

電致發光紗線塗層均勻度之研究

The Study of Electroluminescence Fiber Coating Uniformity

盧郁婷, 邢文灝, *陳霽璟, *李念庭

Y. T. Lu, W. H. Hsing, *, P. J. Chen, *N. T. Lee

中國文化大學紡織工程學系、*財團法人紡織產業綜合研究所

Department of Textile Engineering, Chinese Culture University

*Taiwan Textile Research Institute

W.H. Hsing : hsing@staff.pccu.edu.tw

摘要

本研究主要是製備具有發光效果的 EL 線，以濺鍍銀纖維作為內部電極，並依序於銀纖維上塗佈介電樹脂(BT2100)、發光樹脂(GG24+ITK5517)、透明導電層(導電高分子)。由過去的實驗結果發現塗層厚度的控制將會影響整體的發光效果[1]，因此本研究設計了兩種可行的塗佈方式進行研究，觀察此兩種方式對塗佈均勻度之影響，並選擇對厚度控制有較佳效果的塗佈方式，作為後續研究之線體製備方法，藉此觀察導電高分子和水性樹脂在不同比例混合下(4:1、9:1)，對發光線體的發光亮度與塗佈均勻性進行分析。觀察的方式主要由織物影像分析系統觀察線體外觀之變化，作為線體外觀的定性分析，並藉由內建的線徑量測系統觀察單位長度內的線徑，藉以評估整體的塗層均勻性。最後，則是提供交流電源(75、150、300V)進行發光效果之測試。由實驗結果得知，透過塗料回收系統法有助於提供較佳的塗佈均勻性，並且在導電層添加比例為 9:1 時，因表面電阻為 3.72 kΩ，能儲存的電荷高(電場大)，當通入交流電壓 300V 時，有助於得到較高的亮度為 23.6 lux。

關鍵詞：電致發光、濺鍍銀纖維、塗佈均勻度

ABSTRACT

In this study, the purpose is to prepare the EL (Electroluminescence) fiber which has the luminescence effect. The silver fiber was used to be an internal electrode, and coated with the dielectric resin (BT2100), phosphor resin (GG24+ITK5517), transparent conductive layer (conductive polymer) on the silver fiber. In the previous experiment results showed that the resin thickness will affect the luminescence effect[1]. Therefore, this study was designed two feasible coating method, and observed the coating uniformity by the fabric image analysis system. And select the better results of coating thickness control, and preparation methods as a follow-up study. Observe the conducting polymer and water-based resin mixed in different proportions (4:1,9:1). Brightness of the EL wire and coating uniformity to analyze. And we can use the qualitative analysis to evaluate the coating uniformity. Finally, it is used the AC power (75,150,300V) supply to test the luminescence effect. In the results, by the coating recovery system method helps to provide better coating uniformity. The conductive layer ratio 9:1, due to the surface resistance of 3.72 kΩ, can store electric charge high (Electric field large). When the pass into the AC voltage 300V, get of the best brightness 23.6 lux.

Keywords : electroluminescent, sputtering silver-plated fibers, coating uniformity

1.前言

電致發光(Electroluminescence 簡稱 EL)，是一種直接將電能轉變成光能的現象，因為轉換效率極高，發光的過程不會產生熱能，故又稱「冷光」。一般 EL 線的結構，包含絕緣層、螢光層(螢光體)、導電層及基材(導電紗線)，最外層再貼上絕緣膜，即為冷光紗線。

現今冷光板的普及，使生活添加了許多色彩，若應用在紗線上的話，範圍也就更廣泛，可做任意的變化，織成任意圖形(裝飾品、工藝品...等)。然而 EL 冷光線具備下列之優點：

- (1) 能彎曲，作成任何圖形，長短可隨意裁剪。
- (2) 發光所需之功耗極低，且沒有過熱之問題。
- (3) 光線柔和不刺眼，適合於夜間使用。

各個國家利用不同方式製作出冷光線，美國在抽絲之前用磷作基本成分，添加鋁和其他成分加工成色母粒，再混入聚酯、尼龍等聚合物中進行紡絲；德國是將光導體和紡織纖維織入半透明的織物內；本研究則是採用表面塗層法，是將導電纖維，依序在介電樹脂、發光材料、導電材料的漿液中，進行塗佈及烘乾的處理，即完成電致發光紗線，通電後即可發光。

目前發光元件以多層結構發光元件的發光效率最佳，其組成包含陽極、電洞注入層、發光層、電子注入層和陰極。發光材料分為兩大類，第一類為無機螢光粉，第二類為有機物化合物螢光體，第二類主要以應用於目前之有機發光二極體 (OLED) 上，而第一類無機螢光粉材料主要應用於電場發射等等顯示器發光之材料。但由於有機化合物螢光體其熱安定性較差，並且容易被空氣中之氧氣進行氧化反應，因而降低其發光效率，但對於無機螢光粉材料其耐熱性與抗氧化性將遠超越目前的有機材料，可以簡化整個製程，對於未來與紡織品結合製成發光的元件時有較大的優勢[1-3]。

根據先前的文獻指出[1]，利用連續式紗線塗佈機塗佈時會因重力之關係造成各塗層產生垂流之現象而導致塗層均勻度不佳，進而影響到其發光效果。所以本研究的主要目標在改善製作發光紗線的過程，即是經由改變塗佈的製程方式，改善紗線表面的不均勻度，探討紗線的發光效率，以製作出發光均勻度高的電致發光紗線。

2.理論

2-1 電致發光(Electroluminescence,EL)元件之結構與動作原理

電致發光(Electroluminescence,EL) 是通過加在兩電極的交流電壓產生的電場，被電場激發的電子碰擊發光中心，而引起電子能階的遷躍，導致發光的一種物理現象，即電致發光現象。

電子自電極經過穿隧(tunneling)作用進入絕緣層，使得電子聚集於絕緣層與螢光層的介面，當所施加的偏壓大致臨界電場(threshold field)時，聚集於介面處的電子因穿隧效應而進入螢光層，此時電子因高電場加速而成為熱電子(hot electron)於螢光層中，使螢光層內發光材料中的冷光中心(Luminescent center)的外層電子受到激發，產生電子遷移造成外層電子被提升至主體(host)晶格的傳導能階而形成自由電子，同時冷光中心還會發生離子化現象，當自由電子與離子化的冷光中心再結合時，就以光的形式放出能量差。

由圖 1 能帶圖觀察所示，電致發光的物理過程可簡述如下：

- (1) 電場作用下，發光層與絕緣層介面處束縛的電子，穿隧發射至發光層。
- (2) 同時，發光層中雜質和缺陷也解離出部分電子，這些電子在電場作用下被加速。
- (3) 當其能量增加到足夠大時，碰撞激發發光中心，從而造成發光。
- (4) 電子在穿過發光層後被另一介面擄獲。

薄膜電致發光元件多採用交流電交流電源驅動，當外加電壓反轉時，上述 4 個步驟重複進行，從而實現連續發光[2]。

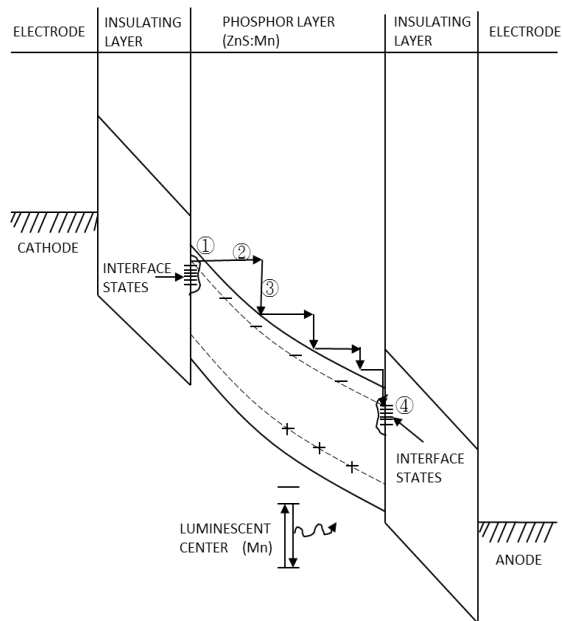


圖 1 電致發光原理[2]

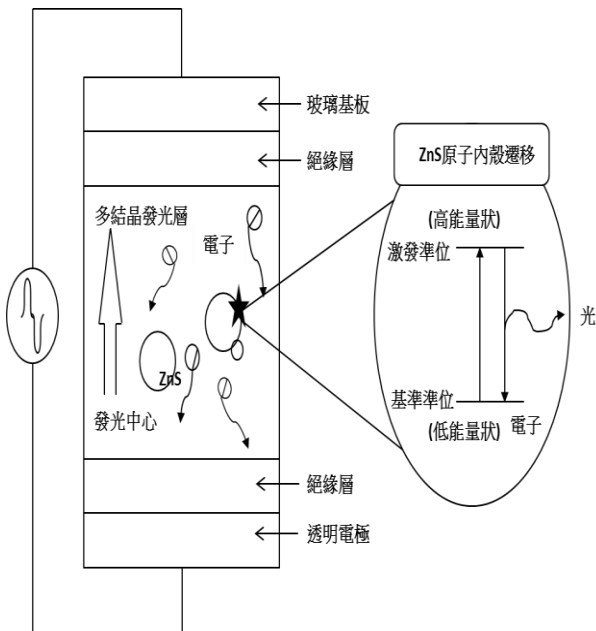


圖 2 元件施加偏壓時電子撞擊激發能帶圖[2]

2-2 螢光粉受電場激發原理

螢光體經過激發源激發之後，使螢光體內的電子從基態獲得足夠的能量，躍遷到較高能量的激發態。位於激發態的電子，因具有較高的能量，通常不太穩定，有放出能量及回到較低能態的趨勢。這種高能量電子放出能量的過程，稱為「緩解」。

電子從激發態返回基態的緩解過程有兩種，一種是所謂的「輻射緩解」；另一種則是「非輻射緩解」。輻射緩解的過程，就是當電子從激發態返回基態時，放出的能量是以電磁輻射的方式呈現。非

輻射緩解的過程，電子從激發態回到基態，所放出的能量是以「熱」的方式消耗掉，此緩解過程不會產生螢光。

由圖 3 顯示，具有螢光物質的化合物吸收一特定波長激發光(excitation light)之能量後，由基態激發到高能量的能態 E 時，多餘的能量以非輻射緩解的方式釋出部份能量被反射或以熱能方式消耗，另一部分能量則轉到較低能量的能態 E'，再放出可見光，返回基態[4]。

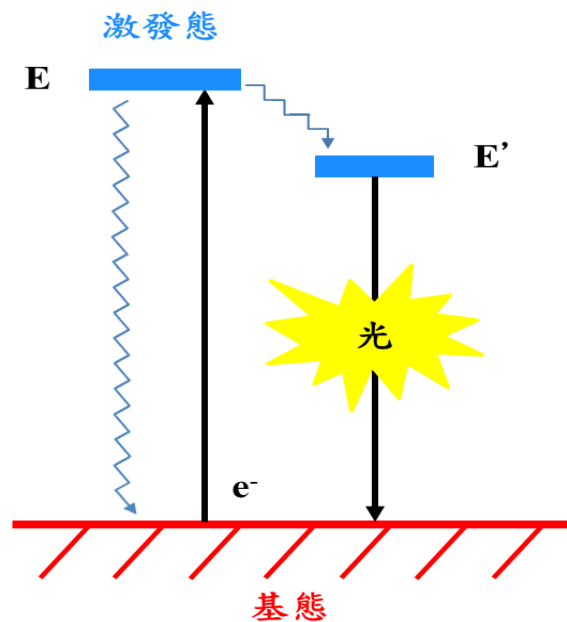


圖 3 螢光粉激發之能階示意圖[4]

3. 實驗

3-1 材料與樹脂

- (1) 濺鍍銀聚酯纖維 (150d/72f, 日本三菱)
- (2) BT2100 樹脂(黏度 10000±500cps, 固含量 70wt%, 乙二醇乙醚醋酸酯 20-30%、松油醇 1-5%、矽化合物 0.5-4%、氟素改質熱塑型樹脂 8-16%、鈦酸鋁 50-65%, 愛迪克科技有限公司)
- (3) 螢光粉 GG24(ZnS:Cu, 愛迪克科技有限公司)
- (4) ITK5517 樹脂(黏度 2000±500cps, 固含量 29~33wt%, 乙二醇乙醚醋酸酯 50-60%、松油醇 2-10%、矽化合物 1-8%、氟素改質熱塑型樹脂 18-32%, 愛迪克科技有限公司)
- (5) 聚二氧乙基塞吩 PH1000 (PEDOT, 表面電阻 10³Ω/□, ALDRICH)

- (6) 聚苯胺溶劑(PANI，表面電阻 $10^3\text{-}10^4\Omega/\square$ ，TTRI)
- (7) 水性樹脂(TTRI)

3-2 儀器設備

- (1) 連續式紗線塗佈機(TTRI)
- (2) 織物影像分析儀 (SONY Exwave HAD LISTED 9C06，TTRI)
- (3) 變壓器(DC to AC，TTRI)
- (4) 照度計(Digital light meter YF-170，TTRI)

3-3 電致發光紗線製作流程

- (1) 濺鍍銀纖維放置於紗線塗佈機上。
- (2) 利用連續式紗線塗佈機，將紗線依序塗佈
 - A. BT2100(介電層)：一次塗佈孔徑大小為 $46\mu\text{m}$ (高密度泡綿-利用泡綿吸拭掉多餘的溶劑；塗料回收系統-添加凹槽吸拭後，可使溶劑可回收使用。)；二次塗佈孔徑大小為 $52\mu\text{m}$ (則無使用泡綿或凹槽)。
 - B. 螢光粉+ITK5517(螢光層)：孔徑大小為 $72\mu\text{m}$ 。
 - C. 導電高分子+水性樹脂(導電層)：孔徑大小為 $72\mu\text{m}$ ；添加比例為 9:1、4:1。
- (3) EL 紗線之塗佈速度皆為 1.4m/min ，介電層及螢光層烘乾溫度為 160°C 、導電層烘乾溫度為 120°C 。
- (4) 將 EL 各層結構完成後，進行織物影像分析及發光亮度測試。

3-4 相關測試與分析

- (1) 織物影像分析：利用圖 6 織物影像分析儀器觀察導電紗線與介電樹脂之間附著情形及表面的均勻度，纖維是否外露，避免造成電子穿透造成短路無法發光。並且觀察整體的塗佈厚度變化，藉此評估系統的改善效果。
- (2) 發光測試：試樣經交流變壓器 DC to AC 之電源通電後，觀察發光線是否具有較佳的發光效果。

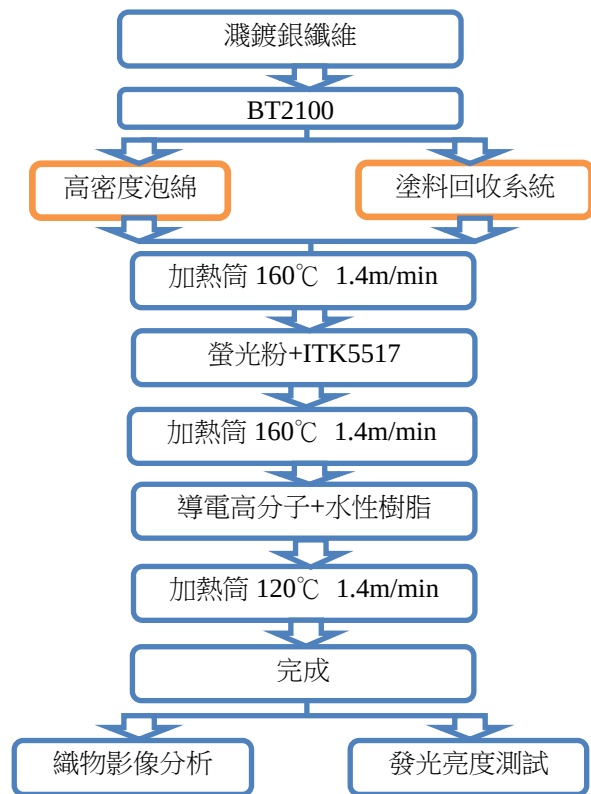


圖 4 電致發光紗線製作流程圖

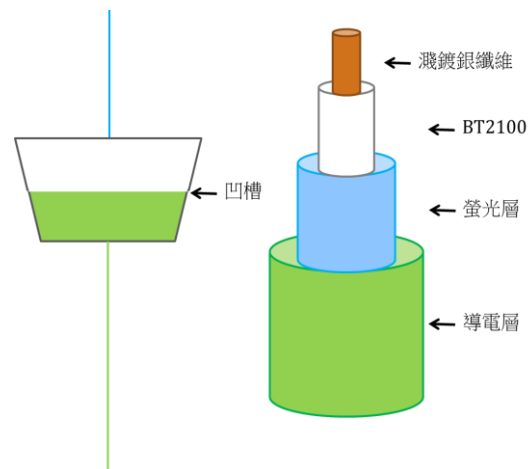


圖 5 紗線塗佈示意圖



圖 6 織物影像分析儀[2]

4. 結果與討論

4-1 電致發光紗線之線體外觀均勻性

依先前文獻表示，在塗佈時因紗線垂流現象產生過多的液滴，利用凹槽的孔徑大小來控制塗層的厚度，雖然垂流現象改善了，但是其均勻度不佳，所以利用了高密度泡綿及塗料回收系統，此兩項改善其表面外觀的均勻性。利用 SEM 觀察，其標出部分為濺鍍銀纖維(基材)，以基材為中心，圖 7 為利用高密度泡綿改善之橫截面圖，可得知纖維塗層呈不規則狀及橢圓形狀；圖 8 為利用塗料回收系統改善後，可觀察出纖維塗層呈同心圓狀，由此可知其塗料回收系統較高密度泡綿改善效果佳。

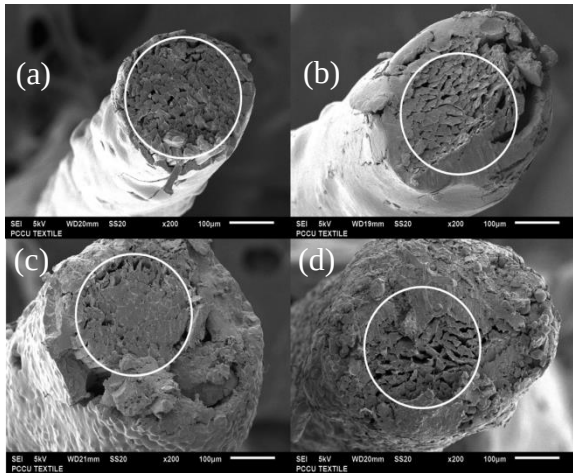


圖 7 高密度泡綿改善之橫截面圖(a)介電層-一次塗佈(b)介電層-二次塗佈(c)螢光層(d)導電層

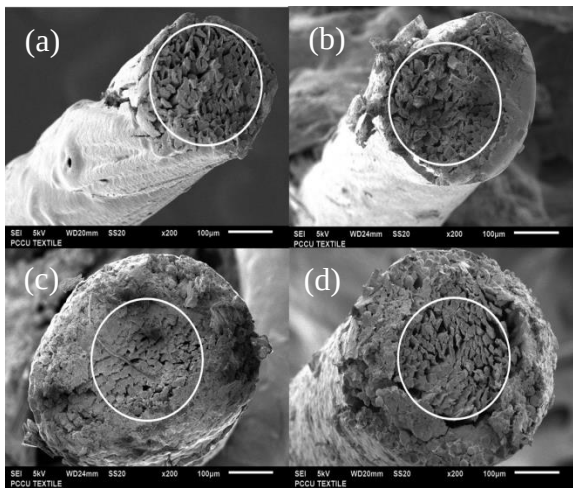


圖 8 塗料回收系統之橫截面圖(a)介電層-一次塗佈(b)介電層-二次塗佈(c)螢光層(d)導電層

利用織物影像分析儀放大 1.5 倍觀察其表面的均勻度，圖 9 為發光線在製作過程中經高密度泡綿改善之各層塗佈情形，利用高密度泡綿吸拭過多的

介電樹脂時，當一段時間時，泡綿會達到飽和，因而影響吸拭效果，造成其表面的不均勻；圖 10 是在外加塗料回收系統後並利用織物影像分析系統觀察其塗佈均勻度。其結果中可以發現利用塗料回收系統，使其表面均勻度有明顯的改善，液滴也減少了許多。

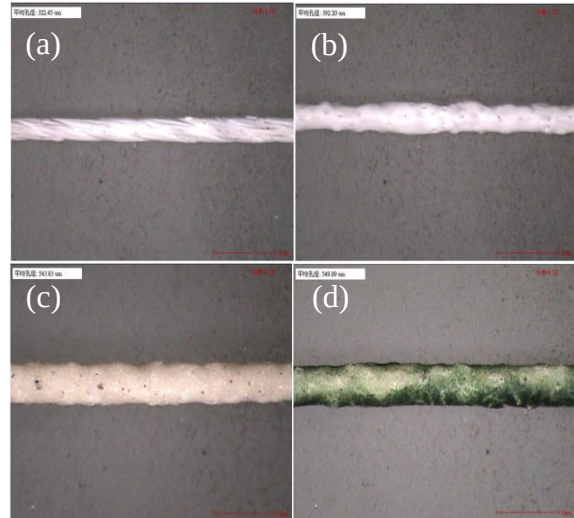


圖 9 高密度泡綿之塗層均勻度改善(a)介電層-一次塗佈(b)介電層-二次塗佈(c)螢光層(d)導電層(放大 1.5 倍)

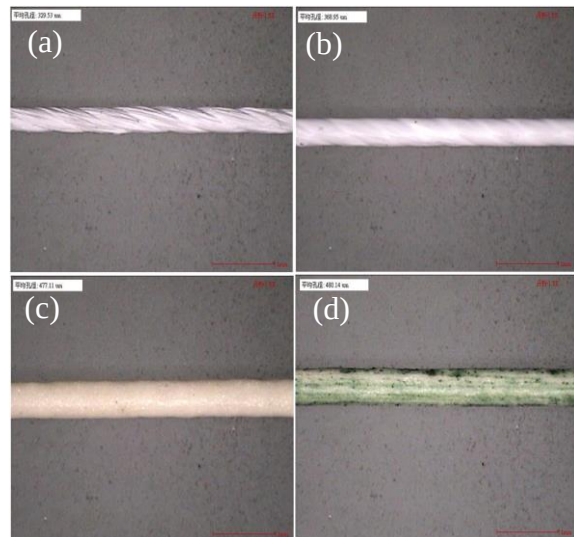


圖 10 塗料回收系統之塗層均勻度改善(a)介電層-一次塗佈(b)介電層-二次塗佈(c)螢光層(d)導電層(放大 1.5 倍)

再由圖 11(a)顯示，介電層(BT2100) 於一次塗佈時容易有纖維外露之情形及不均勻的現象，避免此現象發生，因而造成短路的現象，所以藉由二次塗佈，可使纖維表面完全包覆，觀察圖 11(b)中之結果得知纖維外露及塗佈均勻度明顯改善。

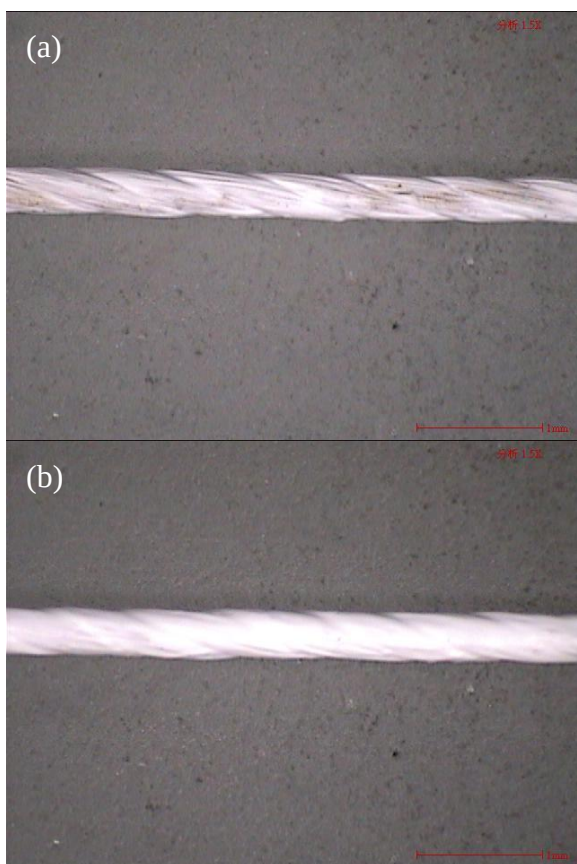


圖 11 介電層(BT2100)(a)於一次塗佈(b)於二次塗佈 (放大 1.5 倍)

4-2 電致發光紗線之線徑測試

利用織物影像分析儀，量測線徑放大 1.5 倍，紗線長度大約 4.5mm，取 21 個點的平均值，其平均值為塗佈完之厚度，計算出標準差值，由表 1 可發現，介電層(BT2100)於二次塗佈相較之下，凹槽孔徑為 52 μm 時，高密度泡綿的厚度為 34.88 μm ，標準差為 15.28 μm ；塗料回收系統的厚度為 19.71 μm ，標準差值為 4.08 μm ，其標準差值越小，代表表面均勻度差異性小。

表 1 紗線之塗層厚度

	銀纖維 (μm)	介電層 一次 塗佈 (BT2100) (μm)	介電層 二次 塗佈 (BT2100) (μm)	螢光層 (μm)	導電層 (導電高分子) (μm)

凹槽孔徑		46	52	72	72
高密度泡綿	0 (5.92)	9.58 (9.16)	34.88 (15.28)	62.68 (12.6)	3.03 (9.44)
塗料回收系統	0 (5.92)	13.35 (6)	19.71 (4.08)	54.08 (5.08)	1.52 (4.79)
註一數值表示方式為： 平均值 (標準差)					

4-3 電致發光紗線之發光測試

電致發光紗線經交流變壓器 DC 轉 AC 通電測試發光所得之結果，由圖 12 結果得知，利用高密度泡綿吸拭過多的介電樹脂液，但因泡綿飽和吸拭效果下降，造成其表面的不均勻，進而使發光效果差且發光長度短；由圖 13 顯示，經塗料回收系統改善後，其發光效果較好，發光長度較長，相較之下，利用塗料回收系統較高密度泡綿佳。



圖 12 高密度泡綿改善通電後發光測試結果

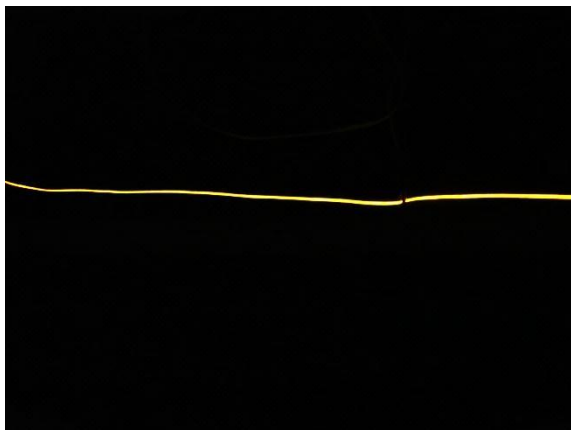


圖 13 塗料回收系統改善通電後發光測試結果

4-4 電致發光紗線之發光亮度與均勻度

將導電高分子與水性樹脂不同比例混合下，配方 A 為 4:1、配方 B 為 9:1，經塗料回收系統法完成之電致發光紗線，將電致發光紗線繞於長×寬 (12×12cm) 的紗卡上，經由照度計量測電致發光紗線於混合不同比例下之發光亮度。從表 2 實驗數據得知，當施加 75V、150V 及 300V 電壓時，配方 B 的發光亮度值皆較配方 A 的數值高，配方 B 的表面電阻為 3.72 kΩ，由此公式 $R = \frac{V}{I}$ 得知，當表面電阻值低時，所能儲存的電荷高(電場大)，其發光亮度就高，所以當施加 300V 電壓時，其發光亮度達到 23.6 lux。

表 2 導電層添加不同比例之表面電阻與發光亮度測試

發光亮度 (lux)		未通電	電壓		
		表面電阻 (kΩ)	75V	150V	300V
配 方	A(4:1)	87.63	1.9	4.6	13.6
	B(9:1)	3.72	3.8	8.8	23.6

圖 14 為電致發光紗線繞於長×寬(12×12cm)的紗卡上，施加 300V 交流電壓下，通電後發光之情形。經照度計量測對不同混合比例之發光均勻度，於紗卡上量測 9 個點取平均值，其平均值為發光均勻度，由表 3 得知，導電高分子與水性樹脂混合比例為 9:1 時，其發光均勻度達 91.12%，當混合比例為 4:1 時，其發光均勻度為 81.67%。

上述實驗結果得知，將導電高分子與水性樹脂

添加比例為 9:1 時，其發光均勻度、發光亮度皆比配方 A(4:1)佳。

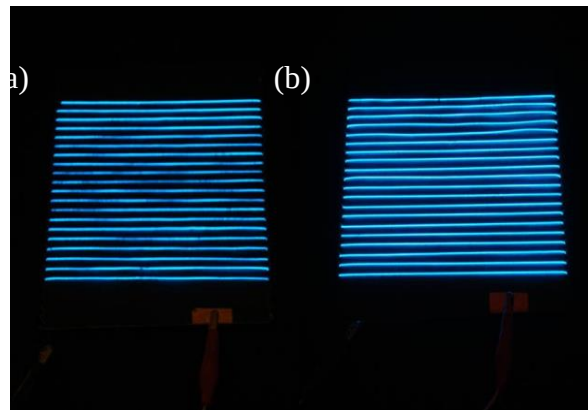


圖 14 添加不同比例於 300V 電壓下，通電後之發光情形(a)配方 A (4:1) (b)配方 B(9:1)

表 3 導電層添加不同比例於不同電壓下之發光均勻度(%)

發光 均勻度 (%)		電壓		
		75V	150V	300V
配 方	A(4:1)	80.25	83.08	81.67
	B(9:1)	91.38	91.61	91.12

4-5 電致發光紗線之應用

圖 15 為利用塗料回收系統改善後及導電層為配方 B 的方式，進行塗佈完成之電致發光紗線，其發光線可任意彎曲，做自己喜愛的樣式，也可使紗線織入紡織品內，例：汽車行業、禮品、廣告宣傳業及娛樂消費業等，使生活增添了許多色彩。



圖 15 電致發光紗線之應用

5. 結論

- (1) 由實驗得知，利用高密度泡綿吸拭過多介電樹脂時，泡綿達到飽和時，吸拭效果下降，造成其表面的不均勻。
- (2) 由織物影像分析顯示，介電層(BT2100)於一次塗佈時容易有纖維外露之情形，所以藉由二次塗佈，可使纖維表面完全包覆，避免纖維所造成之短路現象。
- (3) 其結果得知，介電層(BT2100)於二次塗佈相較之下，凹槽孔徑為 $52\mu\text{m}$ 時，高密度泡綿的厚度為 $34.88\mu\text{m}$ ，標準差為 $15.28\mu\text{m}$ ；塗料回收系統的厚度為 $19.71\mu\text{m}$ ，標準差值為 $4.08\mu\text{m}$ ，其標準差值越小，代表表面均勻度差異性小。
- (4) 經發光測試結果得知，利用塗料回收系統改善後，發光效果及發光長度較高密度泡綿好且長，所以塗料回收系統較高密度泡綿佳。
- (5) 添加比例為 9:1 時表面電阻值為 $3.72\text{ k}\Omega$ ，施加 300V 電壓時，發光亮度達到 23.6 lux，其發光亮度較添加比例 4:1 佳。
- (6) 導電高分子與水性樹脂混合比例為 9:1 時，其發光均勻度達 91.12%，當混合比例為 4:1 時，其發光均勻度為 81.67%。

參考文獻

- 1 葉安祺、張正東、左涵雯，高效能織物發光元件介面改質與封裝研究，紡織綜合研究期刊，第二十一卷，第三期，30-35(2011)
- 2 莊婷、邢文灝、陳霽璟、李念庭，可撓性電致發光織物之研究，第二十七屆纖維紡織科技研討會，中華民國，23(2011)。
- 3 吳采芳、葉安琪，無機螢光粒子之合成與應用，正修科技大學化工與材料工程研究所碩士論文，中華民國，55-69(2008)
- 4 高逢時，黑夜的精靈—螢光體，科學發展 367 期，64-69 (2003)
- 5 Gaytri Sharma, Sang Do Han, Jung Duk Kim, Satyender P. Khatkar and Young Woo Rhee, Electroluminescence efficiency of alternating current thick film devices using ZnS:Cu,Cl phosphor, *Materials Science and Engineering B* **131**, 271-276 (2006)
- 6 林文安、蘇舜恭，聚苯胺/BMPDA 之薄膜研究，台灣科技大學高分子工程系碩士論文，中華民國，1-4(2001)
- 7 A.C. Yeh, P.J. Chen, Fabrication of light using microfluidic coating, *Taiwan Textile Research Journal* **21**, No.3, 30-35(2011)