

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040818

太陽借個光吧！—太陽能管

學校名稱：臺中市私立曉明女子高級中學

作者： 高二 李怡萱 高二 陳婕萱 高二 陳姿穎	指導老師： 鄭文杰
---	------------------

關鍵詞：綠建築、太陽能、節能減碳

摘要

隨著現代工業的快速發展，生態環境也面臨重大危機，綠建築因此成為建築發展的重要方向，如何節省電能即是綠化建築的首要目標。受到菲律賓貧窮救濟計畫的啟發，我們以改良他們的太陽能寶特瓶為基礎，進而設計出一支透明的中空玻璃管。融合綠建築的發展宗旨，我們利用太陽能管將自然光引入模擬室內的紙箱中，並透過實驗測量不同粗細的支管對光能導入的效率，以期能透過我們的研究，提供出一個設計的想法，進而有助於建築綠化的建設趨向。

壹、研究動機

起初，我們經由網路關注到著名社會企業家 Illac Diaz 所發起的環保組織—“My Shelter Foundation”，這個組織在菲律賓執行一項叫做“A Liter of Light”的計畫。這項計畫以太陽能寶特瓶以及簡單的工具，解決當地偏鄉的居民沒有室內燈的困擾。他們在街上收集廢棄的寶特瓶，在瓶中加入清水和漂白水，再將這些寶特瓶卡入鑿了洞的鐵皮天花板上。藉由折射太陽光的原理，這些寶特瓶順利的將室外光線引入密閉晦暗的室內，帶來等同於 50 瓦特燈泡的光線。

這些太陽能寶特瓶不僅為當地居民帶來充足的室內光源，更大幅減少了電燈泡的使用，節省能源的耗費。這項計畫激發了我們的靈感，一個新點子在腦海中漸漸成型。我們結合高一物理課程所學的光纖全反射原理，設計出一個的太陽能管，將室外的光線引入密閉的室內，白天時再也不需要打開那麼多電燈泡。日復一日，不僅可省下可觀的電力，還可達成減少碳排放的目標。

貳、研究目的

近年來，綠建築成為都市建設的一大設計方向，例如台北的遠東環生方舟、富邦紀念大樓和北投圖書館，都是現代台灣綠建築的重要指標。基於這個方向，我們決定以綠化建築為目標進行實驗。而首要目標是，要節省電能。於是我們決定先由照明設備開始著手實驗，以增加自然光和減少日光燈使用為目的，達到節能減碳的效果。

參、研究設備及器材

一、不透明有蓋紙箱：用以模擬房間。紙箱的蓋子分為兩種：

- (一) 將玻璃管裝置入紙箱中，如圖一
- (二) 紙蓋上裁開一道溝槽用以放置玻璃管，如圖二



圖一



圖二

二、特製透明玻璃管：管壁上環有三種不同粗細支管的中空玻璃管，用以導入光線

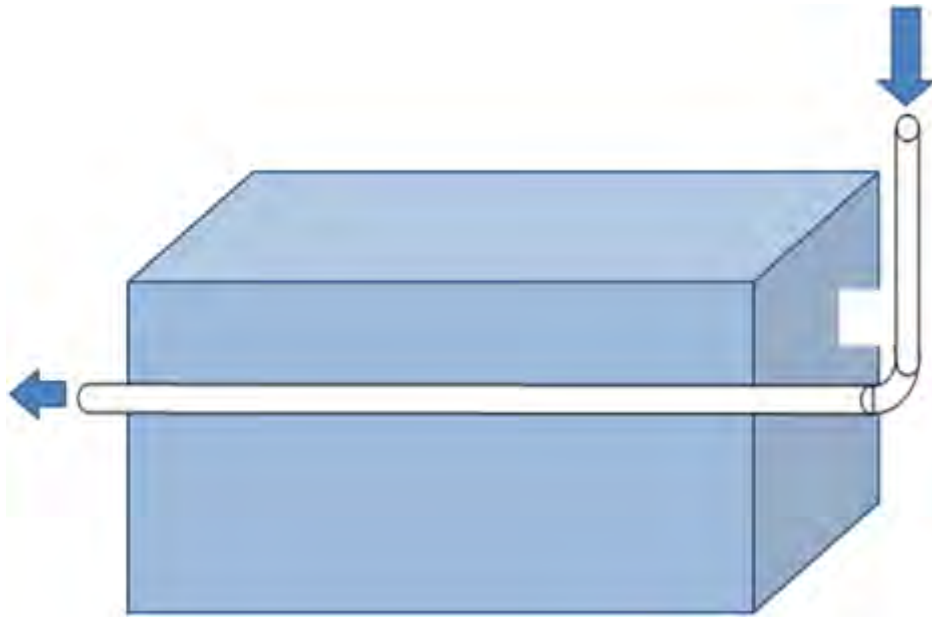
三、照度儀（規格：LX-101）

四、鋁箔紙

肆、實驗過程或方法

一、初步構想

起初，我們嘗試利用由壓克力製成的細導管(如圖三)，希望能將光線藉由全反射導入箱中，但實驗結果最後呈現，光線並不如我們所預期的射入箱中，反而直接從管子末端穿出。於是我們進行改良。



圖三

二、進階改良

由於上述方法效果不如預期，我們設計了另一支有支管的透明中空玻璃管。(如圖四)



圖四

利用水與透明玻璃管將自然光引入室內。步驟如下：

(一) 首先我們將水充滿整支玻璃管。

(二) 接著將玻璃管裝置在紙箱中，使光線可透過玻璃管前後端進入箱中，利用玻璃管的全反射發散光線，增加室內照明。(如圖五、圖六)



圖五



圖六

(三) 玻璃管上環繞三種粗細大小的玻璃支管，輪流測量照度，比較不同粗細支管引入光線的效果。當量測一種粗細支管的時候，利用鋁箔紙將另外兩種支管包住，避免多餘的光線影響到實驗數據。(如圖七)



圖七

(四) 放置四架照度儀在紙箱底部，測量並記錄引入光線的照度，最後再予以平均，以確保數據的準確。(如圖八)

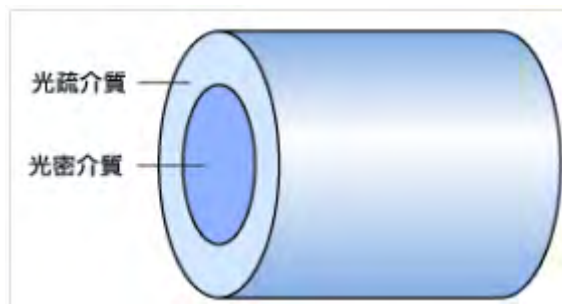


圖八

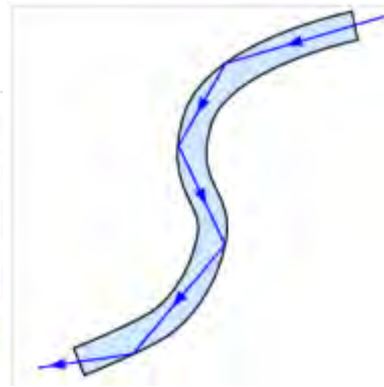
(五) 換成紙蓋上有凹槽的蓋子，重覆以上實驗步驟並記錄結果。

三、實驗原理：

此實驗的構想靈感來自於光纖的最基本原理。簡單的光纖是由光密介質作中心，光疏介質作外層組成的纖細導管，介質的原料通常是玻璃(如圖九所示)。用光束照射管子的一端，當光線遇到內層和外層之間的介面，且入射角大於臨界角時，光線將不再折射，而是依反射定律由介面反射回光密介質中，稱為全反射。雖然光以直線進行，但即使管子是彎曲的，光線也會繼續沿管子的方向傳播(如圖十所示)。



圖九



圖十

伍、實驗結果

我們以不同天氣與管徑作為操縱變因，觀察並量測各狀況下模擬房間內的照度並與室外自然光做比較。為確保實驗數據的可靠性以及減少天氣狀況波動和太陽位置移動所造成的誤差，每項實驗皆會輪流面向四個不同的方位進行量測，並在最後予以平均，繪製成圖表。

四個方位：

方位一：北偏東 20 度

方位二：南偏東 70 度

方位三：北偏西 70 度

方位四：南偏西 20 度

一、將玻璃管裝置入紙箱中

(一) 用鋁箔紙覆蓋全部支管

天氣狀況	3640
支管粗細	
粗	0
中	0
細	0

表一 (單位：Lux)

(二) 粗管

1. 晴天

	室外照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4
方位一	83700	135	168	142	138
方位二	82600	297	750	530	593
方位三	86200	1260	1520	1400	1038
方位四	85400	107	124	121	105

(單位：Lux)

2. 陰天

	室外照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4
方位一	1945	20	16	9	16
方位二	2550	16	17	9	14
方位三	2125	10	21	20	16
方位四	2540	13	6	10	9

(單位：Lux)

(三) 中管

1. 晴天

	室外照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4
方位一	73400	89	93	84	88
方位二	65700	268	347	316	257
方位三	84200	98	365	264	167
方位四	79900	120	77	61	98

(單位：Lux)

2. 陰天

	室外照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4
方位一	1915	21	13	12	15
方位二	2540	15	13	18	12
方位三	1964	11	14	15	12
方位四	2500	13	9	9	10

(單位：Lux)

(四) 細管

1. 晴天

	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4
方位一	58300	90	33	58	66
方位二	66300	95	425	250	308
方位三	78300	154	36	79	80
方位四	77200	80	90	91	48

(單位：Lux)

2. 陰天

	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4
方位一	1914	12	5	8	6
方位二	1940	7	9	7	8
方位三	2100	11	7	18	12
方位四	2500	7	6	6	7

(單位：Lux)

二、紙蓋上裁開一道溝槽用以放置玻璃管

(一) 用鋁箔紙覆蓋全部支管（用以計算誤差值）

1. 晴天

	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值
方位一	54900	48	80	70	65	65.75
方位二	65800	78	56	66	43	60.75
方位三	58600	54	34	68	56	53
方位四	61300	75	58	63	57	63.25

2. 陰天

	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值
方位一	4640	3	3	5	4	3.75
方位二	4370	5	8	9	6	7
方位三	4520	3	5	14	6	7
方位四	5320	8	8	12	7	8.75

(二) 粗管

1. 晴天

	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4
方位一	84200	2520	2380	1670	2190
方位二	89200	2260	2480	1640	2010
方位三	85500	832	1395	1145	1614
方位四	88800	4320	2220	2020	3010

(單位：Lux)

2. 陰天

	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4
方位一	4380	262	325	174	284
方位二	4230	178	203	183	196
方位三	5230	330	272	293	308
方位四	5750	197	210	249	222

(單位：Lux)

(三) 中管

1. 晴天

	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4
方位一	76000	1148	1120	1117	1096
方位二	73800	708	674	432	548
方位三	83200	1254	1892	850	1184
方位四	72500	2930	1340	1272	1503

(單位：Lux)

2. 陰天

	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4
方位一	3780	171	159	142	159
方位二	4890	107	116	138	112
方位三	4850	175	182	130	148
方位四	4670	89	160	164	133

(單位：Lux)

(四) 細管

1. 晴天

	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4
方位一	72000	560	1370	875	1097
方位二	89300	821	407	1216	638
方位三	71800	499	384	296	398
方位四	84800	808	1969	628	820

(單位：Lux)

2. 陰天

	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4
方位一	4180	109	42	86	72
方位二	3530	58	75	62	73
方位三	4220	134	129	65	106
方位四	4840	85	118	79	98

(單位：Lux)

陸、討論

我們將測得的數據換算成導入率，避免不同時間太陽照度不同所造成的誤差。並量測各支管截面積（如表六），計算出單位面積導入率，進而將各數據繪製成曲線圖以進行比較。計算公式如下：

$$\text{導入率} = \frac{\text{平均箱內照度}}{\text{平均箱外照度}}$$

$$\text{單位面積導入率} = \frac{\text{導入率}}{\text{支管截面積}}$$

	支管截面積
粗	1.44π
中	0.81π
細	0.25π

表六（單位：cm²）

一、將玻璃管裝置入紙箱(無槽蓋)

粗管 晴天	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值	導入率
方位一	83700	135	168	142	138	145.75	0.0017
方位二	82600	297	750	530	593	542.5	0.0065
方位三	86200	1260	1520	1400	1038	1304.5	0.0151
方位四	85400	107	124	121	105	114.25	0.0013

粗管 陰天	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值	導入率
方位一	1945	20	16	9	16	15.25	0.0078
方位二	2550	16	17	9	14	14	0.0055
方位三	2125	10	21	20	16	16.75	0.0079
方位四	2540	13	6	10	9	9.5	0.0037

中管 晴天	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值	導入率
方位一	73400	89	93	84	88	88.5	0.0012
方位二	65700	268	347	316	257	297	0.0045
方位三	84200	98	365	264	167	223.5	0.0026
方位四	79900	120	77	61	98	89	0.0011

中管 陰天	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值	導入率
方位一	1915	21	13	12	15	15.25	0.0079
方位二	2540	15	13	18	12	14.5	0.0057
方位三	1964	11	14	15	12	13	0.0066
方位四	2500	13	9	9	10	10.25	0.0041

細管 晴天	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值	導入率
方位一	58300	90	33	58	66	61.75	0.0011
方位二	66300	95	425	250	308	269.5	0.0041
方位三	78300	154	36	79	80	87.25	0.0011
方位四	77200	80	90	91	48	77.25	0.0010

細管 陰天	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值	導入率
方位一	1914	12	5	8	6	7.75	0.0040
方位二	1940	7	9	7	8	7.75	0.0040
方位三	2100	11	7	18	12	12	0.0057
方位四	2500	7	6	6	7	6.5	0.0026

天氣狀況 支管粗細	晴天		陰天	
	導入率	單位面積導入率	導入率	單位面積導入率
粗	0.0061	0.0013	0.0062	0.0014
中	0.0024	0.0009	0.0061	0.0023
細	0.0017	0.0021	0.0041	0.0052

二、紙蓋上裁開一道溝槽用以放置玻璃管(有槽蓋)

粗管 晴天	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值	導入率
方位一	84200	2520	2380	1670	2190	2190	0.0253
方位二	89200	2260	2480	1640	2010	2097.5	0.0228
方位三	85500	832	1395	1145	1614	1246.5	0.0140
方位四	88800	4320	2220	2020	3010	2892.5	0.0318

粗管 陰天	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值	導入率
方位一	4380	262	325	174	284	261.25	0.0580
方位二	4230	178	203	183	196	190	0.0440
方位三	5230	330	272	293	308	300.75	0.0558
方位四	5750	197	210	249	222	219.5	0.0369

中管 晴天	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值	導入率
方位一	76000	1148	1120	1117	1096	1120.25	0.0140
方位二	73800	708	674	432	548	590.5	0.0074
方位三	83200	1254	1892	850	1184	1295	0.0148
方位四	72500	2930	1340	1272	1503	1761.25	0.0233

中管 陰天	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值	導入率
方位一	3780	171	159	142	159	157.75	0.0398
方位二	4890	107	116	138	112	118.25	0.0234
方位三	4850	175	182	130	148	158.75	0.0309
方位四	4670	89	160	164	133	136.5	0.0277

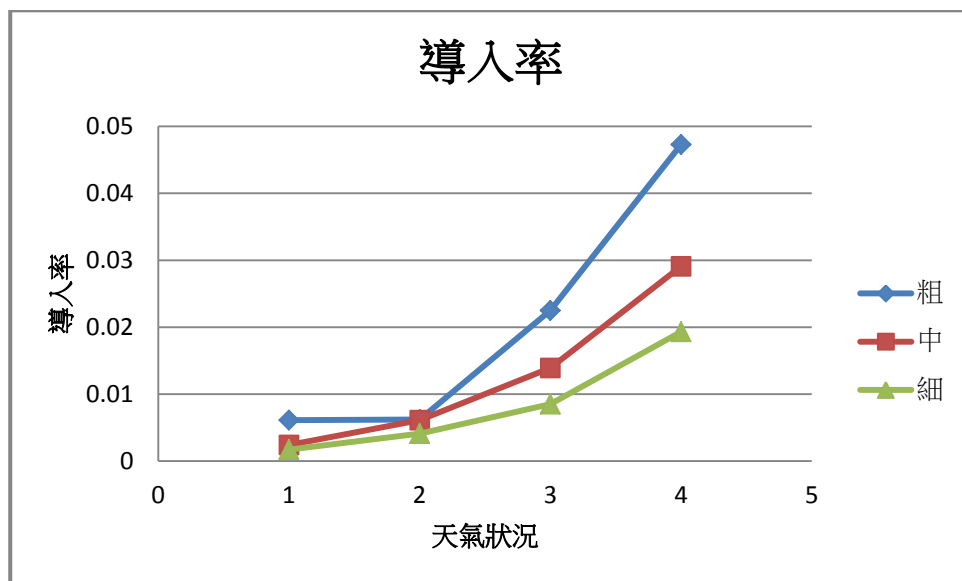
細管 晴天	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值	導入率
方位一	72000	560	1370	875	1097	975.5	0.0135
方位二	89300	821	407	1216	638	770.5	0.0080
方位三	71800	499	384	296	398	394.25	0.0048
方位四	84800	808	1969	628	820	1056.25	0.0116

細管 陰天	室外 照度	照度計 1	照度計 2	照度計 3	照度計 4	照度計 平均值	導入率
方位一	4180	109	42	86	72	77.25	0.0185
方位二	3530	58	75	62	73	67	0.0190
方位三	4220	134	129	65	106	108.5	0.0257
方位四	4840	85	118	79	98	95	0.0196

考慮到部分光線可能從縫隙滲入，而非由玻璃管導入，因此我們將計算出的導入率扣去的誤差值。

天氣 狀況 支管 粗細	晴天			陰天		
	導入率	扣除誤差 導入率	扣除誤差單位面 積導入率	導入率	扣除誤差導 入率	扣除誤差單位面 積導入率
粗	0.0235	0.0225	0.0050	0.0487	0.0473	0.0105
中	0.0149	0.0139	0.0055	0.0305	0.0291	0.0114
細	0.0095	0.0085	0.0108	0.0207	0.0193	0.0246

柒、結論

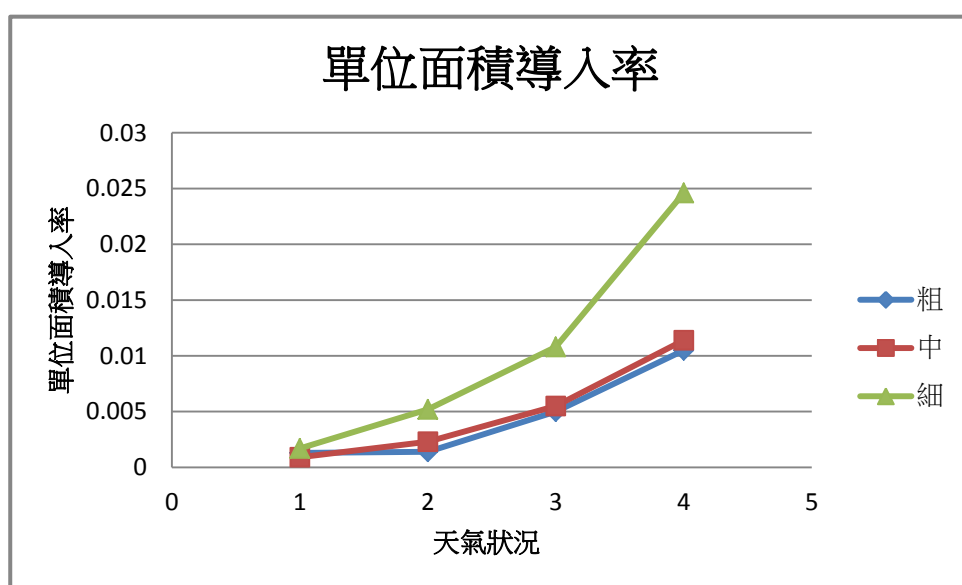


天氣狀況

- 1.無槽蓋晴天
- 2.無槽蓋陰天
- 3.有槽蓋晴天
- 4.有槽蓋陰天

圖十一

一、由圖十一可以看出，陰天時比晴天有較高的導入率，粗管尤其明顯。粗管在各情況下之導入率皆優於中管與細管。且有溝槽蓋子的導入率高於無溝槽蓋子，顯示其能引入較多光線。



天氣狀況

- 1.無槽蓋晴天
- 2.無槽蓋陰天
- 3.有槽蓋晴天
- 4.有槽蓋陰天

圖十二

二、從圖十二縱軸的比較上可看出，粗管的單位面積導入率都不及中管或細管。而細管的單位面積導入率均最高。

三、不論天氣狀況如何，粗管的導入率皆優於中管與細管。雖然就單位面積導入率而言，因

細管較能集中光線，單位面積導入率比較高，但由於細管截面積太小，導入率反而不及粗管。因此在實際運用上，粗管最為適合。

- 四、在綠建築的建造上，需要較多的細管來取代一支粗管，考量施工及水管對水量的荷重，將不利於施工，人力與建材成本也較高。因此我們建議在建設上使用粗管。
- 五、我們改良過後有溝槽的蓋子可以讓較多光線進入箱內，因此導入率較第一種無槽蓋子高，在綠建築應用上，適合用於頂樓的屋頂上。
- 六、從實驗結果的數據看來，光線的導入率與單位面積導入率的數值雖然不高，但由於室外太陽光照度極高，實際上導入室內的光線足以取代日光燈管。
- 七、依本實驗結果顯示，將有粗支管的透明水管裝置於天花板，可以導入外面的陽光，又可利用水管裡的水來調節室內溫度。

捌、參考資料及其他

- 一、Solar Bottle Lights: Transforming Plastic Bottle Waste to Light Bulbs。Myra Valenzuela。2011/11/28。
<http://blogs.worldbank.org/dmblog/node/854>
- 二、準建築人手札。forgemind.news。2006/11/26。
<http://forgemind.net/xoops/modules/news/article.php?storyid=863>
- 三、台北花博 環生方舟 舉世驚豔環保科技。旺報報導。2010/11/12。
<http://e-info.org.tw/node/60946>
- 四、全反射 (Total Reflection)。蕭渝庭、蔡宗賢老師、洪連輝教授責任編輯。2010/01/01。
<http://case.ntu.edu.tw/hs/wordpress/?p=1215>
- 五、光纖通訊的原理與應用。陳明暎、蕭嘉宏。2007/10/6。
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2007/10/2007103009113038.pdf>
- 六、The China Post—EcoARK built with 1.5 million plastic bottles。Reuters。2010/4/13。
<http://www.chinapost.com.tw/taiwan/local/taipei/2010/04/13/252317/EcoARK-built.htm>
- 七、Taiwan Panorama—Message in a Bottle:The Far Eastern EcoARK Building。Phil Newell。2010/11/03。
http://www.taiwan-panorama.com/en/show_issue.php?id=2010119911044e.txt&table1=2&h1=Ecology%20and%20Environment&h2=Environmental%20Protection

【評語】 040818

本作品構想不錯，亦展現出模型與初步數據。作品的形成富教育意義。

團隊若能注意相關之基礎工作原理，如全反射與反射之區別，以數值孔徑(Numerical Aperture, NA)作為量測參數等，將使作品之說明更具嚴謹性。