

光學膜霧度的模擬

林正峰 曾世福 康智傑

南台科技大學光電工程研究所

台南縣永康市南台街一號(71005)

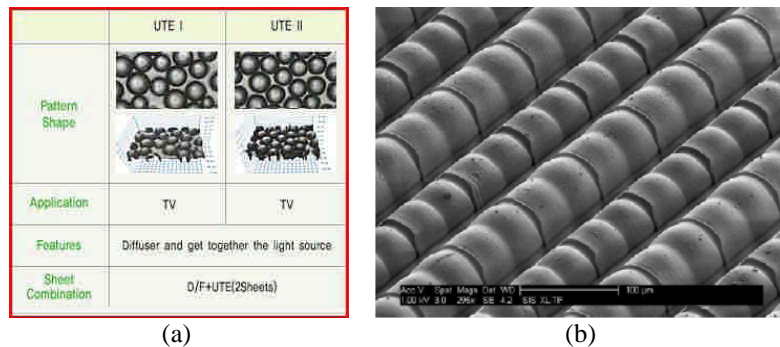
E-mail:M97L0105@webmail.stut.edu.tw

摘要---本研究主要在探討複合式光學膜上半球面的填充因數對於霧度的影響，而霧度儀器的模擬以 ASTM-D-1003 的規範為準則，半球面為正半圓球形，最後並討論粗糙度及平面斜率對霧度影響。

關鍵字：霧度、填充因數、光學膜

一、簡介

複合式光學膜板已成為各大光學膜板與背光模組廠現階段與未來技術研發之重點，而複合光學膜多以球型陣列為基礎微結構，如圖一，考慮到 Moiré 效應時[1]，就必須以球的隨機分佈和高度變化來減少其效應，其隨機分佈情況會跟填充因數有關，另外霧度、增益的高低也跟填充因數有關。本研究主要是探討填充因數對於霧度的影響，並分析粗糙度及平面斜率對霧度的影響，以設計出高品質的複合式光學膜。



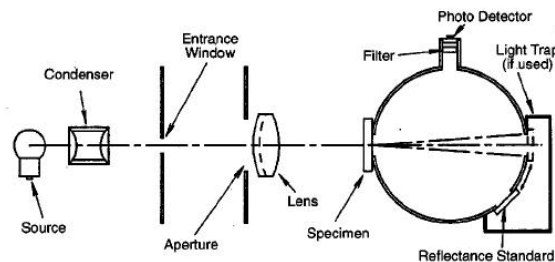
圖一 國際上的複合式光學膜產品 (a) Mntech的UTE Film (b)Bright View的UNIBRIGHT Film

二、ASTM D1003 規範及半球形光學膜霧度模擬的介紹

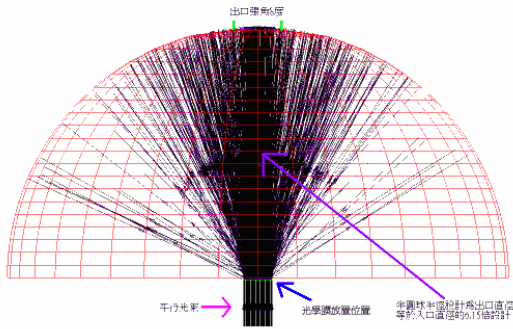
ASTM D1003 規範[2]為一般業界測量霧度的其中一種規範，圖二為其規範中儀器的示意圖，從圖中可知道光源到達測試物前會先經過一些透鏡組合，使光源變為接近平行光，然後再藉由積分球測量光透過測量物後的總能量跟散射光能量的比值，其規範重點如下：

- 1.入射光束為平行光，其平行光束之發散不超過正負 3° 。
- 2.在積分球入口所看見之出口全張角為 8° 。
- 3.未放樣品時，在積分球入口所看到的入射光束在出口的全張角為 1.3° 。

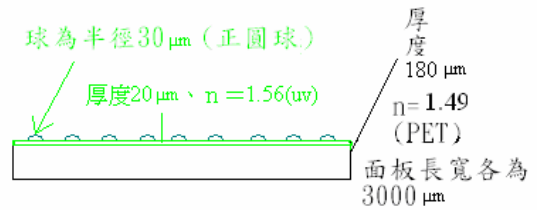
圖三為模擬霧度儀器的示意圖，在模擬上假設入射光束為平行光，且垂直入射光學膜，積分球簡化為正半圓球直接吸收(假設儀器無散射)，但在其頂端開另一個張角 8° 的吸收面，代表積分球的出口，從上述 3 點可以知道，積分球出口直徑約為光束直徑的 $6.2(=8/1.3)$ 倍。圖四為所模擬之光學膜設定，膜上有正半圓球排列(半徑為 $30\mu\text{m}$)。而霧度計算為 $\text{Haze}=(\text{所有穿透過樣品而未進入積分球出口的光的功率})/(\text{所有穿透過樣品的光的功率})$ 。



圖二 ASTM D1003 規範的儀器示意



圖三 模擬霧度儀器的示意圖



圖四 所模擬之光學膜的設定

三、正半球形霧度理論分析及模擬值

假設正半圓球的材料為 UV 膠，其固化後的折射率為 1.56，UV 膠/空氣界面的臨界角(θ_c)為 39.87° 。假設正半圓球形頂部為 0° ，當平行光束垂直入射時，入射光線打到正負 39.87° 內時才會折射出去，而當入射光束打到正負 39.87° 外時，其光線會在半球內持續全反射。假設入射光束打到正負 39.87° 外時，全反射的入射光反射回基材時，再度反射的光，最後折射(由半球面)出去的光功率很小，可忽略。所以由光學膜折射出去的光，只考慮兩個部份:(a)由半球間空隙穿過去，(b)當光線打到正負 39.87° 內時。而光打到正負 $7^\circ(\theta_i)$ 時，其折射光與基材法線的夾角在 4° 內，可視為直接穿透光。式(1)為依據上述分析所整理出來的霧度與填充因數(ff)的關係公式。

$$Haze = \frac{SIN^2\theta_c - SIN^2\theta_i}{(1/ff - 1) + SIN^2\theta_i} \quad ff : \text{半球截面積佔總平面面積的比值} \quad (1)$$

表一為用上述的霧度公式所計算的不同填充因數下的霧度值，而表二為利用光學模擬軟體模擬規則排列時不同填充因數下的霧度值。從表一及表二可以看到當球形固定時，霧度值與填充因數有關，而表二的模擬值跟理論霧度值的差異不大，證實式(1)的正確性。

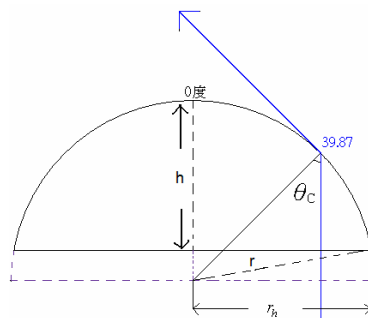
表一 不同填充因數的理論霧度值

填充因數(ff)(%)	60	70	75	80	90	100
霧度值(%)	36.7	47.2	53.2	59.9	75.8	96.4

表二 模擬規則排列時不同填充因數下的霧度值

	反射量(lm)	總穿透(lm)	4度外(lm)	霧度值(%)	理論霧度值(%)
填充因數 28.27%	24.25	75.75	10.46	13.8	13.43
填充因數 78.54%	49.13	50.85	27.97	55	53.62

從上兩表可以了解到，當填充因數增加時，霧度跟著增加，但當到考慮到 Moiré 效應時，其填充因數不可能太高，因填充因數達到 80%時，其球的隨機分佈也趨於規則排列，但其霧度也只有 59.9%，所以接下來要探討如何在一某填充因數下，可以增加霧度值。由於霧度的計算跟穿透試片的總能量有關，所以當填充因數固定時，可以將球形高度降低，如圖五所示(虛線部分為原本球形)，其 θ_c 並不會因半球高度小於半球的半徑而改變，但其截面積會變小，所以相同填充因數下，高度下降可以填充更多顆球，使得光打到球形的穿透量增加，式(2)為式(1)考慮高度變化後修改的公式。



圖五 將球形高度降低示意圖

$$Haze = \frac{SIN^2\theta_c - SIN^2\theta_t}{\beta^2 e + SIN^2\theta_c} \quad \beta = r_h / r$$

$$e = (1 / ff) - 1 \quad (2)$$

表三為用填充因數 75%時，將高度下降後的理論霧度值。表四為用隨機分佈的半球形，且將其高度分別下降 9 μ m、15 μ m (原始半徑為 30 μ m)，填充因數固定於 77.21%，所得到的模擬霧度值。從表三及表四可以確定當高度下降時，霧度會有所增加，而公式的正確性，從表四中雖然會有差異，但如果計算其反射量的減少比例，會跟推導反射量的比列接近，所以基本上公式(2)也成立，而推導跟模擬的霧度會有差異，可能是隨機排列球形時分佈的均勻性所造成。

表三 填充因數 75%時，將半球高度下降後的理論霧度值

β	1	0.989	0.954	0.866	0.8	0.744
霧度值(%)	53.2	53.7	55.4	59.9	63.4	68.2

表四 隨機分佈的半球形，填充因數固定為 77.21%下的霧度模擬值

	反射量(lm)	總穿透(lm)	4 度外(lm)	霧度值(%)	理論霧度值(%)
未加高度變化	50.34	49.65	28.81	58.04	58.18
下降 9 μ m	44.91	55.07	34.65	62.91	58.25
下降 15 μ m	34.55	65.44	44.49	68	62.61

雖然加入高度變化後，可以有效的增加霧度，但其增加的幅度有限，卻會使增益減小，所以要大幅度的降低高度是不可能的。我們量測及分析韓國 Mntech 的 UTE II - 7 光學膜(量測霧度為 84.4%)，發現上述的模擬太過理想化，所以就將測量到的粗糙度及半球間平面的斜率帶入填充因數為 74.6%的光學膜，分別模擬當只有球面、平面和全加粗糙度及斜率時的霧度值。從表五可以很明顯看到當球面加粗糙時，其對於霧度的影響幫助不大，主要是當光線打到球面時，原本就不會折射入 4°內的光線，當加粗糙化後其散射光線會落在 4°內的還是不多，但在光線打到會折射入 4°內的面積時，加上粗糙化後，會有機率增加光線落在 4°外，但其總面積小，所以影響也不大，雖然還是會些微的增加霧度。而平面加粗糙及斜率時，傾斜的平面使部分原本全落在 4°內的穿透光變成落在 4°外，所以平面加斜率時影響較大。

表五 填充因數為 74.6%時，加入粗糙度及斜率後的霧度模擬值

	未加粗糙及斜率	平面加粗糙及斜率	球面加粗糙	全部加粗糙且平面加斜率
霧度值(%)	53	69.19	55.07	70.51

四、結論

由以上分析跟模擬，可以瞭解到霧度與填充因數呈正相關，但與球的高度呈負相關，且模擬的霧度值跟推導的霧度值接近。另外，光學膜的霧度會明顯受到半球間平面的斜率的影響，若不可慮此因素，半球構成的光學膜的霧度難以大於 60%。感謝經濟部九十七年度在地型產業加值學界科專計畫(計畫編號：97-EC-17-A-05-S1-114，計劃名稱：具特殊微結構之滾筒模仁製作技術開發與其應用三年計畫)，在經費上的支援，還有迎輝科技公司提供量測儀器的使用，及公司研發部伍清欽課長及其研發部工程師的技術支援，使得研究可以順利完成。

參考文獻

- [1] Eugene G. Olczak, Masako Yamada, Dennis J.Coyle, and Daniel R. Olson, "A Moiré-Free Platform for LCD Backlighting," Society for Information Display Digest, 37, 1336-1339, (2006).
- [2] ASTM Standard D 1003-07: Standard Test Method for Haze and Luminous Transmittance of Transparent Plastics, 2007.