

白光 OLED 材料之光激發緩解動態學研究

學生：李睿勻

指導教授：刁維光博士

國立交通大學應用化學所碩士班

摘 要

本論文的第一部份以 DPVSBF 與 TPVSBF 為主發光體，各摻混 2% [Os-(bptz)₂(PPh₂Me)₂] (簡稱 Os-R) 之紅光客發光體的薄膜為研究對象，利用時間相關單光子計數系統 (Time-Correlated Single Photon Counting; TCSPC) 探討其正向與反向能量轉移過程。靜態光譜顯示當摻混 2% Os-R 後，DPVSBF 與 TPVSBF 約於 450 nm 和 500 nm 處的螢光量子效率僅約有未摻客體時的 12%，且在約 600 nm 有 Os-R 的放光產生；以 375 nm 之雷射光激發主發光體之 S₁ 能態，發現在 450 nm 或 500 nm 處之螢光生命期變為很快的非放光過程，證明由主發光體之 S₁ 能態正向能量轉移至客發光體之 T₁ 能態。而偵測 600 nm 處之螢光發現亦與 2% Os-R/PMMA 之生命期短了許多，此結果代表由客發光體之 T₁ 能態反向能量轉移至主發光體之三重態。經由量子效率計算發現其量子效率僅為 2% Os-R/PMMA 的 5% 及 20%，能量轉移速率常數各為 2.9×10⁷ (s⁻¹) 與 6.0×10⁶ (s⁻¹)，亦即反向能量轉移至 DPVSBF 之速率約為轉移至 TPVSBF 的 4 倍，可證明在穩態光譜中所看到的，DPVSBF 摻混 2% Os-R 之整體螢光較 TPVSBF 摻混 2% Os-R 的螢光弱之現象。

論文的第二部份研究蕙衍生物: ANDP 與 ANTP，靜態光譜顯示溶液態下之量子效率，ANDP 較 ANTP 大 ~13.6 倍。時間解析螢光光譜亦驗證溶液態下 ANTP 之螢光生命期非常短，但在薄膜狀態下，ANDP 與 ANTP 之螢光生命期卻相同，推測由於以光激發溶液態下的 ANDP 與 ANTP，使得其激發態分子構形改變，改變了其相對能階位

置，而使得 ANTP 的 S_1 態與 S_0 態交會，造成大部分能量在內轉換的途徑下消耗掉；但在薄膜態時兩者分子皆無法轉動，兩者皆直接由 S_1 態放螢光回到基態。



Photoinduced Relaxation Dynamics of White-Light OLED Materials

Student : Rei-yune Lee

Advisor : Dr. Eric Wei-Guang Diao

Institute of Applied Chemistry
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Part 1 of this article, we have studied the guest-host molecular system consisting of red emitting complex, $[\text{Os}-(\text{bptz})_2(\text{PPh}_2\text{Me})_2]$ doped into DPVSBF and TPVSBF using steady-state and time-resolved fluorescence methods. The emission maxima of DPVSBF and TPVSBF are located at ~ 460 nm and ~ 500 nm, respectively. The fluorescence intensities of DPVSBF and TPVSBF were quenched and a new emission band at ~ 600 nm appeared when 2% of the osmium complexes was doped into both compounds. The new emission band is attributed to the phosphorescence of the osmium complex. The evidences of forward energy transfer from the S_1 state of DPVSBF and TPVSBF to the T_1 state of the osmium complex was provided by the TCSPC measurements with excitation at 375 nm and emission observed at 450 nm and 500 nm. On the other hand, emission decays observed at 600 nm give information for the backward energy transfer from the triplet state of the osmium complex to the triplet states of DPVSBF and TPVSBF.

In part 2 of the thesis, we discuss the anthracene derivatives: ANDP and ANTP, the steady-state results shows that ANDP is ~ 13.6 times the quantum efficiency of ANTP in

cyclohexane. Picosecond time-resolved studies using TCSPC were performed for ANDP and ANTP under liquid and solid conditions. After 375 nm excite to the S_1 state, the steric interactions of ANTP makes the $C=C$ twisting motion, this motion brings the S_1 of ANTP to a geometry which is favorable for radiationless conversion, thus, the lifetime of ANTP is shorter than of ANDP in solution, but identical with ANDP in film, due to the absence of internal conversion in ANTP solid film.



誌 謝

感謝指導教授刁維光老師在學識及研究上的指導使我了解對實驗應具有的敏感度及責任心。感謝曾經教導過我的學長們：張智煒、王載德、駱立揚及盧盈志對於我的實驗、學業上的教導及建議，感謝學弟清輝，以及實驗室其他學長：重光、建仲在這兩年來對我的幫助。謝謝大家陪我度過兩年的碩士生涯。

謝謝口試委員許慶豐教授、鄭博元教授的精闢見解使本篇論文更加嚴謹。

最後我要感謝我的家人，一直以來對我百分之百的支持、寬容與諒解。



目 錄

	頁次
中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
誌謝.....	v
目錄.....	vi
表目錄.....	ix
圖目錄.....	xi
附錄目錄.....	xvi

第一章、緒論

1-1	前言.....	1
1-2	電（光）激發光材料的發現與技術改良.....	2
1-3	電（光）激發光元件的特性及應用.....	3
1-4	蒽與蒽的衍生物.....	6
1-5	常見紅光客發光體與其衍生物.....	10
1-6	白光 OLED 相關的動力學研究.....	13
1-7	主發光體－客發光體系統之能量轉移機制.....	15
1-8	本論文的研究.....	17

第二章、實驗技術

2-1	時間相關單光子計數系統.....	22
2-1-1	光源.....	26

1	摻鈦藍寶石雷射系統.....	26
2	皮秒二極體雷射.....	35
2-1-2	雙光柵光譜儀.....	35
2-1-3	電子元件.....	36
1	分數式時間鑑別器.....	36
2	時間-振幅轉換器.....	38
3	類比-數位轉換器.....	40
4	多頻道分析儀.....	40
5	可調節式延遲器.....	40
6	微通道型光電管.....	40
2-2	紫外-可見光光譜儀.....	41
2-3	螢光光譜儀.....	41
2-4	資料分析.....	42
1	平行模型.....	43
2	連續模型.....	43
2-5	樣品處理.....	44



第三章、白光 OLED 材料中正反向能量轉移機制之動態學研究

3-1	薄膜試樣之穩態光譜.....	46
3-2	薄膜試樣之螢光量子效率.....	49
3-3	薄膜的瞬態螢光光譜.....	54
3-3-1	四片薄膜試樣在主體放光位置的瞬態螢光光譜.....	54
3-3-2	計算 FET 之速率常數 (k_{FET})，以及 FET 前後主發光體之量子效率比值.....	58

3-3-3	由穩態光譜計算得出 BET 前後，Os-R 之量子效率比值.....	63
3-3-4	薄膜試樣在 Os-R 之放光波長的瞬態螢光光譜以及 BET 速率常數.....	69
3-4	主體與客體間的能量轉移機制.....	78
第四章、多苯蔥衍生物之光譜與動態學研究		
4-1	DPA、ANDP 及 ANTP 之環己烷溶液的穩態光譜.....	83
4-2	ANDP 與 ANTP 溶液的螢光量子效率.....	88
4-3	ANDP 與 ANTP 薄膜之穩態光譜.....	90
4-4	ANDP 與 ANTP 之瞬態螢光光譜.....	94
4-5	ANDP 與 ANTP 之簡易能階分佈模型.....	100
第五章、結論.....		
附錄	104



表 目 錄

	頁次
表 3-1 四薄膜試樣之吸收度、主體總放光量、以及相對量子效率的比值..	53
表 3-2 DPVSBF+ 2% Os-R 薄膜在 450 nm 處之螢光生命期的擬合分析...	55
表 3-3 DPVSBF 與 DPVSBF+ 2% Os-R 薄膜之 FluoFit 擬合結果。激發波長為 375 nm，偵測波長為 450 nm.....	56
表 3-4 TPVSBF 與 TVSBF+ 2% Os-R 薄膜之 FluoFit 擬合結果。激發波長為 375 nm，偵測波長為 500 nm.....	57
表 3-5 四片薄膜之生命期、平均生命期及速率常數值。激發波長為 375 nm，偵測波長各為 450 nm 與 500 nm.....	64
表 3-6 以穩態光譜與時間解析螢光光譜來計算摻入客體前後，主體量子效率之比值的比較表.....	60
表 3-7 2% Os-R/PMMA、DPVSBF+ 2% Os-R 及 TPVSBF+ 2% Os-R 薄膜的吸收度、客體放光量、以及量子效率的比值.....	69
表 3-8 Pure Os-R 與 2% Os-R/PMMA 薄膜的 FluoFit 擬合參數。激發波長皆為 375 nm，偵測波長為 600 nm.....	71
表 3-9 2% Os-R/PMMA 與 Pure PMMA 薄膜的擬合參數。激發波長皆為 375 nm，偵測波長為 600 nm.....	72
表 3-10 2% Os-R/PMMA，DPVSBF+ 2% Os-R 與 TPVSBF+ 2% Os-R 薄膜的擬合結果。激發波長皆為 375 nm，偵測波長皆為 600 nm.....	75
表 3-11 2% Os-R /PMMA，DPVSBF+ 2% Os-R 與 TPVSBF+ 2% Os-R 薄膜的擬合結果、平均生命期與速率常數。激發波長各為 420 與 375 nm，偵測波長皆為 600 nm.....	76
表 4-1 $5 \times 10^{-6} \text{M}$ 之 DPA、ANDP及 ANTP之環己烷溶液在 375 nm光激發下的吸收度、總放光量、量子效率及其比值.....	89
表 4-2 $5 \times 10^{-6} \text{M}$ 之 ANDP與 ANTP環己烷溶液的 FluoFit擬合結果。激發波長為 375 nm，偵測波長為 450 nm.....	95

表 4-3	ANDP 與 ANTP 薄膜之 FluoFit 擬合結果。激發波長為 375 nm，偵測波長為 450 nm.....	96
表 4-4	$5 \times 10^{-6} \text{M}$ 之 ANDP 與 ANTP 環己烷溶液的 Strickler-Berg relation 參數.....	98
表 4-5	比較由 Strickler-Berg relation 及螢光量子效率所計算出之 $1/\tau_r$ 值.....	98
表 4-6	以穩態光譜及時間-解析螢光光譜所求得之 ANDP 及 ANTP 溶液及薄膜的量子效率比值.....	100



圖 目 錄

	頁次
圖 1-1 (A) Alq3 結構；(B) PPV 結構.....	1
圖 1-2 OLED 發光原理，其中 HTL 與 ETL 分別為電動傳輸層與電子傳輸層.....	2
圖 1-3 普遍使用的三層式 OLED 元件結構.....	4
圖 1-4 NPB 結構.....	4
圖 1-5 DCM 結構.....	4
圖 1-6 Kido 等人在 1994 年發表於 Appl. Phys. Lett. 之白光 OLED 元件結構.....	5
圖 1-7 ITO/PVK(400Å)/TAZ(200Å)/Alq(300Å)/Mg:Ag 元件之 EL 光譜圖。其中 doped PVK 是由 5mol% 之 TPB、0.3mol% 之 coumarin 6、0.2mol% 之 DCM 1 摻混而成.....	5
圖 1-8 (A) 萘；(B) 聯苯之化學結構.....	7
圖 1-9 用於 OLED 主發光體的萘及其衍生物.....	8
圖 1-10 用於 OLED 發光層的蒽及其衍生物.....	9
圖 1-11 分子在基態與激發態時包含電子自旋之波函數表示式.....	10
圖 1-12 PtOEP 結構.....	12
圖 1-13 [Bpt ₂ Ir(acac)] 結構.....	12
圖 1-14 [Os-(bptz) ₂ (PPh ₂ Me) ₂] 結構.....	12
圖 1-15 主發光體－客發光體系統之三重態能階分佈及其主要機構.....	14
圖 1-16 M. A. Baldo 等人所發表的主發光體－客發光體系統及其三重態能階分佈.....	14
圖 1-17 Förster energy transfer 之能量轉移機構.....	15

圖 1-18	Dexter energy transfer 之能量轉移機構.....	16
圖 1-19	(A) DPVSBF 之化學結構.....	17
圖 1-19	(B) TPVSBF 之化學結構.....	18
圖 2-1	Jablonski energy diagram.....	21
圖 2-2	TCSPC 的工作原理.....	22
圖 2-3	多次累計訊號後重建螢光波形.....	23
圖 2-4	Fluo Time 200 儀器配置圖.....	23
圖 2-5	TCSPC 模組之訊號擷取及計時程序.....	25
圖 2-6	主動鎖模的示意圖.....	27
圖 2-7	被動式鎖模示意圖.....	28
圖 2-8	克爾透鏡鎖模的脈衝壓縮機制：光束之幾何圖形.....	30
圖 2-9	克爾透鏡鎖模的脈衝壓縮機制的光束橫切面示意圖：(a)狹縫打開，沒有任何的損耗或鎖模，輸出為連續波(cw)；(b)調整狹縫以達成鎖模，輸出為飛秒脈衝.....	29
圖 2-10	(A) 不同波長的電磁波通過介質時，所對應的折射率 n 值不同	29
圖 2-10	(B) 群速度色散的補償.....	30
圖 2-11	Model 900-D Mira 儀器配置圖.....	31
圖 2-12	脈衝選擇器示意圖.....	32
圖 2-13	自相干儀工作原理示意圖.....	33
圖 2-14	自相干儀儀器配置圖.....	34
圖 2-15	(A) LDH-P-C 375 的儀器相關函數。此時雷射光源平均功率為 130 mW，脈衝重複頻率為 40 MHz，半高寬 50 ps；(B) LDH-P-C 400 的儀器相關函數。此時雷射光源平均功率為 130 mW，脈衝重複頻率為 40 MHz，半高寬為 54 ps.....	35
圖 2-16	當輸入鑑別器的訊號低於一特定門檻的電壓高度時，則被分數式時間鑑別器視為雜訊去除.....	36

圖 2-17	將輸入的訊號分成兩部分，並將其一反轉並延遲一時間後進行加總。將電壓值為零的時間作為原始脈衝的到達時間.....	37
圖 2-18	TAC 之充電模式示意圖.....	38
圖 2-19	TAC 偵測單一光子的計時機制.....	39
圖 2-20	Hitachi F-4500 螢光光譜儀構造圖.....	41
圖 3-1	在薄膜態下，(A) DPVSBF、DPVSBF+ 2% Os-R 及 (B) TPVSBF、TPVSBF+ 2% Os-R 的吸收及螢光光譜，其中以實線表示的 A 代表吸收光譜，以虛線表示的 F 與 P 則分別代表螢光與磷光光譜。測量螢光光譜所使用的激發波長皆為 375 nm，試樣皆以真空蒸鍍於透明石英片上.....	46
圖 3-2	雙原子分子之 S_0 及 S_1 能態的位能簡易圖	
圖 3-3	(A) DPVSBF、DPVSBF+ 2% Os-R, (B) TPVSBF、TPVSBF+ 2% Os-R 薄膜的 excitation scan 光譜圖.....	48
圖 3-4	(A) DPVSBF 及 (B) DPVSBF+ 2% Os-R 薄膜的放射光譜積分及高斯函數擬合示意圖。其中藍色部分是 DPVSBF 所放的螢光，紅色部分是 Os-R 所放的磷光。Inset 為各個高斯擬合項.....	51
圖 3-4	(C) TPVSBF 及 (D) TPVSBF+ 2% Os-R 薄膜的放射光譜積分及高斯函數擬合示意圖。其中藍色部分是 TPVSBF 所放的螢光，紅色部分是 Os-R 所放的磷光。Inset 為各個高斯擬合項.....	52
圖 3-5	(A) DPVSBF 與 (B) DPVSBF+ 2% Os-R 薄膜之時間解析螢光光譜圖。激發波長為 375 nm，偵測波長為 450 nm。圓圈為實驗值，實線為 FluoFit 擬合結果。儀器相關函數(解析度)各為 43 ps 與 34 ps。綠、粉紅色線各代表擬合之分量的貢獻.....	56
圖 3-6	(A) TPVSBF 與 (B) TVSBF+ 2% Os-R 薄膜之時間解析螢光光譜圖。激發波長為 375 nm，偵測波長為 500 nm。圓圈為實驗值，實線為擬合結果。藍色線為儀器相關函數，各是 40 ps 與 41 ps。綠、粉紅色線各代表擬合之分量的貢獻.....	57
圖 3-7	(A) DPVSBF 與 DVSBF+ 2% Os-R 薄膜與 (B) TPVSBF 與 TVSBF+ 2% Os-R 之時間解析螢光光譜圖。激發波長皆為 375 nm。方框與圓圈為實驗值，實線為擬合結果。此圖為圖 3-5、圖 3-6 的合併比較圖.....	58

圖 3-8	激發態主體與基態客體之光譜重合圖。其中 D* 為 DPVSBF (dot) 與 TPVSBF (dash) 之螢光光譜，A 為 2% Os-R/PMMA 之吸收光譜，J 為光譜重合面積.....	61
圖 3-9	PMMA (灰) 及 2% Os-R/PMMA (黑) 薄膜之吸收 (實線) 及放射 (虛線) 光譜。激發波長皆為 375 nm.....	67
圖 3-10	2% Os-R/PMMA 薄膜之吸收 (黑實線) 及放射光譜 (黑虛線)，其吸收光譜已扣除掉空白試片 PMMA 之吸收；紅色曲線為以複合高斯函數對吸收光譜做擬合的結果.....	68
圖 3-11	(A) Pure Os-R 與 (B) 2% Os-R/PMMA 薄膜的瞬態螢光光譜圖。激發波長皆為 375 nm，偵測波長為 600 nm，解析度皆約 1.1 ns。 (A)、(B) 各由真空蒸鍍和旋轉塗佈於石英片上製成.....	71
圖 3-12	Pure PMMA (粉紅) 與 2% Os-R/PMMA (黑) 之薄膜的瞬態螢光光譜圖。激發波長皆為 375 nm，偵測波長為 600 nm，脈衝頻率為 500 MHz。解析度各為 44 ps 與 40 ps。兩者皆由旋轉塗佈於石英片上製成.....	72
圖 3-13	2% Os-R/PMMA 薄膜的瞬態螢光光譜圖。激發波長 420 nm，偵測波長為 600 nm，脈衝頻率為 10 kHz，解析度為 12 ns。兩者皆由旋轉塗佈於石英片上製成。紅色圓圈為原始數據，黑色線為擬合結果，藍、褐、粉紅線各代表擬合之分量的貢獻.....	73
圖 3-14	(A) 2% Os-R /PMMA (B) DPVSBF+ 2% Os-R (C) DPVSBF+ 2% Os-R 薄膜的瞬態螢光光譜圖。激發波長皆為 375 nm，偵測波長皆為 600 nm.....	74
圖 3-15	(A) DPVSBF+2% Os-R，(B) TPVSBF+ 2% Os-R 薄膜的瞬態螢光光譜圖。圓圈與方框為實驗值，實線為 FluoFit 擬合值。激發波長皆為 375 nm，偵測波長分別為 450、500 nm 及 600 nm.....	75
圖 3-16	DPVSBF、TPVSBF 與 Os-R 之能階關係圖，其中 Os-R 之 T_1 來自穩態光譜中 Os-R 之磷光位置，其餘數值皆由理論計算所得.....	79
圖 3-17	DPVSBF、TPVSBF 與 Os-R 之 T_1-S_0 能差值示意圖.....	80
圖 3-18	DPVSBF+ 2% Os-R、TPVSBF+ 2% Os-R 薄膜之電激發光 (EL) 及光激發光 (PL) 之比較圖.....	80

圖 4-1	(A) DPA 結構、(B) ANDP 結構.....	81
圖 4-1	(C) ANTP 結構.....	82
圖 4-2	溶在環己烷中之 DPA 溶液的吸收 (A) 與螢光 (F) 光譜。測量螢光光譜所使用的激發波長為 375 nm，DPA 濃度為 $5 \times 10^{-6} \text{M}$	83
圖 4-3	(A) 1,1,2-triphenylethene；(B) tetraphenylethene.....	84
圖 4-4	扭曲的 π 鍵之 (a) orbital，(b) orbital configuration，(c) state correlation 圖	85
圖 4-5	trans-stilbene；cis-stilbene	85
圖 4-6	溶在環己烷中的 ANDP 與 ANTP 之吸收 (A，實線) 與螢光 (F，虛線) 光譜，以及 DPA 之吸收光譜 (藍色實線)。激發波長為 375 nm，樣品濃度為 $5 \times 10^{-6} \text{M}$	87
圖 4-7	溶在環己烷中的 ANDP 與 ANTP 樣品之 excitation scan 光譜。樣品濃度為 $5 \times 10^{-6} \text{M}$	90
圖 4-8	ANDP 與 ANTP 在 (A) 溶液狀態下，濃度為 $5 \times 10^{-6} \text{M}$ ；(B) 薄膜狀態下之吸收與螢光光譜.....	91
圖 4-9	ANDP 與 ANTP 薄膜樣品之 excitation scan 光譜.....	92
圖 4-10	溶於環己烷中 $5 \times 10^{-6} \text{M}$ 之 (A) ANDP 與 (B) ANTP 之時間-解析螢光光譜圖。激發波長皆為 375 nm。圓圈為實驗值，黑實線為擬合結果。綠線為擬合值與實驗值之誤差 (Residual)。藍線為 IRF 代表儀器相關函數 (解析度)，在此約為 91 ps.....	94
圖 4-11	(A) ANDP 與 (B) ANTP 薄膜之時間-解析螢光光譜圖。激發波長皆為 375 nm，觀測波長皆為 450 nm。儀器相關函數之半高寬約為 60 ps.....	96
圖 4-12	溶液態下，ANDP 與 ANTP 的簡易能階分佈圖、內轉換機制。其中藍色與紅色橫線各為單重態與三重態能階位置，激發波長皆為 375 nm.....	101

附 錄 目 錄

	頁次
圖 1 (A) DPVSBF 與 (B) TPVSBF 各摻混 2% Os-R 的薄膜試樣之的瞬態螢光光譜圖。激發波長 375 nm，偵測波長分別為 450 nm (圓圈)、600 nm (方塊)、650 nm (三角形)。儀器相關函數約為 31~33 ps。幾何標記為實驗值，實線為 Scientist 平行模型擬合結果.....	104
圖 2 DPVSBF加入重量比 2~10% Os-R之 THF溶液 ($C_M=4.7\times 10^{-6}M$) 的瞬態螢光光譜圖。激發波長為 375 nm，偵測波長為 450 nm，圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit擬合結果，藍實線為 IRF.....	105
圖 3 ANDP之環己烷溶液 ($C_M=5\times 10^{-6}M$) 的瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 420 nm、(B) 450 nm、(C) 460 nm、(D) 480 nm、(E) 500 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 375 nm.....	106
圖 4 ANDP之環己烷溶液 ($C_M=5\times 10^{-6}M$) 的瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 520 nm、(B) 540 nm、(C) 560 nm、(D) 580 nm、(E) 600 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 375 nm.....	107
圖 5 ANTP之環己烷溶液 ($C_M=5\times 10^{-6}M$) 的瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 420 nm、(B) 450 nm、(C) 460 nm、(D) 480 nm、(E) 500 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 375 nm.....	108
圖 6 ANTP之環己烷溶液 ($C_M=5\times 10^{-6}M$) 的瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 520 nm、(B) 540 nm、(C) 560 nm、(D) 580 nm、(E) 600 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 375 nm.....	109
圖 7 ANDP 薄膜之瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 450 nm、(B) 460 nm、(C) 480 nm、(D) 500 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 375 nm.....	110

圖 8	ANDP 薄膜之瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 520 nm、(B) 540 nm、(C) 560 nm、(D) 580 nm、(E) 600 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit 擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 375 nm.....	111
圖 9	ANTP 薄膜之瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 450 nm、(B) 460 nm、(C) 480 nm、(D) 500 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit 擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 375 nm.....	112
圖 10	ANTP 薄膜之瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 520 nm、(B) 540 nm、(C) 560 nm、(D) 580 nm、(E) 600 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit 擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 375 nm.....	113
圖 11	ANDP之環己烷溶液 ($C_M=5\times 10^{-6}M$) 的瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 420 nm、(B) 450 nm、(C) 460 nm、(D) 480 nm、(E) 500 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 405 nm.....	114
圖 12	ANDP之環己烷溶液 ($C_M=5\times 10^{-6}M$) 的瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 520 nm、(B) 540 nm、(C) 560 nm、(D) 580 nm、(E) 600 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 405 nm.....	115
圖 13	ANTP之環己烷溶液 ($C_M=5\times 10^{-6}M$) 的瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 420 nm、(B) 450 nm、(C) 460 nm、(D) 480 nm、(E) 500 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 405 nm.....	116
圖 14	ANTP之環己烷溶液 ($C_M=5\times 10^{-6}M$) 的瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 520 nm、(B) 540 nm、(C) 560 nm、(D) 580 nm、(E) 600 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 405 nm.....	117
圖 15	ANDP 薄膜之瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 450 nm、(B) 460 nm、(C) 480 nm、(D) 500 nm、(E) 520 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit 擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 405 nm....	118
圖 16	ANDP 薄膜之瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 540 nm、(B) 560 nm、(C) 580 nm、(D)600 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit 擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 405 nm.....	119

圖 17 ANTP 薄膜之瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 450 nm、(B) 460 nm、(C) 480 nm、(D) 500 nm、(E) 520 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit 擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 405 nm.... 120

圖 18 ANTP 薄膜之瞬態螢光光譜圖。偵測波長分別為：(A) 540 nm、(B) 560 nm、(C) 580 nm、(D) 600 nm。圓圈為實驗值，黑實線為 FluoFit 擬合結果，藍實線為 IRF，激發波長為 405 nm..... 121

