

LED 頭燈系統分析結果與探討-以 LS600h 頭燈為例

顏則修、許日滔、廖學隆

財團法人車輛研究測試中心 研發處 電控工程專案組

摘要

LED 汽車頭燈之功能驗證測試，目前因為無正式上路的法規可認證，只有 ECE 與 SAE 相關委員會推出相關草案，連現階段已經在國際量產的 Lexus LS600h 高級車種搭載的 LED 頭燈都是以特別條款認證上路販售的，等待未來有修訂正式上路法規後，產品仍須重新認證。故車輛研究測試中心以技術開發設計者角度進行相關系統測試與驗證，並將測試結果做回饋，以建立未來 LED 頭燈之設計經驗及參數。包含反射面光學設計、投射式光學設計及驅動電路系統設計。目前台灣國內車燈廠在 LED 頭燈上皆尚未深入探討，本文中將以 Lexus LS600h LED 頭燈之光度配光分析與相關後端系統測試驗證，研究 LED 頭燈在設計時需考慮到的設計技巧，使有心從事 LED 車燈開發設計的車燈廠、散熱、電子、LED 光源廠有所依循，並且更容易瞭解 LED 先進車燈系統設計技巧，減少國內車燈廠商未來在研究開發時的瓶頸，並增加關鍵技術上的佈局。

關鍵詞：LED、車燈、散熱

1. 前言

車輛照明系統的發展歷史，自 1990 年代 HID 氙氣頭燈問世以來，歷經十餘年的產品技術提昇及商品化歷程，HID 氙氣頭燈才逐漸從高階市場向中低階市場普及，但由於成本降低速度太慢，預期在未來市場發展上將有可能受到 LED 照明技術的取代，經資策會 MIC 經濟部 ITIS 計畫的整理報告指出，目前車輛前方照明系統的 LED 與 AFS 功能的頭燈乃是高級車附加的高階產品，但在日本市場上由於 AFS 系統的前照燈價格昂貴，且日本夜間市區市郊照明設備完善，除了山區道路外，晚上的道路使用人在夜間均可保持視線清晰，所以搭載 AFS 配備的車輛數在成長率上面十分緩慢，反觀台灣國內這幾年的研究報告指出也是相同的情況，歐洲與北美洲亦同。所以前照燈的 AFS 系統並未受到駕駛者的普遍支持，目前白光 LED 的發光效率漸漸超越 HID，價錢也逐年以倍數的方式下降，故 LED 被學者專家稱為第四代車輛照明光源，而 LED 正是目前所有車輛照明廠商致力研發的產品，並且逐漸在高階市場上應用，也被視為是影響未來車輛頭燈發展的重要指標，未來一輛車上包含可見光及不可見光的應用，將使目前車輛車電用品上品的照明產品全部改成 LED 的發光二極體，所以 LED 全面進入車輛產品的時代已然來臨。[1-3]目前歐、美、日等國皆已具備車用 LED 頭燈設計能力，仍只侷限在展示用的概念車款上。因此，截至目前為止，在國際上各個汽車大廠中，僅止於 Lexus LS600h 高階車款搭載 LED 頭燈的量產車型，但其售價一組高達 50 萬日圓，屬於非常高單價的產品。不過，以 KOITO、VALEO、HELLA、STANLEY 等廠商為主的國際車用燈具大廠，早在 10 年前甚至更

早就已經開始著手研究車用 LED 前照燈系統，其主要設計方向大致以投射式或反射式頭燈為主，包括：STANLEY、OSRAM..等等都已有白光 LED 頭燈雛形車款展示，不過還停留在概念車階段，所以日本東京的 Koito Manufacturing 公司首次將 LED 汽車頭燈商業化，新頭燈已安裝在豐田汽車公司 (Toyota Motor) 的 Lexus LS-600h (圖一)，已成為市場上第一個真正達到 LED 頭燈商品化的車型。有鑒於此，本文將以現階段國際法規標準，進行相關研究測試驗證，並比對目前國內法人 LED 聯盟這幾年 LED 頭燈技術結果，研究歸納出驗證結果與設計重點讓國內車燈製造廠有方法依循可以切入這個在未來 2010 年價值 10 億美元商機的車用 LED 照明市場。



圖一 Lsxus LS600h LED 頭燈 來源：LEXUS

2. 研究方法

本研究是利用車輛研究測試中心燈光實驗室設備 LMT 配光儀進行相關光學系統驗證，其引用標準為美國 CFD(FMVSS、CPSC)、SAE，歐洲[聯邦]經濟執委會 (簡稱 ECE)，歐洲經濟聯盟 (簡稱 EEC)，來為其依據，其中各項研究儀器設備可比對校驗到國家級實驗室標準，故系統驗證數據準確性皆有依循，(表一)為目前國際上認證組織對於 LED 是否可以上路的彙整表與引用法規草案的法條總整理。在文中所使用的實驗標的物為 Lexus LS600h 的 LED 頭燈。

表一 ECE、SAE 組織 LED 頭燈引用草案法條

	法規	整車	零組件單品	備註
歐洲	ECE/TRANS/WP.29/GRE/2007/12 28 December 2006	不行	不行	1. 具ECE R48 3.3.2解釋燈具單品需通過認證才能申請整車認證，所以LED頭燈無法進行整車認證。 2. LED頭燈，功能上屬於汽車頭燈，故需要符合ECE R98/R112/R113等測試，因這些條款有強制要求光源型式，故也無法認證。 3. 目前市面上某些車款搭載的LED頭燈是用特別條款上路，未來法規上路還需重新申請認證。
美國	Fmvss108與SAE J2650	可行	可行	雖然NHTSA表示可以上路，但乃需視各州當地政府是否允許上路。



圖二 AFS 功能左右行程角度

3. LED 頭燈系統驗證過程與結果

3.1 光學相關驗證

此驗證使用的燈組是 R 邊，測試時先利用 LMT 配光機台測出此 LED 近燈模組在 AFS (Adaptive Front Lighting System) 功能的左右最大行程的角度 (圖二)，得到的結果是左行程 7 度而右行程是 23.5 度。

光學性能配光測試根據歐盟法規 ECE R112 Class B 所配光，其 LED 近燈的配光測試點如 (表二) 之要求，在測試點 B50R dipped-beam 的要求 Maximum 值不可超過 0.4 (單位 lux) 與 Zone III 區各點測試值不可超過 0.7(lux)，但是在原始配光得到的結果均是 NG，其中測試點 B50R dipped-beam 測得的 Maximum 值是 0.558(lux)，Zone III 測得的最高值是 1.089(lux)，由 (表三)、(圖三) 原始配光結果可以看出，LED 近燈模組的部分是有餘光過高的的情況。測試完原始配光數據後，記錄 LED 近燈模組的 Maximum 亮度值為 33.84(lux)，此時針對 LED 近燈模組進行十二小時連續點燈的光衰測試，在十二小時後進行 Maximum 的數據量測，測得的亮度值為 31.76(lux)，換算比值其 LED 近燈模組光衰數值為衰減 6.2%，如果比對依循現階段 LED 認證草案來確認，其中 LED 光源光衰的比例超過 3% 是無法過法規規範，此 LED 頭燈將無法順利取得認證的證書，目前此 LED 頭燈還是以特別條款在市場上販售，未來如果草案無特別修正的話，LS600h 頭燈將會被市場召回，不允許上路。

此外還針對此 LED 近燈模組使用的光源進行量測其光通量，LS600h 所使用的單顆 LED 光源是用 1x1 的封裝晶片四個，封裝材質為玻璃，單顆光源使用 10W，每個晶片約 2.5W，經過實際點燈在積分球裡面量測光通量，在點燈 60 分鐘後光通量剩下 376 流明 (圖四)，由 LS600h 使用的光源顆數來推算，其此 LED 燈的近燈模組總發光高達 1200 流明以上。[4-11]

表二 ECE R112 近光燈法規要求

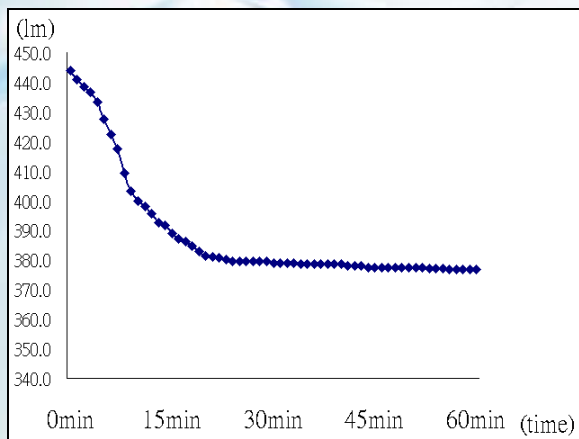
螢幕之測試點		需求照度(單位: lux)	
右行用頭燈	左行用頭燈	Class A	Class B
點 B 50 L	點 B 50 R	≦ 0.4	≦ 0.4
點 75 R	點 75 L	≦ 6	≦ 12
點 75 L	點 75 R	≦ 12	≦ 12
點 50 L	點 50 R	≦ 15	≦ 15
點 50 R	點 50 L	≦ 6	≦ 12
點 50 V	點 50 V	--	≦ 6
點 25 L	點 25 R	≦ 1.5	≦ 2
點 25 R	點 25 L	≦ 1.5	≦ 2
III 區各點		≦ 0.7	≦ 0.7
IV 區各點		≦ 2	≦ 3
I 區各點		≦ 20	≦ 2E*

表三 LED 近燈模組原始配光結果

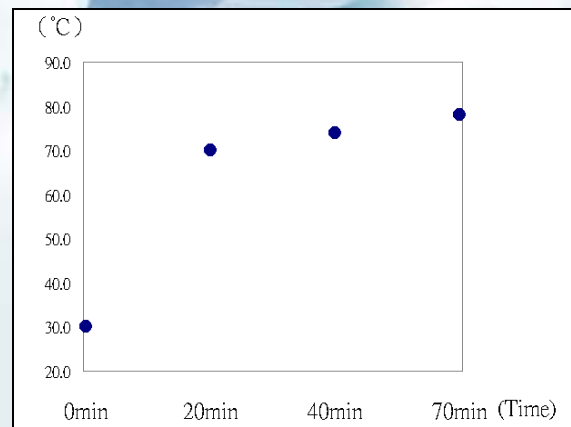
LS 800h 頭燈需求照度(單位: lux)		
左行用頭燈	量測值	標準值(Class B)
點 B 50 R	*0.558	≦ 0.4
點 75 L	21.21	≦ 12
點 75 R	1.442	≦ 12
點 50 R	12.71	≦ 15
點 50 L	23.14	≦ 12
點 50 V	16.4	≦ 6
點 25 R	13.37	≦ 2
點 25 L	17.08	≦ 2
Zone III	*1.089	≦ 0.7
Zone IV	8.828	≦ 3
Zone I	28.05	2xPO 50L



圖三 LED 近燈模組原始配光光型



圖四 積分球測試結果

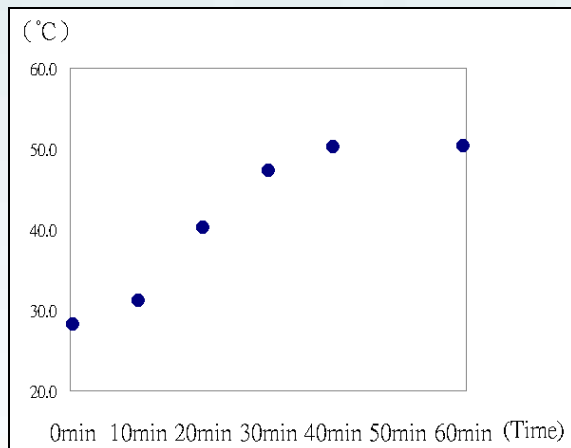


圖五 近燈散熱模組溫度量測結果

3.2 LED 近燈散熱模組溫度相關驗證

此驗證最主要的目的是想得知整個 LED 散熱模組在一個封閉式的車燈裡面確切的溫度，量測時分別在 LED 的散熱模組鰭片上取左、中、右方各一量測點，與環境溫度一個量測點，總共四個量測點，連續點燈十二小時無間斷量測。使用已校正的熱電耦元件(可追溯至國家標準實驗室)，針對建立的 LED 近燈散熱模組進行實驗。就散熱模組鰭片上進行溫度之量測。以線徑為 0.25mm 的 T-type 的熱電耦進行溫度場的量測，該型熱電耦的操作溫度範圍最高可達 150 oC。以點焊的方式，將熱電耦的線頭兩端進行接合，共計有四組熱電耦。熱電耦的溫度顯示方式，係以 YOKOGAWA 生產的 MV 200 資料擷取系統進行資料擷取與記錄，資料擷取頻率為每二秒更新一次，同一時間下紀錄四個量測點溫度可作為動態資料擷取紀錄使用，待裝置系統穩定後，記錄各個穩態狀況下的各點熱電耦溫度。

由(圖五)可以得知在環境溫度 31.4 度時候，點燈時間 70 分鐘時，整個近燈散熱模組到達一個熱平衡狀態，而散熱鰭片上的溫度也維持在約 78 度左右。接下來取出 LED 光源，將 LED 晶片進行點燈測試，並量測離 LED 發光晶片 5mm 處基板溫度值，由(圖六)可以得知在環境溫度 27.4 度時，連續點燈 40 分鐘後 LED 基板溫度便不再上升，測得的最高溫度為 50.2 度。對 LED 而言，其發光強度和驅動電流成正比，但是溫度的改變，則會同時改變 LED 的發光特性以及元件壽命，從實驗數據指出 LED 特性易受環境溫度影響，量測所的基板溫度如果升高將導致 LED 的光輸出降低。因此，溫度決定 LED 光輸出以及壽命的最主要因素，也形成了 LED 應用在汽車頭燈的主要障礙。現今汽車頭燈大都使用輕量化的材料設計，並且薄型化的趨勢使得汽車頭燈內部的空間愈趨狹小，這使得 LED 本身所發出的熱能無法引導到外界環境中，而頭燈又需裝置於汽車引擎室，本身的熱源加上來自引擎室之高熱將使得 LED 頭燈之效能降低，並縮短 LED 光源壽命，亦即汽車頭燈的整體壽命。[12-14]



圖六 LED 光源基板溫度量測結果

3.3 電路、電磁波、整燈環境相容試驗

進行此試驗時先針對 LED 頭燈介面接腳進行確認，再確認電壓及電流，其中相關輸入為遠燈電壓 12V 電流 5.4A，近燈電壓 12V，單 Module 10W，方向燈電壓 12V，水平馬達電壓 12V，左右馬達電壓 12V，在這裡面我們可以探討的是此燈的 ECU 單元，其外觀上採用鋁殼做散熱，ECU 固定座使用橡皮墊圈做接縫防水處理，而 ECU 內部採矽膠做防水、防塵，電路採數位訊號與類比訊號隔開避免干擾。其電路設計上電源輸入端使用電感及電容做穩壓及濾波，使用三顆 MOSFET(電子開關)控制三個 LED Module，此近燈模組 LED 採串聯+並聯型式驅動，MCU 可單獨控制三個 LED Module。其優點為降低升壓電路之壓降(LED 驅動電壓約 15V)，減少電路負荷(電流約 700mA)，如單 Module 損壞另兩 Module 可繼續 work(可由 MCU 控制)，電路設計示意圖如(圖七)所示，搜尋專利(Keyword:KOITO LED DRIVER)可得知 LED 保護電路與電流偵測電路(us7,274,150)，由 DC-DC Convert Datasheet 可得定電壓控制，並推測 Lexus 採用 MCU 偵測流經 LED 電流做定電流控制及電流、溫度異常處理等與 ARTC 所設計之 Driver 使用 OP 作電流回授控制。其優點為成本低，功率消耗小及體積小等(圖八)。在電壓檢知 IC(61FC2)可做電壓之偵測，確認電路之電壓穩定避免造成 MCU 作動異常，MOSFET(7N1005)則做為電子開關。(表四)為整燈的主要元件表彙整。

點燈濕度測試依 AMECA FMVSS 108 測試規範，連續 72 小時點燈濕度測試後配光驗證，對車輛以確保

零組件，於濕度下之功能正常。試驗結果後在配光試驗，其結果與頭燈原始配光結果一樣，在餘光區的部分亮度值過高。

沙塵試驗規範測試使用符合 FMVSS 108 測試規範的波特蘭水泥微粒 (ASTM C150-77) 連續測試五小時後，配光驗證檢測車輛及電子等零組件因落塵之侵入或附著，對其性能所是否造成不良影響，測試結果與頭燈原始配光結果一樣，在餘光區的部分亮度值過高。

燈殼抗化學試驗規範使用 FMVSS 108 ASTM 參考燃油 C (除焦油劑, 動力轉向液, 擋風玻璃清洗液, 抗凍劑), 抗化學測試後配光驗證並目視檢驗, 測試結果與頭燈原始配光結果一樣, 在餘光區的部分亮度值過高, 但是在燈殼的目視檢驗上面判定 OK。

整燈的環境試驗上顯示此燈的製程符合環境規範上的要求, 其配光試驗 NG 是原始配光的值就已經造成餘光過亮, 故在環境試驗後接續的配光皆也會與原始配光一樣。

為了讓 LED 頭燈受驗更加剖析精確, 除了光度、環境與其它相關測試外, 另外還安排了整燈電磁波等項目, 可作為未來國內 LED 頭燈發展之參考資料。電磁波相容測試總括是確保車輛於使用狀態下, 依據對車輛所訂定之試驗法及輻射干擾限制值進行檢測, 以保護居住環境內使用之廣播接收機與各項操控裝置對感應電流效應所造成性能劣化的免疫力 (immunity), 以提高車輛之性能及安全性。

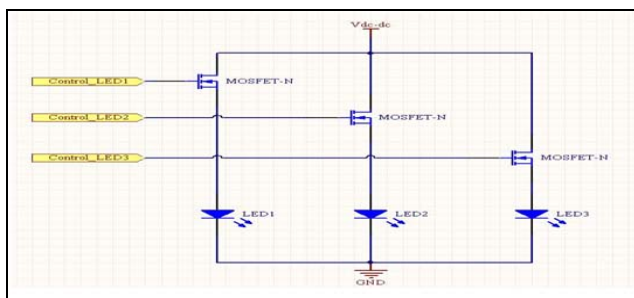
試驗標準依據歐盟 ECE R10 進行檢測, 檢測項目及配置有三項。

項目 1: 窄頻輻射干擾測試: 檢測配置如 (圖九) 照片, 測試規格與內容須滿足 (表五) 之條件。

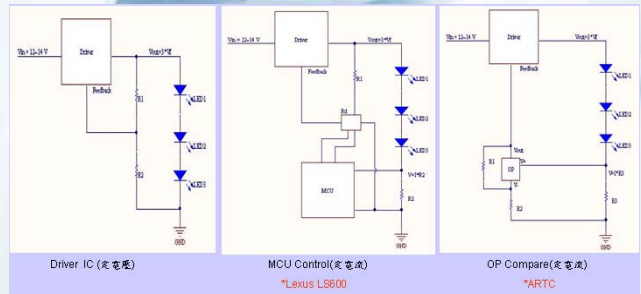
項目 2: 大電流注入測試: 檢測配置如 (圖十) 照片, 測試規格與內容須滿足 (表六) 之條件。

項目 3: 自由場電磁耐受測試: 檢測配置如 (圖十一) 照片, 測試規格與內容須滿足 (表七) 之條件。

電磁波相容的試驗結果如 (表八) 與 (圖十二) 所示, 均滿足法規的基本要求。由相關驗證可得知 Lexus LS600h LED 頭燈在 LED 光衰的 3% 誤差值無法到達要求之外, 其餘皆可以達到國際法規的認證要求。[15-16]



圖七 電路圖



圖八 電路比較圖

表四 LED 頭燈主要元件彙整表

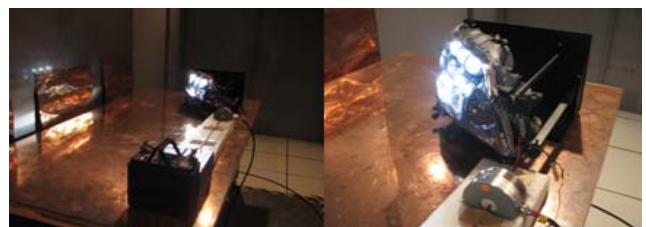
名稱	廠牌	型號	備註
CPU	KOITO	29002G 632KA11	N/A
MOSFET	FUJI ELECTRIC	K3592	$V_{ds}=150V$, $I_d=57A$, $R_{ds}=31m\Omega$
MOSFET	RENESAS	7N1005	$V_{ds}=100V$, $I_d=15A$, $R_{ds}=85m\Omega$
MOSFET	RENESAS	7N0603	$V_{ds}=60V$, $I_d=30A$, $R_{ds}=11m\Omega$
Operational Amplifier	JRC	7001	N/A
Voltage Detectors	TOREX	61FC2	Highly Accurate: $\pm 2\%$, Detect Voltage Range 1.6V~6.0V



圖九 窄頻輻射干擾測試

表五 Narrowband Electromagnetic Disturbances

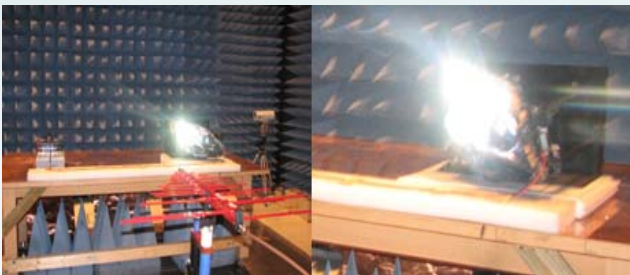
Test results				
Test information				
Date(s) test performed:		November 9, 2007		
Test Setup Comments:		ECE R10		
Temperature (°C):		24~25		
Humidity (%RH):		50~51		
DUT operation mode:		Light on		
Serial:		No. 1		
Pretest inspection:		<input checked="" type="checkbox"/> No anomalies <input type="checkbox"/> The following anomalies:		
Post test inspection:		<input checked="" type="checkbox"/> No anomalies <input type="checkbox"/> The following anomalies:		
Frequency (MHz)	Polarization	Limit	Detector	Result
30~1000	Horizontal	Narrowband	Under limit	Under limit
30~1000	Vertical			Under limit
30~1000	Horizontal	Broadband	Under limit	Under limit
30~1000	Vertical			Under limit



圖十 大電流注入測試

表六 BCI ESA Immunity Test

Test results				
Test information				
Date(s) test performed:	November 9, 2007			
Test Setup Comments:	ECE R10			
Temperature (°C):	24-25			
Humidity (%RH):	48-60			
DUT operation mode:	Light on			
Serial:	No. 1			
Pretest inspection:	<input checked="" type="checkbox"/> No anomalies <input type="checkbox"/> The following anomalies:			
Post test inspection:	<input checked="" type="checkbox"/> No anomalies <input type="checkbox"/> The following anomalies:			
Frequency (Hz)	Test level (µV)	Modulation	Position (mm)	Result
20-400M	60	AM	150	1



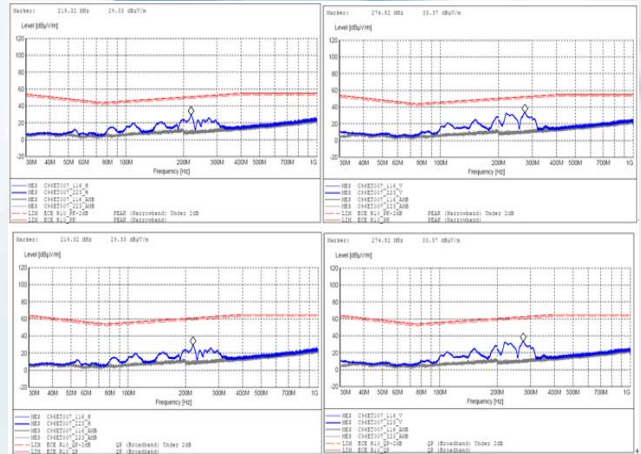
圖十一 自由場電磁耐受測試

表七 Free Field ESA Immunity Test

Test results				
Test information				
Date(s) test performed:	November 9, 2007			
Test Setup Comments:	ECE R10			
Temperature (°C):	24-25			
Humidity (%RH):	50-51			
DUT operation mode:	Light on			
Serial:	No.1			
Pretest inspection:	<input checked="" type="checkbox"/> No anomalies <input type="checkbox"/> The following anomalies:			
Post test inspection:	<input checked="" type="checkbox"/> No anomalies <input type="checkbox"/> The following anomalies:			
Frequency (Hz)	Test level (V/m)	Modulation	Polarization	Result
400M-1G	30	AM	Horizontal	1
			Vertical	1

表八 測試結果

窄頻輻射干擾測試				
	干擾頻率 (MHz)	天線極化	檢測方式	檢測結果
	30-1000	水平	Peak	圖十二
		垂直	Peak	圖十二
大電壓注入測試				
調變方式	頻率 (Hz)	測試結果說明		
AM 80% , 1kHz	20-400M	正常		
	測試後	正常		
自由場電磁耐受測試				
調變	天線極化	頻率 (Hz)	測試結果說明	
AM 80% , 1kHz	水平	400M-1G	正常	
		測試後	正常	
	垂直	400M-1G	正常	
		測試後	正常	



圖十二窄頻輻射干擾測試結果

4 國內 LED 頭燈技術評比

目前在國內從事 LED 頭燈系統開發的研究單位有 ARTC、工研院..等單位，而以民國九十六年 ARTC 發表的 LED 頭燈用六個 PES (Projection System) 投射模組來完成 LED 近光模組，在實際配光(圖十三)中，可以看出近光燈光型的強光區亮點有達 22.17 (lux)，法規標準為 12 (lux)，也達法規最低要求，光型為標準歐規左駕右行。由(表九)可以比較出兩組 LED 的近燈模組皆是採用投射式模組所設計，但是 LS600h 頭燈多了一組反射式的光學面來補擴散區，在散熱模組上 LS600h 頭燈使用的模組較小，更符合車燈開發上使用，不同的是在 LED 光源上面 ARTC 目前針對的是國內的 LED 國產光源進行設計，不僅光源取得容易，價格也平易近人。不過在國際現階段乃有許多規範在台灣尚屬於無法驗證的狀態，因國內標準的燈光實驗室無相關的實驗設備，例如：在歐盟的 LED 頭燈測試草案上有規範 LED 紅色光譜測試、抗 UV 光測試、一千五百小時抗光輻射性測試..等。這些驗證規範仍有賴國內燈光實驗室添購相關的實驗設備才有辦法可以驗證。[17]

需求照度(單位: lux)		
右行用頭燈	量測值	標準值(Class B)
點 B 50 L	0.248	≧ 0.4
點 75 R	12.31	≧ 12
點 75 L	2.557	≧ 12
點 50 L	6.201	≧ 15
點 50 R	19.34	≧ 12
點 50 V	13.05	≧ 8
點 25 L	3.48	≧ 2
點 25 R	8.469	≧ 2
Zone III	0.664	≧ 0.7
Zone IV	3.596	≧ 3
Zone I	22.17	2xPOINT 5

圖十三近燈模組配光結果

表九 LED 近燈模組比較表

Designer	KOITO	ARTC
Function	Low beam+Bending light	Low beam
Regulation	ECE R112(右駕)	ECE R112(左駕)
LED maker	NICHIA	LUMILEDS K2 or 國產 prototype
chip module	377lm/10WX3, corner 10WX1+5WX1	68lm/4.8WX6 or 130lm/2.5WX5~6
Optics module	投射式+反射式	投射式
Thermal module	自然式(sink為主),體積較小,內藏	自然式(pipe+sink),體積較大,外露
Capability	79°C/1h at heat sink(室溫下)	45°C at heat sink(室溫下),79°C(環溫65°C),91or78°C(實車,環溫37°C)
Driver	MCU定電流回授控制,較貴,可作其他控制	OP定電流回授控制,價格便宜,尺寸小

5 結論

綜合前面相關系統測試驗證，可歸納出幾個方向讓國內產業界參考。(1) Lexus LS600h 頭燈雖然會光衰，其整體光度皆高於法規標準。環境測試實驗後的實際配光驗證比對原始配光測試結果稍有衰減，但仍屬可接受。(2) 二次光學車燈具設計技術已無問題，但量產之定位精度考驗大，且 Lexus LS600h 頭燈在專利佈局上也將定位精準度列為重點項目。(3) 4 顆 1×1 mm 的大型藍光 LED 封裝在一模組內，每顆 LED 晶片為 2.5W，4 顆 LED 合計 10W 時，可以產生 376 的流明。(4) LED 晶片結構改良，使 LED 晶片的接點溫度 150 度時仍可正常運作。(5) LED 使用玻璃封裝材料，抑制點燈發熱造成劣化現象，國產 LED 光源尚無此種封裝。(6) 高功率 LED 開發量產後，LED 亮度使用效率，將不再是設計關鍵。(7) 高功率白光 LED 單元可靠度驗證，將是量產關鍵。

6 參考文獻

- [1]. Tetsuaki Inaba, "LED Headlamp Development for Mass Production," SAE Technical Paper, Jan. 2008.
- [2]. Jianzhong Jiao and Ben Wang, "Etendue Concern for Automotive Headlamp Using LEDs," SPIE The Third International Conference on Solid State Lighting, San Diego, CA, Oct. 2003.
- [3]. Ben Wang, Takayuki Iwaki, and Jianzhong Jiao, "Studies for Headlamp Optical Design Using LEDs," SAE Tech.Paper No. 2004-01-0434.
- [4]. Kiyoshi Sazuka, "LED Headlamps," SAE SP-1875 pp55-60, 2004.
- [5]. Michael Hamm, "Necessity of New Approaches for LED Headlamp Design," SAE SP-1932 pp59-65, 2005.
- [6]. Ralf Ackermann, "LED Headlamps - Highly Efficient Optical Systems," SAE SP-1932 pp89-93, 2005.
- [7]. Lumileds Lighting, <http://www.lumileds.com>.
- [8]. J.T. Hsu and W. L. Wang, "Automotive Forward Lighting with use of high flux white Light-Emitting-Diodes," SAE SP-1993 pp27-33, 2006.
- [9]. 王溫良"燈具 3D 模型建構 CB-92-0049"2003/07
- [10]. 王溫良"不同光型之頭燈設計及配光分析報告 CB-93-0013"2004/07
- [11]. 顏則修"實車 LED 頭燈散熱系統設計組裝與效能測試報告 CB-95-0140"2006/12
- [12]. 彭偉捷,李宗憲,馬仕信,許日滔,孫慶成,"以 Lumileds 五瓦 LED 為光源之歐規汽車近光頭燈之設

計," OPT04 (2004).

[13]. 許日滔"汽車用 LED 頭燈電腦模擬配光分析報告 CB-94-0007"2005/06

[14]. 許日滔"“高效能汽車照明(LED 燈)專利檢索收集報告技術報告“，財團法人車輛研究測試中心 (93)。

[15]. 許日滔"“LED 頭燈設計與光源特性分析告“，財團法人車輛研究測試中心 (93)。

[16]. 陳金嘉, 黃光榮, 江志彬, 賴俊清, 許日滔,"先進 LED 及光纖照明車頭燈設計,"第十一屆車輛工程學術研討會, 彰化, 台灣, 11 月 18 日, 2006。

[17]. 廖學隆"Test of Benchmark for LED headlamps"車用 LED 頭燈系統研發技術研討會 2007/11