

The Study on the Efficiency Increase to the Light-Concentrating Panels

Kun-Yi Lee, Kai-Cyuan Jhan, Yen-Juei Lin, Hsiu-Hua Hsieh, Wei-Yu Lee
Graduate Institute of Optomechanics Engineering
China University of Science and Technology
Taipei, Taiwan
kelvin@cc.cust.edu.tw

Kuan-Yu Chen, Ta-Yi Chien, Jong-Woei Whang
Graduate Institute of Electronic Engineering
National Taiwan University of Science and Technology
Taipei, Taiwan

Abstract—In the study, we design a light-concentrating panel that can collect the sunlight to illuminate the indoor spaces. In addition, we improve the light-concentrating efficiency of the light-concentrating panels by coating the anti-reflection layer over the panels. The simulation results show that the light-concentrating efficiency of the light-concentrating panels is about 31.35%, and it can be increased to 38.77% by coating the anti-reflection layer over the panels.

Keywords- light-concentrating panel; sunlight; anti-reflection layer

I. 簡介

溫室效應、全球暖化的問題日益嚴重，各國環保意識也隨之高漲。因此，尋找新的替代能源為每個國家都在積極研究的重要議題。太陽能除了可以利用其熱能，其光能目前主要還應用於兩種系統上，分別是日光照明系統 (Daylighting system) [1]與太陽能電池 (Solar cell) [2]。日光照明系統則是直接將陽光傳導至室內做為照明上的用途。但卻有一個共同的問題，就是只有在太陽光直射時才會產生最大效率。尤其是日光照明系統，對入射角度改變十分的敏感，只要一偏離正午時段，效率便會急速下降。

將太陽光能作為室內照明的想法，現今已經有許多相關的光學設計元件，但對於如何提升導光效率來提供室內照明仍有改善的空間。本論文利用被動式集光板[3]收集陽光，將太陽光經由光纖導入室內以提供照明。但光的效率會隨著在導光管內傳遞的反射次數而下降，因此我們利用一楔型結構來改善其中傳輸效率較低的光線。此外，我們在被動式集光板上鍍上一層降低反射率的薄膜，使得光的穿透率也隨著鍍膜而提升。最後利用Filmstar光學薄膜軟

體及Fred光學設計軟體，來驗證鍍膜層提升被動式集光板的集光效率。

II. 被動式集光板

本論文將於一被動式集光板鍍上一光學薄膜，希望藉由光學鍍膜提升此被動式集光板的集光效率[4-6]。其原理為接收到太陽照射之光線，經由多層稜鏡與反射鏡等元件特性，將其光源轉換變為一聚集的光線傳導至建築物內部。此元件不只提供一種導光建材，更可將室外的光線，收集並且導入至室內做為照明使用，節省因採光不足而白天仍須開燈所消耗的電力。

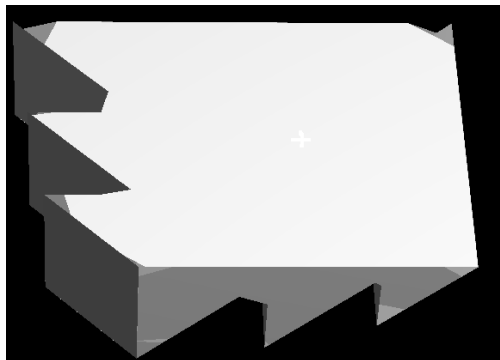
當陽光照射於此被動式集光板上時，此被動式集光板會接收此平面光源，集光板上數個小線性集光器完成光線的傳導工作。傳遞至集光器之平行光源，會將其匯聚集成一點狀的光源再將其射出。

前面提到之集光器是經由多個相同設計的稜鏡來傳導光線。集光器在水平與垂直面各有兩組三個稜鏡(如圖一所示)，其稜鏡的排列方式都皆將光線導至同一個出口，每個稜鏡都呈現一個 90 度角，當光線照射到其斜面會將光線全反射至相鄰的稜鏡，依循同樣的原理，經過多次的反射與折射便可將光源集中。

除了收集太陽照射之平行光之外，還可以將來自不同方向的光線轉換成以點光源方式射出。也可以反向操作將點光源轉換成以平面光源方式射出光線，不論是運用在光的壓縮或光的發散方面都有很好的效果。

此集光板可貼設於建築物之屋頂、地板以及屋外牆面等地方。用以收集室外光線，並導入室內照明。因其與建

築為相互貼合，故可作為建築物外牆的建材，兼具美觀又不佔空間，且避免因風力太大而破壞其結構，無安全性顧慮。

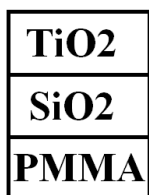


圖一、被動式集光板結構

III. 被動式集光板之鍍膜設計

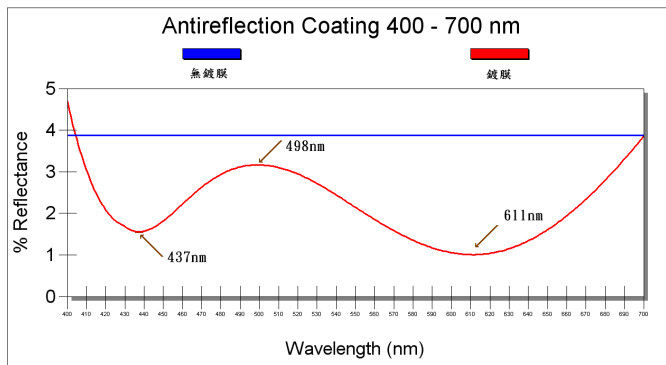
本論文藉由在被動式集光板鍍上一光學抗反射薄膜，提升此被動式集光板的集光效率，並作為一種導光建材。

抗反射薄膜結構如圖二所示，其中第一層為二氧化鈦 (TiO₂)，第二層為二氧化矽(SiO₂)，最下層基板為壓克力材質(PMMA)。



圖二、抗反射薄膜結構

本論文利用 FilmStar 軟體來設計集光元件之鍍膜層與基板，並將太陽光之光譜波長範圍限定在 400~700 nm 之間。將各膜層厚度及折射率等數值代入，並經過優化處理，可以得到如圖三所示之鍍膜與無鍍膜基板結構之波長與反射率之關係。

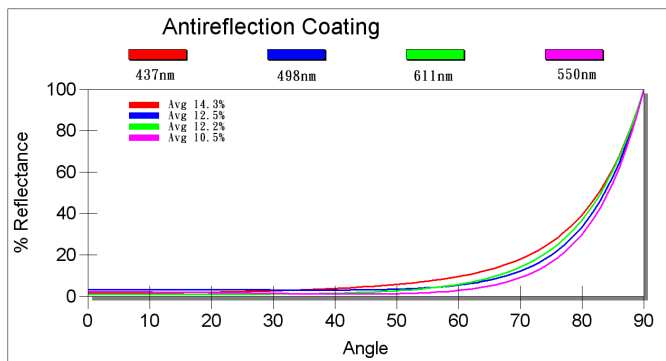


圖三、鍍膜與無鍍膜基板結構在太陽光譜波長範圍之光反射率

從圖三可以發現無鍍膜基板結構的光反射率呈現一穩定值，而鍍膜優化後之光反射率變化較大。經由對整個可見光範圍波長，做整體平均計算顯示，無鍍膜基板結構的平均光反射率為3.87%，經鍍膜優化後基板結構的平均光反射率則為2.17%；無鍍膜基板結構的平均光穿透率為96.13%，經鍍膜優化後基板結構的平均光穿透率則為97.83%，鍍膜優化後對於太陽光的穿透率提升1.7%。

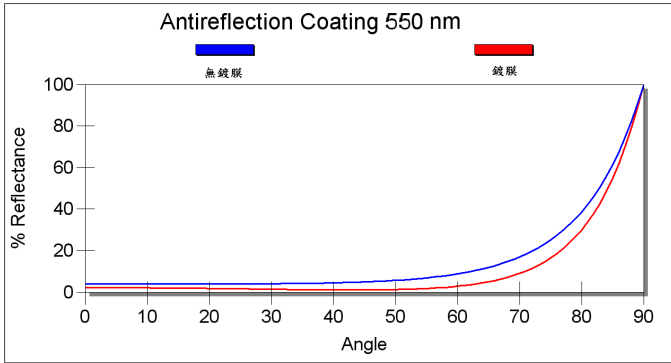
對於圖三之鍍膜優化後的圖形，我們取樣其峰谷極低與極高值加以分析，分別為437nm、498 nm以及611nm。由於波長550nm於太陽光光譜中為太陽光強度的波段，故將其也納入分析的波段。

將四種波長分別做角度對反射率的影響，經由FilmStar軟體的模擬，並將曲線做平均值的計算得到如圖四所示之四種波長於不同角度之光反射率。由於0到90度與90到180度為對稱波形，故我們只考慮0到90度之關係。對各波長做反射率平均值的運算。分析結果可以看出當波長為550nm時，角度在0到90度間的反射率是所有波段中最低的，這也表示此波段有最佳的效率。



圖四、四種波長於不同角度之光反射率

經 FilmStar 軟體模擬，對於無鍍膜及鍍膜機板結構於 550 nm 波長在不同角度下之光反射率關係如圖五所示。依據圖五所得到之 0 到 90 度之無鍍膜與鍍膜優化後光反射率數據來設計被動式集光板，可以使系統更具有效率



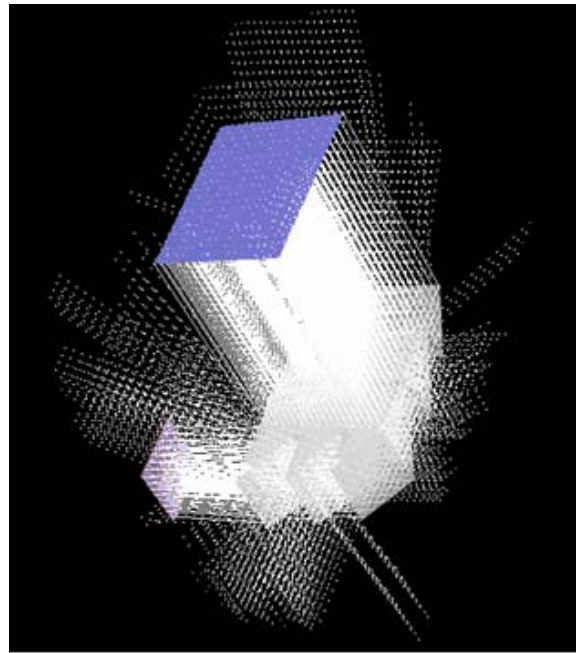
圖五、無鍍膜及鍍膜機板結構於 550 nm 波長在不同角度下之光反射率關係

IV. 被動式集光板之轉換效率

如上述使用 FilmStar 來模擬被動式集光元件之數據顯示，光穿透率確實有效的提升。但由於該軟體僅限於模擬光源照射到 2D 平面被動式集光元件的結構設計。故希望藉由 3D 軟體 FRED 來模擬整個立體光學系統於光源導入時，所呈現的所有反射、折射現象，並得到更精準之設計結構。

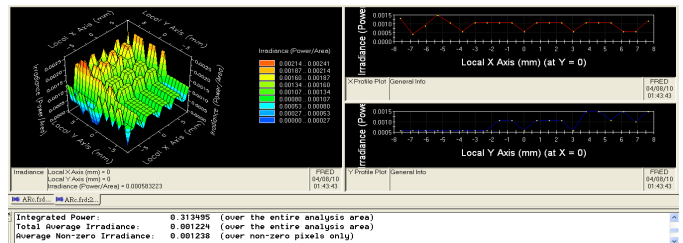
當建立如圖一之被動式集光板後，首先要建立光源。光源發射後通過入光面經過多次反射、折射後，將太陽光集中到出光面，由偵測面偵測出集光效率。其中需設定光源的形式，並且要調整光源與被動式集光板的位置，經過模擬得到實驗所要的正確數據。

圖六為使用 FRED 軟體，並模擬太陽光，設定輸入一萬一千條光束同時照射至被動式集光板時的情況。

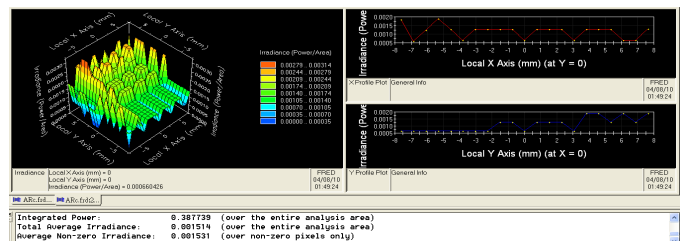


圖六、給定光源數照入被動式集光板

由圖七、圖八可以看出偵測面(即光源集中輸出點)所偵測之照度。由圖七可得到無鍍膜被動式集光板在垂直照射下其集光效率為 31.35%。由圖八可得到鍍雙層膜被動式集光板在垂直照射下其集光效率為率為 38.77%，其集光效率比無鍍膜狀態下的被動式集光板提高 7.42%。由此可知雙層抗反射膜結構對於被動式集光板之集光效率有著顯著的提升。



圖七、無鍍膜被動式集光板之集光效率



圖八、鍍雙層膜被動式集光板集光效率

V. 結論

本論文藉由在被動式集光板上鍍上一層降低反射率的薄膜，提高被動式集光板的集光效率。使用 FilmStar 光學薄膜分析軟體來設計抗反射鍍膜結構。結果顯示鍍膜後的被動式集光板之集光效率比無鍍膜被動式集光系統來的高。本論文並使用 FRED 光學設計軟體去繪製被動式集光板的 3D 架構，模擬太陽光在不同時段(照射角度)下，測量出鍍雙層膜被動式集光板在不同時段下其集光效率明顯比無鍍膜被動式集光板集光效率提高 7.42%。

REFERENCES

- [1]P. Ihm, A. Nemri, and M. Krarti, "Estimation of daylighting energy savings from daylighting," Buildings and Environment, Vol.44, pp.509-514, 2008.
- [2]Y.M. Chen, C.H. Lee, and H.C. Wu, " Calculation of the optimum installation angle for fixed solar-cell panels based on the genetic algorithm and the simulated-annealing method, " IEEE Transactions on Energy Conversions, Vol.20, No.2, pp. 467-473, 2005.
- [3]S.H. Yang, Y.Y. Chen, and J.W. Whang, "Using prismatic structure and brightness enhancement film to design cascable unit of static solar concentrator in natural light guiding system,"Proc. SPIE, Vol.7423, 2009.
- [4]L. Li, "The Design of Optical Thin Film Coating," Optical and Photonics News, Vol.14, No. 9, pp.24-30, 2003.
- [5]R. Jacobsson, "Inhomogeneous and coevaporated homogeneous films for optical application," Phys. Of Thin Films, Vol. 8, pp.51-98, Academic Press, Inc. N.Y. 2003.
- [6]A. Thelen, " Design of Optical Interference Coatings," Chap. 2, McGraw-Hill Book Company, N.Y. 1988.