	X	AIR	
2	0.000000	8.000000	4.000000	X	ACRYL	C
3	0.000000	0.500000	4.000000	X	AIR	
4	0.000000	12.000000	6.000000	X	ACRYL	C
5	0.000000	0.400000	6.000000	X	AIR	
6	0.000000	0.200000	6.000000	X	BK7	C N
7	0.000000	0.800000	6.000000	X	AIR	
8	-32.000000	-7.400000	6.000000	X	REFL_HATCH	
9	0.000000	26.000000	8.500000	X	REFLECT	
AST	0.000000	-250.000000	1.594380	AS	AIR	NC
IMS	0.000000	0.000000	22.939509	SX		F

表 6-8 輸入光路建構的五點座標

Frac Y Obj	Frac X Obj	Rays	Min Pupil	Max Pupil	Offset	FY	FX	wvn	Cf
0.000000	0.000000	3	-1.000000	1.000000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	0
1.000000	0.000000	3	-1.000000	1.000000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	0
-1.000000	0.000000	3	-1.000000	1.000000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	0
0.000000	1.770000	3	-1.000000	1.000000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	0
0.000000	-1.770000	3	-1.000000	1.000000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	0

表 6-9 將 Ebr 和 Object height 輸入

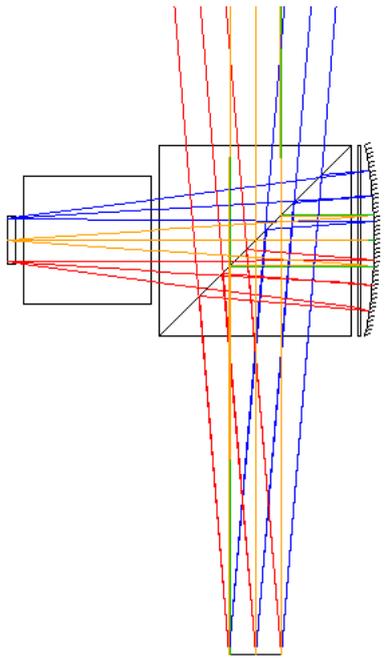


圖 59 2D 光路建構示意圖

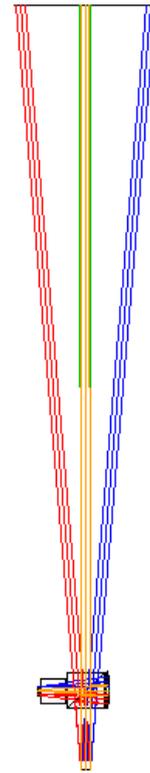


圖 60 2D 眼睛看到的情形

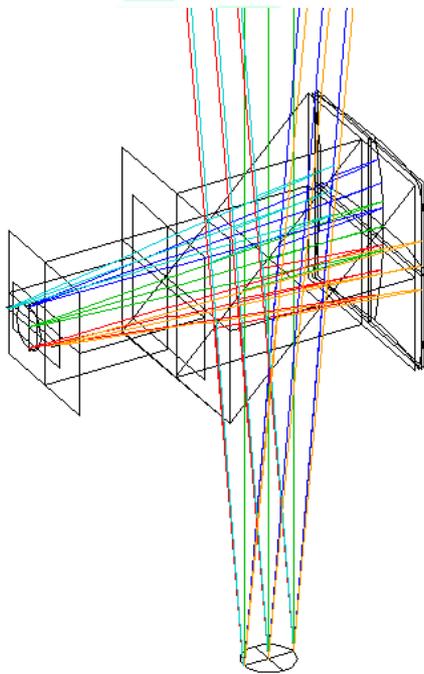


圖 61 3D 光路建構示意圖

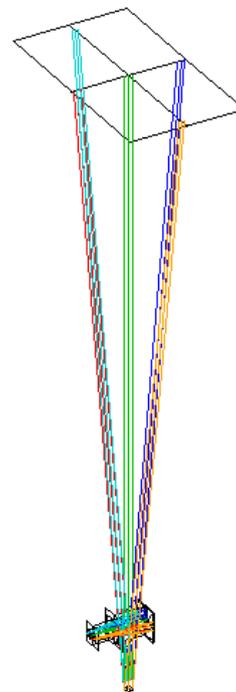


圖 62 3D 眼睛看到的情形

由下圖我們將整個光路結構以及各個位置做一個整理和分析。

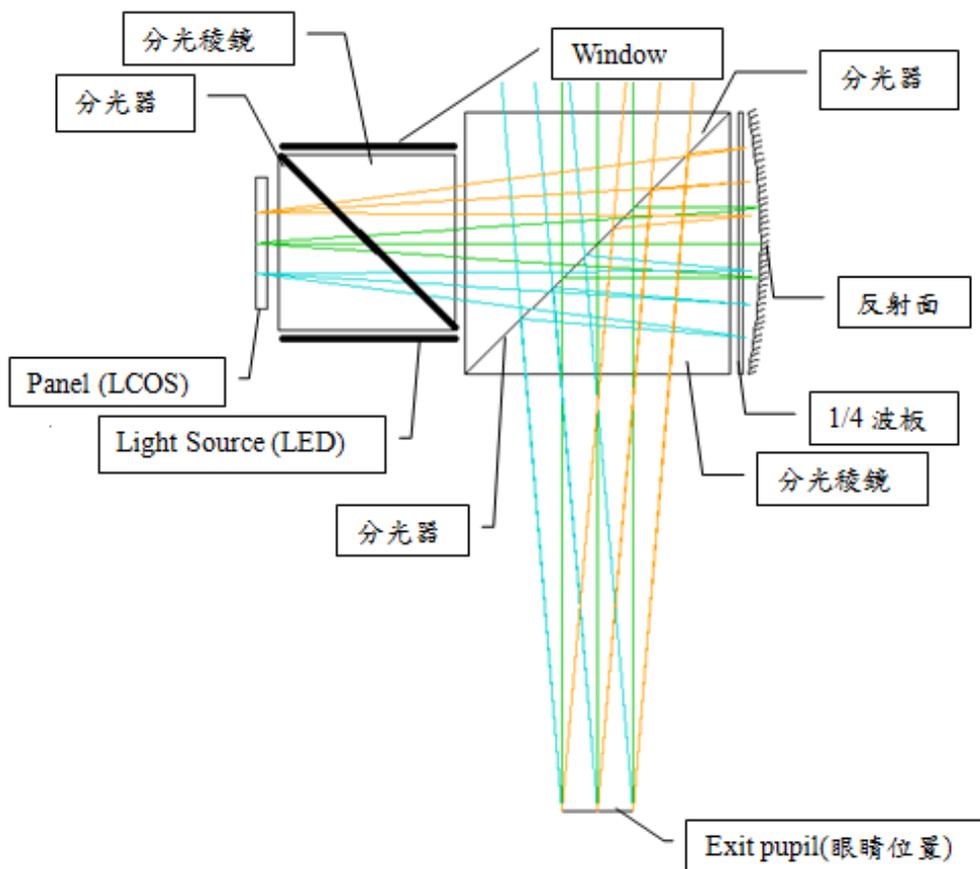


圖 63 光路中各元件的名稱及對應位置圖

接著再將我們模擬出來的結果與 Google Glass 專利中的設計圖做對應，便可以發現我們的模擬到現階段為止是成功的。

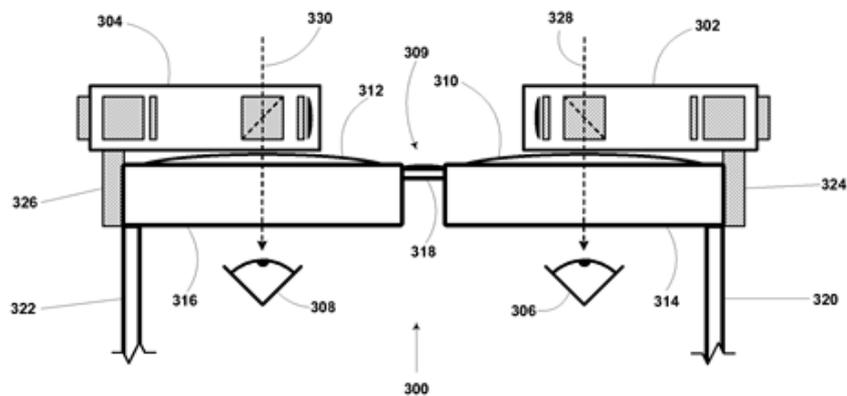


圖 64 Google Glass 專利設計俯瞰圖

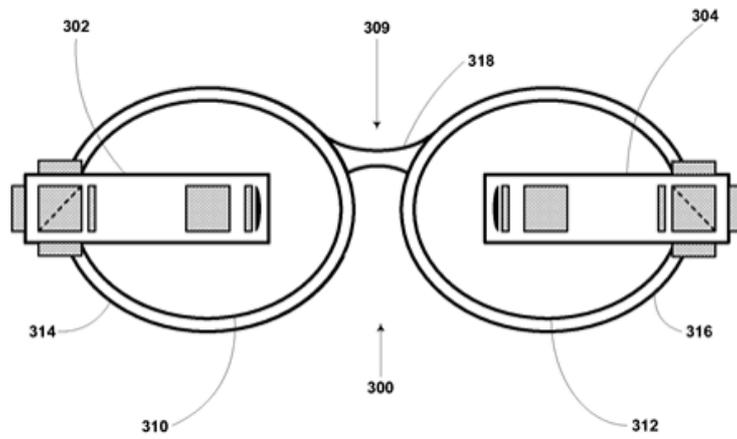


圖 65 Google Glass 專利設計正視圖

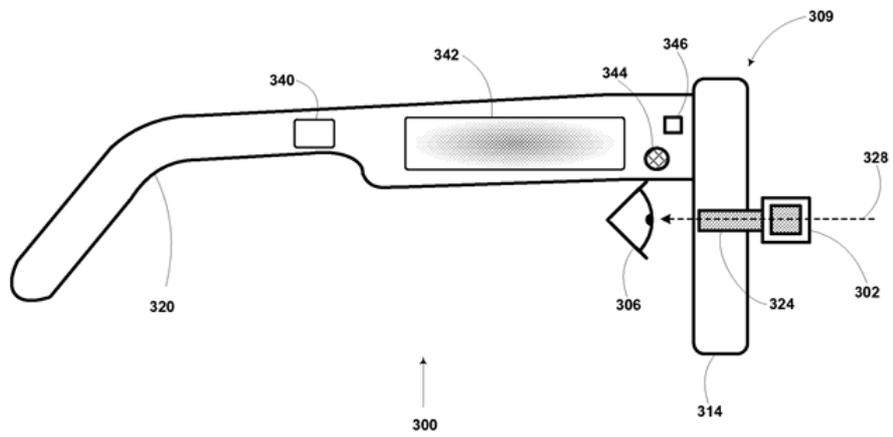


圖 66 Google Glass 專利設計側視圖

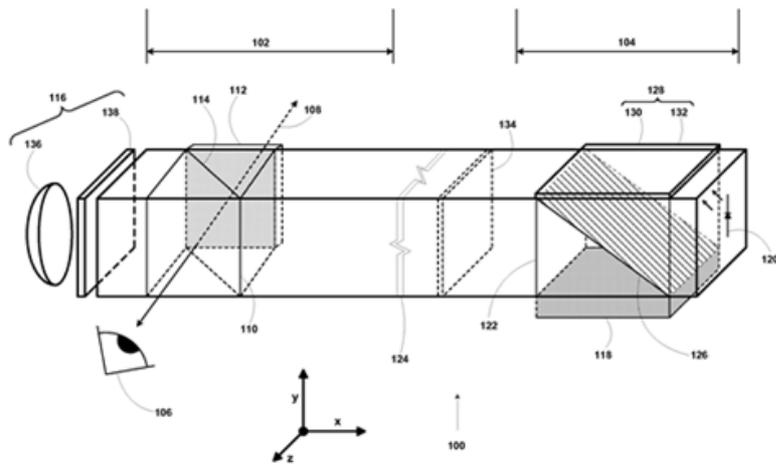
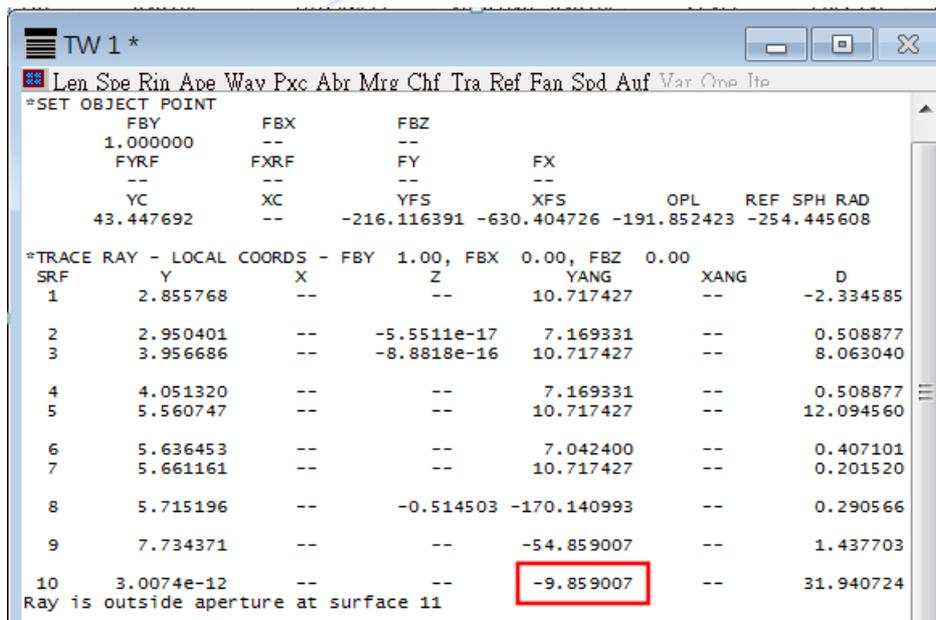


圖 67 Google Glass 專利設計立體圖

第七章 討論

本專題提出一套完整的HMD光路設計及建構流程，從考慮人眼特性及顯示元件規格，配合幾何光學應用推導出系統規格。最後依照設計想法，將光路模擬出來，並與Google Glass專利做比較及修正。

最後設計結果之FOV值約為19.9度，相當接近理想的20度，且Eye box符合大於10 x 10mm的條件，Eye relief控制在20mm，且Panel的挑選上也適當，使得Resolution大於QVGA的規格。但唯一美中不足的是成像品質方面，於各個視場所制定之空間頻率的MTF未能達到40 lines/mm的0.3，而且像差的問題也較嚴重，可能可以透過改變材料的方式改善，但由於目前的HMD以傳輸文字訊息為主，也因此像差的地方較不用擔心，倘若需要做影片的觀看或傳遞，才較需要考慮，也因此本專題在這裡已經達達初步的設定目標。



```
TW 1 *
*SET OBJECT POINT
  FBY      FBX      FBZ
  1.000000  --      --
  FYRF      FXRF      FX
  --      --      --
  YC      XC      YFS      XFS      OPL      REF SPH RAD
  43.447692  --      -216.116391 -630.404726 -191.852423 -254.445608

*TRACE RAY - LOCAL COORDS - FBY 1.00, FBX 0.00, FBZ 0.00
SRF      Y      X      Z      YANG      XANG      D
1      2.855768  --      --      10.717427  --      -2.334585
2      2.950401  --      -5.5511e-17  7.169331  --      0.508877
3      3.956686  --      -8.8818e-16  10.717427  --      8.063040
4      4.051320  --      --      7.169331  --      0.508877
5      5.560747  --      --      10.717427  --      12.094560
6      5.636453  --      --      7.042400  --      0.407101
7      5.661161  --      --      10.717427  --      0.201520
8      5.715196  --      -0.514503 -170.140993  --      0.290566
9      7.734371  --      --      -54.859007  --      1.437703
10     3.0074e-12  --      --      -9.859007  --      31.940724
Ray is outside aperture at surface 11
```

圖 68 光路模擬之視場角結果圖

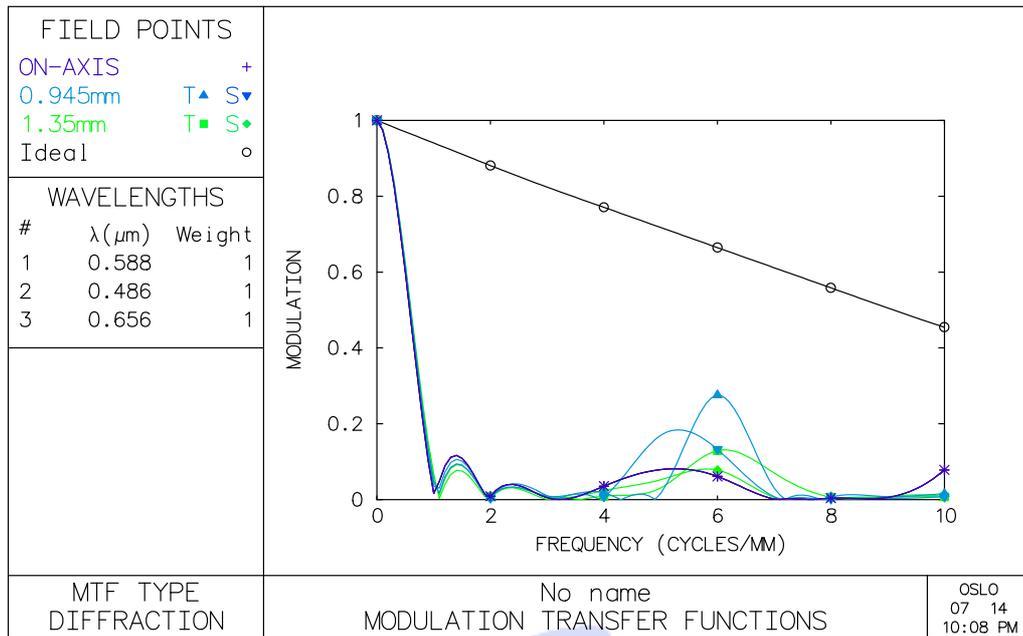


圖 69 光路模擬之 MTF 結果圖

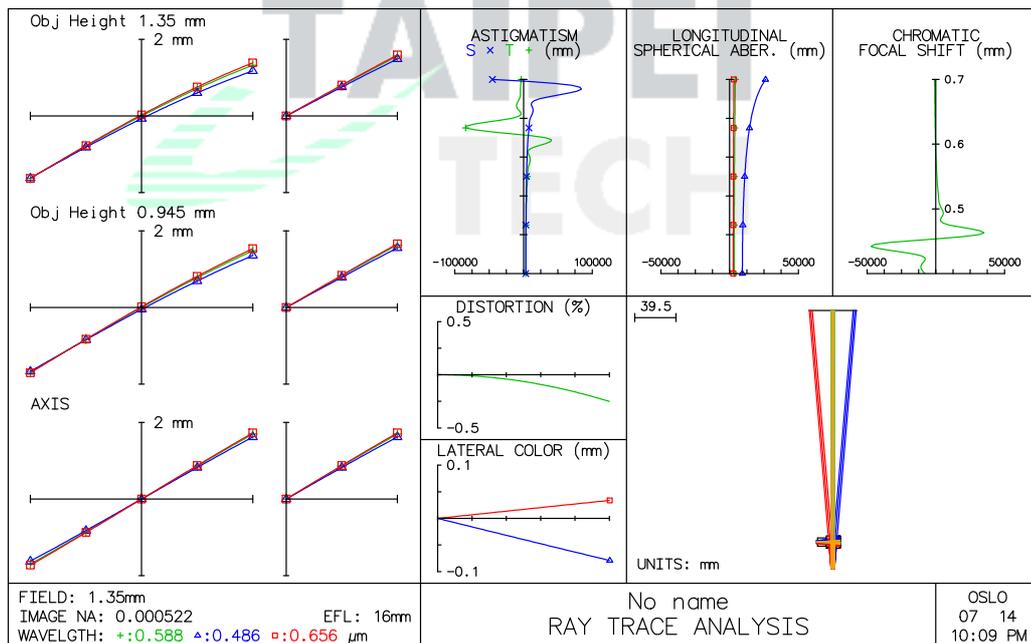


圖 70 光路模擬之像差結果圖

第八章 結論

在 HMD 的設計過程中必須要先有完整的光學系統設計理念，透過這次的專題討論後，將 HMD 中的光路透過 OSLO 軟體模擬便不再是一件很難的事了，隨著科技的進步以及時代的改變，HMD 的設計以及應用也更加廣泛，也是最值得拿來進行研究的主題。透過分析 google 的 HMD 專利，了解內部的光路設計，以及每個元件的功能，每個光學參數的定義，甚至到軟體的操作都花了好大一番功夫。然而在學會這些之後，基本的設計流程與架構就變得比較容易了，倘若一開始沒有先學會初始結構和花時間去了解的話，那麼有可能就會影響到模擬的結果，即使使用再好的軟體輔助大概也無法完成。

因此有基本的設計理念，能快速地將光學系統的雛型定下來。從 HMD 的系統架構到規格再到對光學系統的理解，不斷地使用軟體模擬嘗試錯誤，這些過程都讓我學習到很多寶貴的經驗，找了很多篇不同的論文和專利互相比較，並與教授討論研究，在模擬時雖然遇到很多問題，但很幸運地都能夠一一解決，最後還是順利的完成了這份頭戴式微型顯示器光路設計的專題，未來我也會繼續朝 HMD 的領域和方向繼續努力研究下去。

第九章 參考文獻

- [1.] Optical Engineering Fundamentals, Second Edition By Bruce H. Walker
- [2.] Modern Lens Design, Second Edition By Warren J. Smith
- [3.] 幾何光學 編著: 耿繼業、何建娃
- [4.] Military Standardization Handbook Optical Design
- [5.] Optical System Design, Second Edition By Robert E. Fischer
- [6.] 維基百科

