

以半透金屬膜製作 LED 景深 3D 顯示之應用

張珉瑄¹、侯斌欽²、林晉宇³、許世昌⁴

email : ¹Department of Electrical Engineering, National university of Tainan, Taiwan
min1262070252@gmail.com

email : ²Department of Electrical Engineering, National university of Tainan, Taiwan
jj890101@gmail.com

email : ³Department of Electrical Engineering, National university of Tainan, Taiwan
leo5852280@gmail.com

email : ⁴Department of Electrical Engineering, National university of Tainan, Taiwan
scshei@mail.nutn.edu.tw

摘要

本計畫研究以半透金屬膜製作 LED 景深 3D 顯示之應用，為了實現 3 維(3D)鏡面隧道效應，以熱蒸鍍法(Thermal Evaporation Deposition)之熱電阻加熱(Resistive Heating)的方式蒸鍍不同金屬在玻璃基板上，測試不同金屬薄膜克數間之反射率和穿透率特性，如何呈現出良好的發光二極體(LED)鏡面隧道效應，即多層 LED 成像。為達成產品開發者想要的 3D 綠光 LED 景深程度設計為目的，研究設計考量不同金屬材質、抗氧化程度對反射率的影響，有別先前學者大多使用隔熱紙實現半反射鏡之效果，卻受限於單一景深程度；而本研究是可自由調整景深程度，應用於城市美學之各種燈光效果的文章。最後，考量不同材質的半透膜在烘烤及室溫下，作放置時間長度變化的環境穩定性測試。預期實驗結果將發現，金屬材質加上 SiO₂ 的抗氧化效果不僅可以有效地實現半反射鏡，還可以有效地呈現鏡面隧道效應。

關鍵詞：半透金屬膜、LED、景深、3D 顯示

一、緒論

城市發展關鍵之一是以空間 2D 或 3D 城市景觀格局來實現[1]，而城市燈光景觀的本質特點是人文屬性，即「人文主義」。因此，把人的感受作為首要研究物件的「人性化設計」便成為城市燈光環境建設最重要的追求[2]，任何人性化的設計都需要借助載體來實現，燈光也需要借助相應的物質載體來展現景觀效果。因此，構建視覺環境的物質實體，即燈光景觀的物質載體就成為城市燈光景觀設計的核心問題[3]。經過視覺化或 3D 成像顯示的實體結構，不僅增添燈具造型創意，更提升了燈光設計層次[4]，包含人文素材的燈具景觀造型不僅拉近了人與自然的距離，同時也可以突顯景觀的觀賞價值[5]。

近年來政府積極推動城市美學，光學環境為其重要表徵，以致裝置藝術燈、路燈、咖啡桌、安全警示燈、手錶、車尾燈、RGB 燈光效果的電競型電腦主機等

具有無限鏡功能之產品造型設計逐漸發展(圖 1)，將有利於城市景觀及視覺美感以抓住城市特色[6]。發光二極體(Light-emitting diode, LED)一般作為燈具的光源[7]，其優勢在於擁有較多的單位面積發光量、高效率的電能轉光能、切換速度反應快、無汞汙染、堅固耐用與調配各種光譜的簡易性，成為照明之星被應用於各領域[8]。



圖 1 具有無限鏡功能之產品

利用鏡片的配置所形成的多重反射現象，被稱為無限反射或無限鏡射[9]。本研究希望藉由不同的面性材質，構成具有無限反射空間感之形態及 3D 照明深度視覺[10]，故在實驗設計前，蒐集各式材質的目的在於找出適合運用於 LED 無限反射鏡之素材，是視覺上最有效的輪廓，一般包含金屬板、壓克力板、玻璃板等[11]。在光電應用設計上，透光導電薄膜除本身電阻率要夠低之外，其另一項重要考慮因素在於材料折射率的搭配[12]，由於本研究的無限反射效果，將結合 LED、透光素材、金屬材料進行實驗，而此實驗需要透光性較高的材質，如玻璃等做為透光素材，鏡面反射程度較高之材質做為反射材料，如鋁、鉻等金屬材料做為優先考量[13] [14] [15]。鋁膜為高反射薄膜且蒸鍍容易，在大氣中，表面因氧化生成氧化鋁，對化學侵蝕抵抗力雖強，但形成薄膜時須加鍍保護層，故本計畫亦加鍍二氧化矽(SiO_2) [15]進行實驗，可望得到較高的反射率。

本計畫研究半透金屬膜結合 3D 綠光 LED 呈現景深隧道效果，為了實現 3D 鏡面隧道影響，以熱蒸鍍法之熱電阻加熱的方式蒸鍍不同金屬在玻璃基板上，測試不同金屬薄膜克數間之反射率，如何呈現出多層 LED 鏡面成像。研究設計考量不同金屬材質、抗氧化程度將產生不同的反射率並結合 3D 綠光 LED 景深影像呈現(圖 2)。由於照明或電子產品在使用與運輸中，容易受到溫度等環境因素影響而產生劣化現象。因此，環境試驗是一項關鍵性的步驟[16]。根據美國環境科學學會對環境應力篩選有效性的報告，溫度為最重要因子，因此透過溫度控制可以檢測產品大部分的不良現象，進而改善材料可能發生潛變或強化設計[17]。故本研究作穩定性測試部分，考量不同金屬半透膜在烘烤及室溫環境下，觀察放置時間長度變化之氧化程度情形(圖 3)。

本研究預期實驗結果可能發現，鋁半透膜的膜厚在某段範圍之間反射率表現

不錯，可作為不同景深層數之上層半反射鏡，再作室溫或烘烤的環測，以驗證鋁相較於其他金屬的氧化程度偏快；其次，嘗試改變材料鉻驗證是否具不易氧化的特性，期望在特定反射率之景深的抗氧化程度有明顯改善；最後，嘗試在鋁膜上加鍍保護層，期望降低氧化速率並仍維持高反射率，不僅可以有效地實現半反射鏡，還可以有效地呈現鏡面隧道效應。

根據上述研究動機與背景，本研究提出以下幾點研究問題：

1. 剖析鋁與鉻本身反射率的差異。
2. 釐清不同鋁克數對反射率升降差異變化，進而影響景深層數情形。
3. 釐清不同鉻克數對反射率升降差異變化，進而影響景深層數情形。
4. 剖析鋁與鉻克數不同時，對穿透率升降所造成的景深層數變化情形。
5. 測試鋁鍍上不同保護層之反射率變化，並作比較。
6. 鋁鍍上絕緣層的環境穩定性測試 (溫度及放置時間長度)。
7. 探討金屬材質抗氧化程度於車燈等產品景深效果之應用。

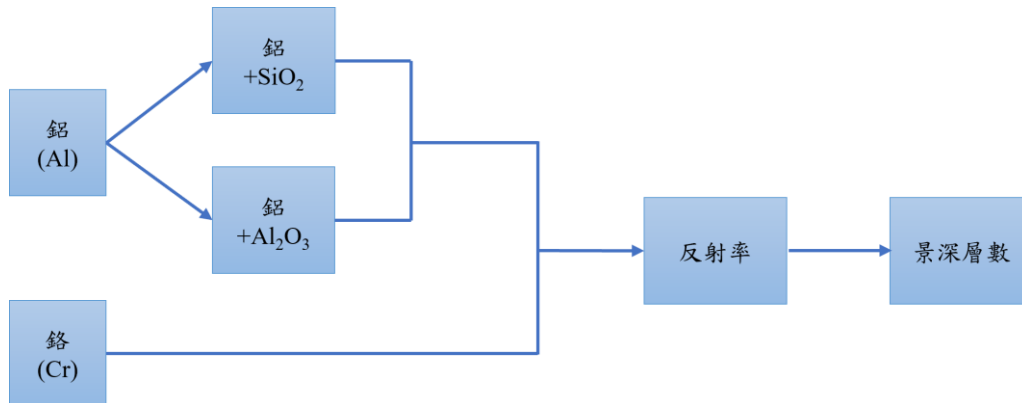


圖 2 研究機構之流程圖

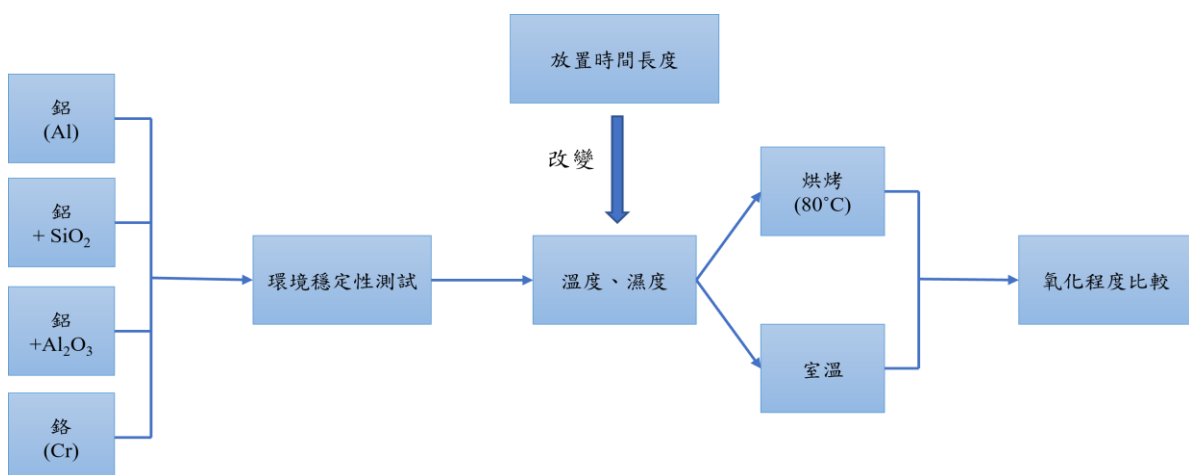


圖 3 環境穩定性測試流程圖

二、文獻回顧與探討

1. 玻璃基板

玻璃為經典材料，可以顯現圖像的內容性，也可導入作品本身的物質性及當下存在的同時性[18]。先前文獻亦使用玻璃基板鍍膜[19][20]，由於理想反射器的主要光學屬性是：(1)高光學性能，即理想的反射率、鏡面性和幾何結構；(2)低維護；(3)低初始成本；(4)長壽命，由於玻璃具上述特性，因此選擇玻璃作為金屬薄膜之基板，以達到理想反射光學的效果。

2. 蒸鍍鋁、鉻於玻璃基板

在厚度玻璃基板方面，玻璃製造得相對薄，以減少太陽輻射在最大可能寬度的光譜範圍內，傳輸期間的雙重吸收，同時仍滿足玻璃強度要求。大多數厚度趨於為零的玻璃類型，反射率顯示高於 0.9[21]。

反射材質是指光線會被材質表面所反射，不同的材質會產生不同的反射率特性，在高反射鏡的金屬薄膜當中，有一些常用的材料，例如：銀、鋁、鉻，每種材料於鏡子反射表面都有其自身的優缺點。根據照明設計理論，金屬材料中，銀的鏡反射率為 90~95%；鋁為 60~75%；鉻為 63~66% [22] [23]，銀鏡和鋁鏡的反射率幾乎接近 99% [24]，與銀鏡相比，鋁對玻璃的附著力更好，腐蝕問題更少，反射率更高[25]。鋁鏡具有成本更低、耐用性更高和材料粘附性更好等優點[24]。此外，鋁表面鏡的腐蝕問題不如銀鏡嚴重，因為鋁鏡對玻璃的粘附性更好，並且不像銀會因氧化產生硫化物而失去光澤[20]。下表(圖 4)對鉻結構檢驗表明，雖然結構是連續的，但存在晶界及裂紋的情況下，會使氣體迅速擴散到界面，完成中間氧化層的形成。從而觀察到附著力迅速上升。由此可知，鉻具有良好的粘附性[26]。

metal	rate of deposition (Å/s)	thickness (Å)	adhesion (g)	
			initial	final
Au	1 to 14	100 to 1300	2	2
Ag	8 to 90	100 to 1600	5	8
Pb	5 to 40	250 to 1200	3/4	3/4
Al	2 to 70	60 to 1300	7	70
Zn	7 to 14	130 to 400	3	8
Fe	8 to 10	230 to 650	100	>500
Cr	1 to 6	150 to 1150	100	>500

圖 4 各種金屬之粘附性比較[33]

3. 鋁膜上濺鍍 SiO₂ 作為保護層

為了加強金屬材質與玻璃基本的附著力，考慮需保護反射材料並增加其耐用性，運用增強反射率的雙層效果，期望透過交替使用低折射率和高折射率來提高鋁鏡面的反射率[27]。鋁膜加上由二氧化矽氧化層保護時，在實驗前段二氧化矽呈現淡黃色，會影響鏡面反射率，但少量添加氫氣後，反射率則可提高到 0.89[25]。

根據測試，鋁膜上加鍍二氧化矽氧化層後的平均壽命預計為十年以上，其反射率為 0.85[28]。氧化鋁被用作保護層為了增加其反射率，通過電子束蒸發到鏡面上[27]，M. Viswanthan 等人使用了厚度可控的氧化鋁以提高反射率[29]。文獻中，鋁膜上的 SiO 或 SiO₂ 被用作反射和保護層材料。此外，Si₂O₃ 和 SiO₂ 薄膜與鋁膜有很好的親和性，因此，這兩種薄膜都是優良的第一面鏡保護層[20]。除了氟化物材料外，氧化物材料還用於保護新沉積的鋁層不被氧化。SiO₂ 和 Al₂O₃ 是光學塗層應用的合適候選者[30]。

4. LED 相關文獻

V. L. Nguyen 等人提出 LED 牆上的顏色和動畫進行可視化[31]。曹發斌等人研究 LED 照明領域的應用，討論器材的色坐標和顯色指數等參數對驅動電流的變化[32]。由於 LED 具有低耗能、高效率、與長壽命的特性，已廣泛使用於現代化電子產品[33]，其裝置發出的紅光照射可以有效刺激纖維細胞的增殖，並可能促進傷口癒合[34]。姚光慶等人利用分離發光中心的位形坐標模型對波長的移動作了定性解釋，討論發射波長的可調節性，對改善氮化鎵 LED 匹配的藍光轉換材料的色坐標、色溫等顯色性質的重要意義[35]。

C. Lin 等人提出複雜 3D 成像設置通常需要帶有掃描儀或多結構化照明，考量設備體積龐大且成本更高而提出更準確、更高效的 3D 彩色 LED 照明的設備[36]，而用於深紫外發光二極體(DUV-LED)的全無機密封封裝技術，在低溫三維(3D)陶瓷基板上製造，粘結層由無機粘合劑形成，呈現可靠緻密的狀態[36]。H. Cheng 等人提出封裝效率和光學性能是白光發光二極管(WLED)封裝的重要指標，故採用 3D 陶瓷基板封裝的 WLED 具有優異的光學一致性[37]，J. C. Liou 等人解決了自動立體 3D 顯示器的具體技術挑戰，用於散射照明光的光散射條，設置在導光板上[38]。M. N. Khan 等人提出有限 LED 的近場 3D 光分佈的封閉式解析公式對於設計 LED 和激光器在顯示及照明所需亮度上很有用[7]。

綜上所述，LED 相關文獻中，大致的議題包含顏色與動畫的可視化、照明領域及電子產品的應用、紅光照射增生細胞、邊緣點對比度和高度輻射連續性、發射波長調節性、3D 彩色 LED 照明的設備發展、LED 製程改善、研發 LED 亮度增加的模型等。現今，LED 燈具已在所有可能的照明應用中取代了其他傳統照明解決方案，因而提升了使用壽命。有別於先前文獻對 LED 的相關探討議題，本計畫為考量不同金屬鍍膜之厚度改變 LED 景深程度的文章。

5. 景深相關文獻 (Depth of field, DOF)

透鏡只能夠將光聚到某一固定的距離，遠離此點則會逐漸模糊，但是在某一段特定的距離內，圖像模糊的程度是肉眼無法察覺的，這段距離稱之為景深。對於某些圖像，例如風景照，比較適合用較大的景深，然而在人像攝影時，則經常使用小景深（或者叫淺景深）來構圖，造成所謂背景虛化的效果。透過圖像的銳利度可以改變景深。

S. Sikdar 等人透過簡單的無數無限鏡壓力測試，觀察到在某些傳統圖模型於波動大的情況下會有訊息更豐富或退化的呈現，因此退化模式是圖模型未來發展的重要線索[40]。A. F. Panaite 等人發現開發可行的掃描系統後，人類的眼睛大都追蹤如移動手機般的袖珍設備控制系統中，乃至於筆記型或桌上型電腦環境，因此研究 3D 應用於娛樂或設計等領域時，即便眼動追蹤系統會出現新挑戰，焦點仍集中在解決眼睛移動與注視程度的議題上[41]。K. Chiba 等人提出在光學系統中，如何利用無限鏡光學和回歸反射的航空成像，減少無限鏡的光損失。光學系統乃透過一個半反射鏡和一個全反射鏡組成，以形成多個圖像和傾斜的後向反射器，提高光的使用效率，並分析多個航拍圖像的視角，也模擬光學系統。而新的光學系統，透過使用薄光學元件形成多個航拍圖像。基於通過回射 (AIRR) 進行的航空成像並引入無限鏡技術，運用一個鏡子和一個半反射鏡平行排列，形成單光源的多個虛擬圖像，然後透過放置位置來提高航拍圖像的亮度[42]。Y. Zhang 等人利用實用且廉價的方法來建構透明且具鏡像的 3D 場景，以自動生成室內大型 3D 玻璃模型場景，設置增生的常規深度來測量到任何物體的距離，包括透明表面，開發新穎的傳感器融合算法，將深度圖(玻璃、鏡子、弧形玻璃櫃)分割成不同的類別，例如不透明、透明或無窮大，然後根據分割結果更新深度圖[43]。

無限鏡已經發展成為一種藝術形式，還沒有被用作其他任何東西。它們是非常有吸引力的對象。更確切地說，無限遠鏡是光學錯覺之一，使用三個簡單的東西來創建：兩個鏡子和一個或多個光源，當它們組合在一起時，它們通過放置兩個鏡子之間的光（一個標準且反射率高的鏡子和一個半透明的雙向鏡子，反射率較低，透光率中等）[41]。

無限鏡原理如圖 5 所示。光源位於半反射鏡和成像鏡之間。虛擬圖像分別由 (a)、(b)和(c)表示。(a)是鏡子直接反射光源的光所形成的虛像。(b)是由成像鏡反射光源一次再由半反射鏡反射所形成。(c)是由成像鏡再次反射形成(a)的光源並再次由半反射鏡反射而形成的。以此類推，鏡子和半反射鏡上的多次反射從一個光源形成多個虛像[44]。

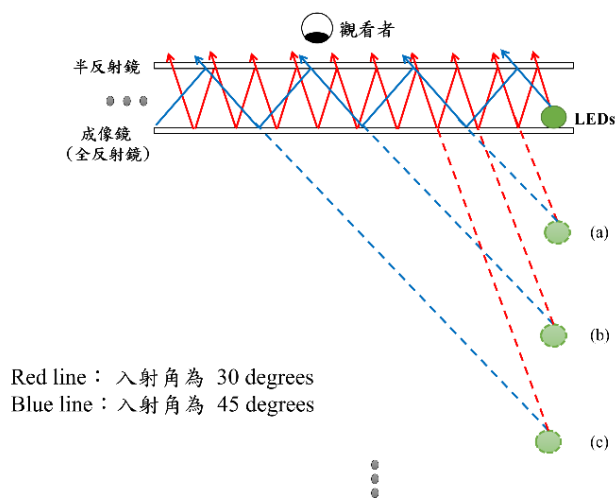


圖 5 無限鏡原理圖

綜上所述，景深相關文獻大致上的議題包含圖形的豐富呈現、聚焦吸引注視、提高光使用度、建構實用且廉價的 3D 場景等議題。本計畫延續先前文獻對景深的探討，考量金屬鍍膜的不同厚度調配，可呈現產品開發者想要的 LED 景深程度，是國內第一篇可自由調整景深程度以應用於城市美學之各種燈光效果的文章。



圖 6 infinity mirror with LED [41]

6. 穩定性環測

由於電子產品在使用與運輸中，容易受到溫度、濕度、震動、衝擊等環境應力影響而產生劣化現象。因此，環境試驗在液晶面板的製程中是一項關鍵性的步驟。環境測試中，較重要的有溫度循環 (thermal cycling) 及隨機振動 (random vibration)。根據美國環境科學學會對環境應力篩選有效性的報告，溫度循環和高溫分別位居第一和第三項，由此可知，透過溫度控制可以檢測產品大部分的不良現象，進而改善或強化設計。在電子產品溫度循環試驗規範中提到高溫環境會導致材料性質的衰減。金屬材料在高溫下可能發生潛變而永久變形，對非金屬材料的效應不在於溫度本身對機械性能的影響，主要影響是高溫有加速其破壞力的作用。某些非金屬材料長期暴露於高溫環境下，會發生軟化、流動、凝膠或喪失黏著性等現象[17]。

三、研究方法及步驟

1. 清洗玻璃基板

- (1) 將 118x118x5 (mm) 玻璃基板浸泡於丙酮溶液以超音波震盪 5 分鐘，去除基板上的有機物、灰塵及油脂等等。
- (2) 將玻璃基板浸泡於甲醇溶液以超音波震盪 5 分鐘，去除基板上的丙酮。
- (3) 將玻璃基板放置於去離子水中，並以超音波震盪 3 分鐘去除表面離子和殘留物。
- (4) 使用氮氣槍將玻璃基板表面吹乾，使水珠不要附著於玻璃表面。

2. 熱蒸鍍金屬膜

藉由電流加熱鎢絲或鎢舟，使鋁圈或鉻錠瞬間蒸發而沉積於玻璃基板上，與濺鍍需要連續轟擊靶材的原理不同，蒸鍍可直接藉由量測不同材料之克數，控制金屬薄膜厚度，達成理想的金屬半(全)反射膜。

- (1) 蒸罩打開後，將玻璃基板黏貼於適當位置，並放入所需蒸鍍材料。

- (2) 待高真空計達到 4.7×10^{-4} pa 以下，設定沉積時間及蒸鍍功率，即開始進行蒸鍍。
- (3) 蒸鍍完後，使機台停止抽氣，並破真空，將被鍍物從腔體中取出。

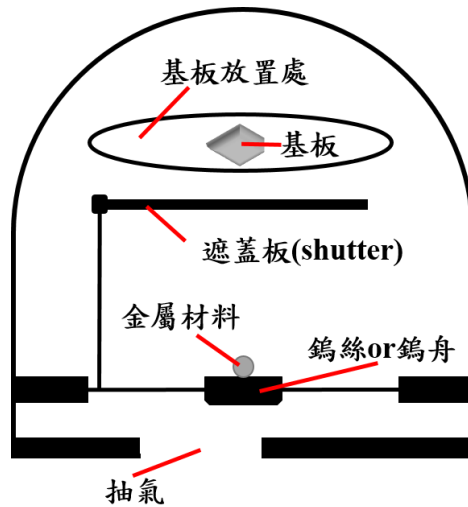


圖 7 熱蒸鍍原理圖

3. 在鋁膜上濺鍍 SiO_2 作為保護層

- (1) 破真空後，將鍍好的鋁膜試片黏貼於載盤上，並且更換所需靶材。
- (2) 待高真空計達到 1×10^{-5} pa 以下，打開氣體鋼瓶使氣體通入，並設定好氣體的氣氛比、濺鍍功率及時間、工作壓力進行濺鍍。
- (3) 濺鍍完畢後，將被鍍物從腔體中取出。

4. 薄膜反射率量測與特性量測

首先，利用 UV-vis 量測蒸鍍完後的鋁或鉻膜反射率

- (1) 使用 5° 角測量，並進行校正。
- (2) 放入蒸鍍完後的鋁或鉻膜，即可開始測量反射率。
- (3) 將數據的 excel 檔開啟，取波長 520-565nm 的平均值。

再使用 Macleod 薄膜光學模擬軟體分析金屬膜之光學特性包括反射膜的效能計算、重新或改進原有設計之薄膜、探查誤差、評估光學鍍膜之可行性以及擷取設計使用膜層材質的光學係數。



圖 8 本實驗室的 UV-vis 儀器

5. 景深機構設計

使用 solidworks 繪製景深底座及放置半反射膜的支撐架並且模擬實際可行性，以確保多層 LED 成像能夠顯現出來。

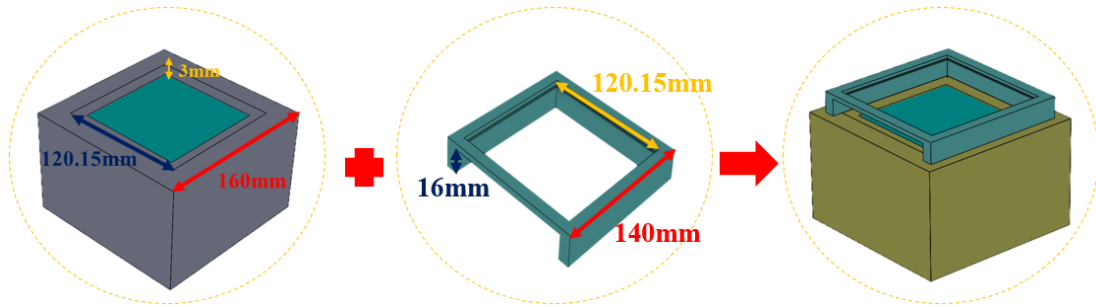


圖 9 half mirror tunnel with bottom holder

6. 組裝景深模型

設計完成後，將模型與全、半反射鏡分別放置於景深底座凹朝與支撐架上，其中全反射鏡之鍍面貼上 LED 光條並將鍍面向上放置，而半反射鏡鍍面則向下，最後將 LED 燈接上電源供應器，設定電壓 7V，即可觀察到因無限反射而造成景深隧道效應所呈現出的多層成像結果。



圖 10 景深各機構裝置圖

四、結果與討論

Weight	0.158g	0.0993g	0.0309g	0.0236g	0.0192g	0.0172g	0.0162g	0.0152g	0.0141g	0.0135g
Thickness	39.82nm	34.37nm	14.16nm	13.51nm	8.79nm	8.55nm	8.08nm	7.74nm	5.12nm	4.94nm
Reflectance	88%	88.68%	76.02%	68.94%	56.30%	53.17%	48.52%	43.93%	39.53%	30.48%
Transmittance	0%	0.017%	5.77%	14.52%	25.32%	27.62%	31.13%	34.58%	41.21%	42.90%

表 1 Al 膜不同厚度的反射率及穿透率比較

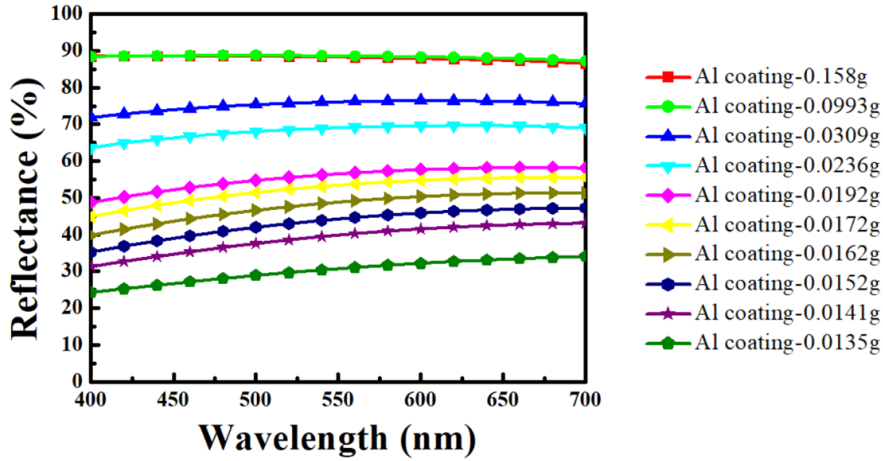


圖 11 Al 不同膜厚與反射率關係

item	Reflectance (%) (520nm-565nm, average)	Mirror tunnel number
Al coating (0.0993g)	88.68	no
Al coating (0.0309g)	76.02	12
Al coating (0.0236g)	68.94	10
Al coating (0.0192g)	56.3	9
Al coating (0.0172g)	53.17	9
Al coating (0.0162g)	48.52	8
Al coating (0.0152g)	43.93	7
Al coating (0.0141g)	39.53	6
Al coating (0.0135g)	30.48	5
glass without Al coating	no	3

表 2 Al 不同膜厚的綠光平均反射率與景深層數比較

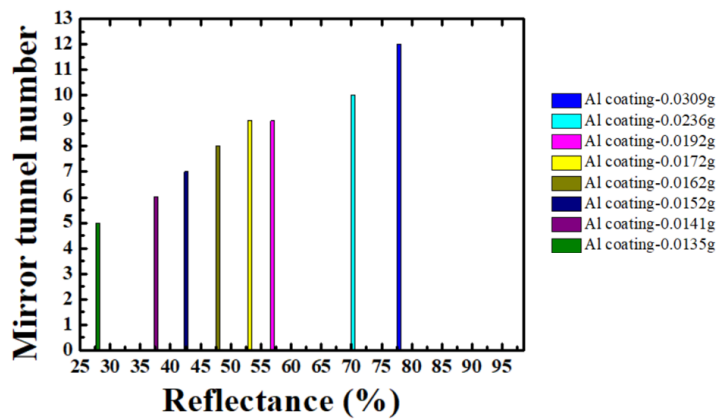


圖 12 Al 反射率與景深層數關係圖

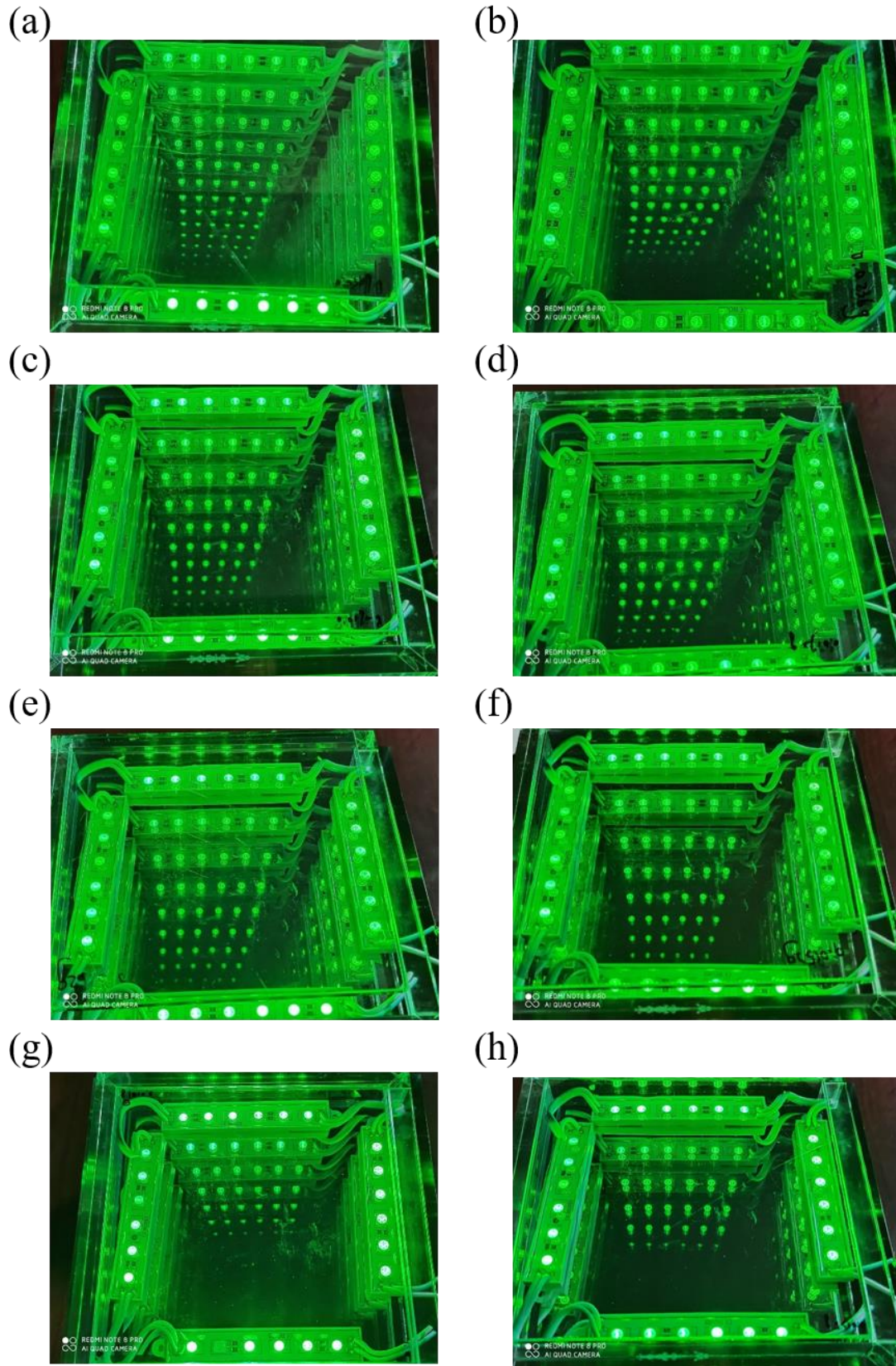


圖 13 Al 膜的景深層數圖 (a) 0.0309g , 12 layers , R:76.02% (b) 0.0236g , 10 layers , R:68.94% (c) 0.0192g , 9 layers , R:56.3% (d) 0.0172g , 9 layers , R:53.17% (e) 0.0162g , 8 layers , R:48.52% (f) 0.0152g , 7 layers , R:43.93% (g) 0.0141g , 6 layers , R:39.53% (h) 0.0135g , 5 layers , R:30.48%

Weight	0.021g	0.0306g	0.0405g	0.0504g	0.0633g	0.0924g	0.2139g
Reflectance	33.49%	35.57%	32.36%	37.72%	25.79%	38.84%	39.2%
Transmittance	31.66%	9.17%	9.61%	1.52%	4.85%	0.1702%	0.0087%

表 3 Cr 膜不同厚度的反射率及穿透率比較

item	Reflectance (%) (520nm-565nm, average)	Mirror tunnel number
Cr coating (0.0924g)	38.84%	no
Cr coating (0.0504g)	37.72%	6
Cr coating (0.0405g)	32.36%	5
Cr coating (0.0306g)	35.57%	5
Cr coating (0.021g)	33.49%	4

表 4 不同 Cr 膜厚的綠光平均反射率與景深層數比較

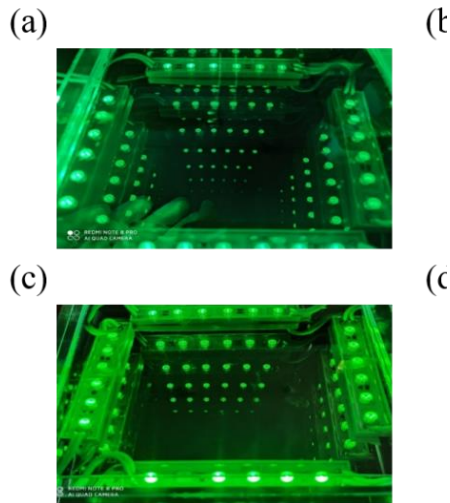


圖 14 Cr 膜的景深層數圖(a) 0.0504g , 6 layers , R:37.72% (b) 0.0405g , 5 layers , R:32.36%
(c) 0.0306g , 5 layers , R:35.57% (d) 0.021g , 4 layers , R:33.49%

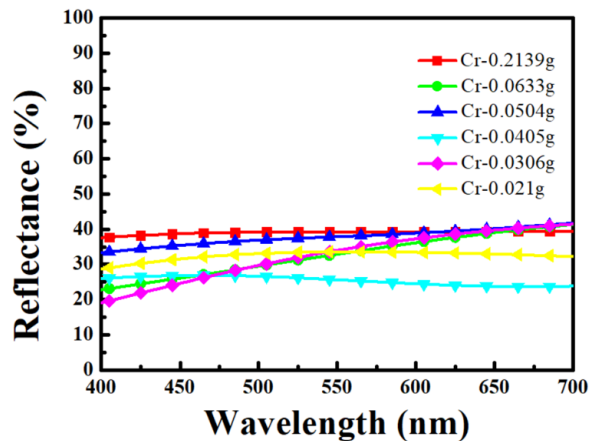


圖 15 Cr 不同膜厚與反射率關係

Hours / Reflectance	Al=0.0141g(半)		Al=0.0141g(半) + SiO ₂	
	烘烤	室溫	烘烤	室溫
initial	32.77%	35.72%	30.22%	31.43%
36hrs	24.22%	27.66%	27.30%	29.85%
72hrs	21.94%	27.09%	27.40%	29.27%
108hrs	19.93%	25.61%	27.71%	29.19%
144hrs	19.25%	25.33%	25.96%	28.71%
324hrs	17.60%	22.80%	26.06%	27.55%

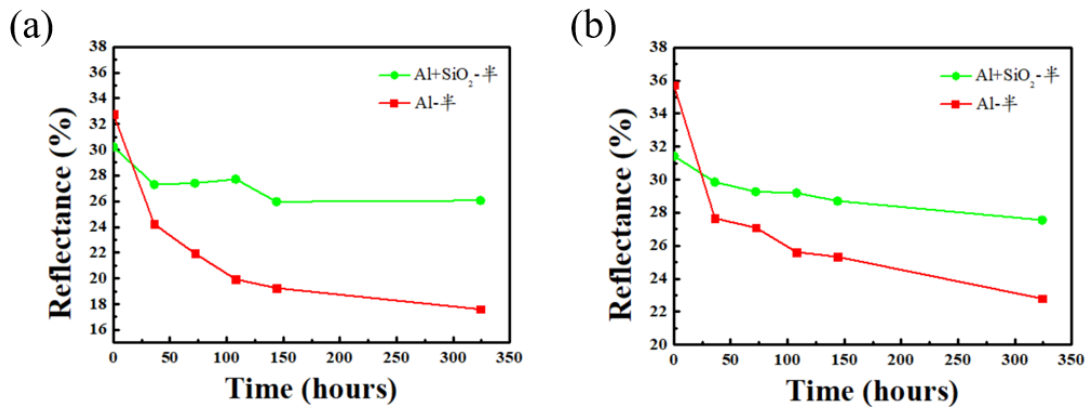
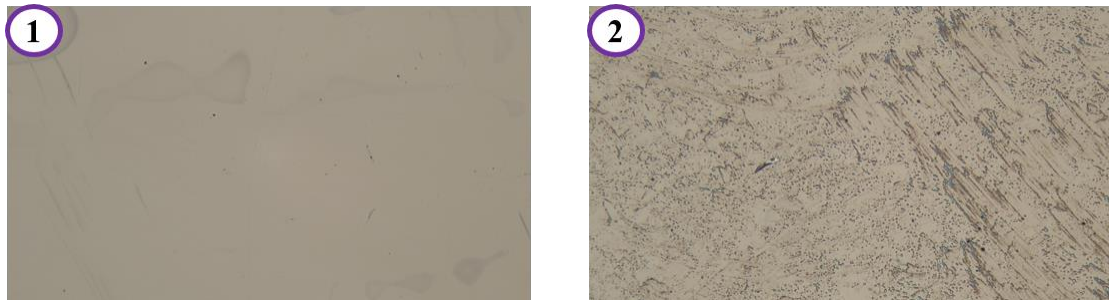
表 5 Al 全反射和半反射加上 SiO₂，在烘烤及室溫下反射率的變化圖 16 半反射 Al 與半反射 Al 加上 SiO₂ 在不同時間的反射率變化 (a) 烘烤 (b) 室溫

圖 17 經過 180 小時後烘烤和室溫的顯微鏡下之半反射 Al(①為烘烤，②為室溫)

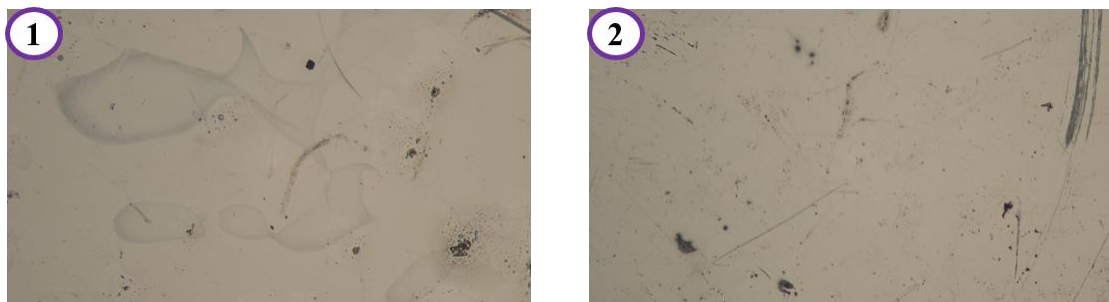


圖 18 經過 324 小時後烘烤和室溫的顯微鏡下之半反射 Al(①為烘烤，②為室溫)

1. 鋁半透膜在膜厚 4.94nm (0.0135g) ~ 14.19nm (0.0309g) 之間反射率約在 30%~76%，景深層數約 3~12 層，作為不同景深層數之上層半反射膜；
2. 因此我們嘗試改變材料鉻使其不易氧化的特性發揮作用，讓在特定反射率之景深的抗氧化程度有明顯改善。而鉻半透膜鉻在不同克數間 0.021g ~ 0.0924g 之反射率約在 30%~60%，景深層數約 5~8 層，作為不同景深層數之上層半反射膜，
3. 由環測結果得知鋁半反射膜在室溫或烘烤下反射率變化約為 13%，可見鋁與其他金屬相比其氧化程度偏快；由鉻半反射膜在室溫或烘烤下反射率變化約為 3%。
4. 鋁相較於其他金屬氧化速率較快，但擁有高反射率特性；鉻的抗氧化程度則較好，但反射率較低且膜厚與反射率關係較難控制。
5. 我們在鋁膜鍍上一層二氧化矽保護層(SiO₂)可以降低氧化速率，防止直接暴露於空氣中，改善鋁膜易氧化的缺點。如此一來，鋁膜不僅有高反射率的性質，也有抗氧化的功效，而能呈現良好品質的金屬薄膜，使樣品的特性趨於理想。
6. 隨著溫度與時間的變化，鋁膜鍍上二氧化矽(SiO₂)保護層之反射率下降幅度明顯比只有鋁膜的薄膜慢。在 324 小時後，有氧化層保護的鋁反射率約下降 3.88%；反之，只有鋁的薄膜反射率約下降 12.92%。因此若製造成景深應用的產品，有加保護層之薄膜更能保障其品質與耐用程度，延長商品壽命，讓消費者能夠安心購買。

五、結論與未來發展

我們利用 UV 光譜儀量測鋁、鉻不同膜厚之反射率與穿透率，且運用 Alpha-Step 量測膜厚，發現鋁在反射率約為 76.02%，鉻則是在反射率約為 37.72%擁有最多之景深層數，達到良好的視覺感受。此外，經過環境穩定性測試，有鍍上保護層的鋁之抗氧化效果更佳，可以確保薄膜不會輕易受到潮解以致脫落，甚至使其表面的物理和化學性質發生改變。透過無限鏡隧道延伸之效果，使無深度的表面，可以產生層層往下堆疊的影像。不但實現無限視覺化的目的，同時也結合了累積與延續的核心概念。除了擴展有限空間外，也能提升物品的立體感，符合滿足人們觀感與提升藝術氣息的品味。

而現今生活中，人們對於居住空間的大小不一定擁有選擇權，卻可以利用人眼在立體視覺上的錯覺，以拓展空間為目的，應用於照明的設計上，達到截然不同的感官體驗。雖然市面上燈具已相當普遍，但現代人追求魅力與奢華的質感，不禁滿足將藝術品味融入生活的需求。

鋁在價格上容易入手，在可見光範圍中具有高反射及低吸收率的特性；鉻因為具有高粘附性與良好的抗氧化效果，故我們選定鋁及鉻做為半反射鏡上之金屬膜。本研究使用熱蒸鍍法將鋁沉積在玻璃基板上，觀察鋁膜在不同克數與膜厚的反射率差異，呈現出綠光 LED 反射下的景深效果。而藉由層數之間的變

化，可以呈現薄膜光學特性的概念。在未來技術與成品做到更為純熟後，欲將景深的性質套用在裝置藝術燈、車燈及電腦主機板等等產品上，為日常生活中的燈具增添視覺效果的美感，相信人們對於美的觀感會有前所未見的主觀反映與評價。

六、致謝

本實驗得以完成，首先感謝許世昌教授幾個月的悉心指導教學，提供良好完善的實驗機台，使實驗得以順利進行，並利用私人時間，每週安排 meeting 隨時關注實驗進度，即時做出問題討論與解決方法，也督促並指導我們如何報告論文，使我們的理論知識更加紮實，得以讓專題更順利完成；另外，特別感謝林男明博士、碩士班學長們所給予的指導與協助，彼此討論實驗之架構與實行，並協助參與實驗的進行，不足的材料也藉由學長的贊助與專業的處理獲得改善，並也在我們撰寫期刊的過程中給予大量的協助指導。

七、參考文獻

- [1] B. Wu, C. Yang, Z. Chen, Q. Wu, S. Yu, C. Wang, Q. Li, J. Wu, and B. Yu, The Relationship Between Urban 2-D/3-D Landscape Pattern and Nighttime Light Intensity, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 15, pp. 478-489. (2022)
- [2] 趙海天，袁磊，論燈光景觀的人文回歸-青城公園燈光景觀規劃設計，*建築學報*，第 1 期，第 50-53 頁。(2005)
- [3] 趙海天，向東，城市燈光景觀體系構成，*城市規劃匯刊*，第 3 期，第 90-94 頁。(2003)
- [4] Z. Wang, A. Wang, S. Wang, Y. Xing, Z. Deng, X. Ma, and H. Ming, High Optical Efficiency Lensless 2D-3D Convertible Integral Imaging Display Using an Edge-Lit Light Guide Plate, *Journal of Display Technology*, Vol. 12, No. 12, pp.1706-1709. (2016)
- [5] 關雪峰，趙海天，燈具造型設計中人文題材的視覺化實現，*中華建築技術學刊*，第 8 卷，第 1 期，第 79-84 頁。(2011)
- [6] 陳蓉真，陳鴻勝，景觀路燈造型與地方文化環境發展之初探，*商業設計學報*，第 14 期，第 53-68 頁。(2011)
- [7] M. N. Khan, Derivation and Experimental Verification of the Near-field 2D and 3D Optical Intensities From a Finite-size Light Emitting Diode (LED), *IEEE Photonics Journal*, Vol. 11, No. 6, pp. 1-20. (2019)
- [8] 江重致，邱顯閔，陳怡君，孫慶成，LED 眩光評估之光學模擬與情境實驗，*光學工程*，第 110 期，第 78-86 頁。(2010)
- [9] 朝倉直巳著，光構成，林品章譯，藝術家出版社。(1990)
- [10] L. Wang, and A. E. Kaufman, Lighting System for Visual Perception Enhancement in Volume Rendering, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 19, No. 1, pp. 67-80. (2013)
- [11] 林崇宏，設計概論-新設計理論與基礎的思考方法，臺北市：全華。(2001)
- [12] 盧榮宏，陳柏穎，王志軒，莊修瑞，羅振璋，複層結構彩色透光導電薄膜，*真空科技*，第 26 卷，第 4 期，第 31-36 頁。(2013)
- [13] 陳鵬暉，反射材質結合圖形變化的光造形形態開發，崑山科技大學視覺傳達設計所碩士論文。(2010)
- [14] 劉建豪，固體附著式薄膜體聲波共振子設計準則之研究，臺灣大學機械工程學研究所學位論文。(2007)
- [15] 李正中，金屬反射鏡，*光學工程*，第 25 期，第 4-11 頁。(1987)

- [16] 王建智, 江行全, 魏士凱, 液晶面板在高溫操作下品質客訴之改善, *技術學刊*, 第 29 卷, 第 1 期, 第 49-55 頁。(2014)
- [17] 王照中, 電子產品之溫度循環試驗規範簡介, *電子檢測與品質*, 第 42 卷, 第 44-48 頁。(2000)
- [18] 林煊哲, 從傑哈·李希特的玻璃板創作探討攝影及繪畫, *視覺藝術論壇*, 第 9 期, 第 174-196 頁。(2014)
- [19] R. Almanza, J. Chen, and M. Mazari, Advances on Aluminum First Surface Solar Reflectors, *SPIE*. (1992)
- [20] R. Almanza, C. Jiefeng, G. Correa, and M. Mazari, Further Option for Solar Concentrators: Aluminum First Surface Mirrors, *Solar Energy*, Vol. 54, No. 5, pp. 333-343. (1995)
- [21] A. Czanderna, K. Masterson, and T. M. Thomas, Silver/Glass Mirrors for Solar Thermal Systems. (1985)
- [22] 宋平生, 照明與照明設計, 台北, 信華圖書公司。(1975)
- [23] 許招墉, 現代照明實務, 台北, 全華科技圖書公司。(1988)
- [24] H. Jamali, Investigation and Review of Mirrors Reflectance in Parabolic trough Solar Collectors (PTSCs), *Energy Reports*, Vol. 5, pp. 145-158. (2019)
- [25] G. Correa, R. Almanza, I. Martínez, M. Mazari, and J. C. Cheang, Use of Linear Magnetrons for the Fabrication of Aluminum First-Surface Solar Mirrors, *Energy Mater*, Volume 52, No. 3-4, pp. 231-238. (1998)
- [26] P. Benjamin and C. Weaver, The Adhesion of Evaporated Metal Films on Glass, Vol. 261, No. 1307, pp. 516-531. (1961)
- [27] G. Hass, Reflectance and Preparation of Front Surface Mirrors for Use at Various Angles of Incidence from the Ultraviolet to the Far Infrared, *Journal of Optical Society of America*, Vol.72, No. 1, pp. 27-39. (1982)
- [28] I. Martínez, R. Almanza, M. Mazari, and G. Correa, Parabolic trough Reflector Manufactured with Aluminum First Surface Mirrors Thermally Sagged, *Energy Mater*, Volume 64, No. 1, pp. 85-96. (2000)
- [29] M. Viswanathan, C. L. Nagendra, and G. K. M. Thutupalli, High Efficiency Front and Rear Surface Silver Reflectors, *Thin Solid Films*, Vol. 167, No. 1-2, pp. 291-298. (1988)
- [30] M. Yang, A. Gatto, and N. Kaiser, Highly Reflecting Aluminum-Protected Optical Coatings for the Vacuum-Ultraviolet Spectral Range, *Applied Optics*, Vol. 45, No. 1, pp. 178-183. (2006)
- [31] V. L. Nguyen, B. Xu, H. Li, B. Lin, D. Kim, and Y. Lim, A Visualization Technique of a Music Emotion Represented in Dimensional Approach on Infinity Mirror Based LED Wall, *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, Vol.12, No.1, pp.57-68. (2017)
- [32] 曹發斌, 田彥文, 陳勇傑, 夏林九, 劉云義, 電荷補償補償對紅色 LED 使用粉體的性能改進, *物理化學學報*, 第 25 卷, 第 2 期, 第 299-303 頁。(2009)
- [33] 林宏達, 江軍達, 應用離散餘旋轉換與灰關聯分析於發光二極體之表面細微瑕疵檢測, *工業工程學刊*, 第 24 卷, 第 6 期, 第 458 - 467 頁。(2007)
- [34] Y. F. Hsieh, J. H. Hsieh, E. K. Yeong, W. T. Li, Y. C. Chou, and R.C. Ruaan, Effects of LED Light Irradiation on Human Foreskin Fibroblasts and Its Implication to Wound Healing, *Journal of Medical and Biological Engineering*, Vol. 33, No. 2, pp. 155-162. (2013)
- [35] 姚光慶, 馮豔娥, 段潔菲, 林建華, 氮化鎵發光二級管藍光轉換材料的合成和發光性質, *物理化學學報*, 第 19 卷, 第 3 期, 第 226 - 229 頁。(2003)
- [36] C. Lin, and A. Kumar, Tetrahedron Based Fast 3D Fingerprint Identification Using Colored LEDs Illumination, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 40, No. 12, pp.3022-3033. (2018)
- [37] J. Liu, J. Liu, S. Li, H. Cheng, Z. Lei, Y. Peng, and M. X. Chen, Deep-Ultraviolet LEDs With All-Inorganic and Hermetic Packaging by 3D Ceramic Substrate, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 33, No 4, pp. 205-208. (2021)
- [38] H. Cheng, Y. Mou, Y. Peng, and M. X. Chen, White LEDs With High Optical Consistency Packaged Using 3D Ceramic Substrate, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 31, No. 22, pp. 1818-1821. (2019)

- [39] J. C. Liou, C. F. Yang, and F. H. Chen, Dynamic LED Backlight 2D/3D Switchable Autostereoscopic Multi-View Display, *Journal of Display Technology*, Vol. 10, No. 8, pp. 629-634. (2014)
- [40] S. Sikdar, D. Gonzalez, T. Ford, and T. Weninger, The Infinity Mirror Test for Graph Models, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, pp. 1-12. (2022)
- [41] A. F. Panaite, and L. Bogdanffy, Reimagining Vision with Infinity Mirrors, *MATEC Web of Conferences*, Vol. 290, pp. 1-8. (2019)
- [42] K. Chiba, K. Fujii, and H. Yamamoto, Forming Multiple Aerial Images by Use of Infinity Mirror and Oblique Retro-Reflector, *14th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics*, pp. 4-6. (2020)
- [43] Y. Zhang, M. Ye, D. Manocha, and R. Yang, 3D Reconstruction in the Presence of Glass and Mirrors by Acoustic and Visual Fusion, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 40, No. 8, pp. 1785-1798. (2018)
- [44] K. Chiba¹, M. Yasugi, and H. Yamamoto, Multiple Aerial Imaging by Use of Infinity Mirror and Oblique Retro-Reflector, *The Japan Society of Applied Physics*, Vol. 59, pp. 188-189. (2020)

