

目 錄

	頁次
中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
誌謝.....	iv
目錄.....	v
表目錄.....	viii
圖目錄.....	x
附錄目錄.....	xviii
第一章、緒論.....	1
1-1 紫質分子的自我組裝.....	1
1-2 紫質的分子間作用力.....	3
1-3 紫質的聚集形式.....	6
1-3-1 H-聚集.....	6
1-3-2 J-聚集.....	8
1-3-3 分子之激子偶和模型.....	11
1-4 氧化鋁奈米材料的應用.....	13
1-5 本論文的研究.....	14
第二章、實驗技術.....	16
2-1 時間相關單光子計數系統.....	16
2-2 電子元件.....	19
2-2-1 分數式時間鑑別器.....	19

2-2-2	時間-振幅轉換器.....	19
2-2-3	類比-數位轉換器.....	21
2-2-4	多頻道分析儀.....	21
2-2-5	可調節式延遲器.....	21
2-2-6	雙光柵光譜儀.....	21
2-3	雷射光源.....	22
2-4	時間-解析螢光非等向性光譜技術.....	22
2-5	紫外-可見光光譜儀.....	25
2-5-1	電荷偶和裝置.....	26
2-6	螢光光譜儀.....	27
2-7	資料分析.....	27
2-8	樣品處理.....	28
2-8-1	氧化鋁奈米管的製成.....	29
		
第三章、紫質在有機溶液中及陽極氧化鋁奈米環境下的光譜及動力學		32
3-1	ZnPP 在 THF 溶液中之吸收及螢光光譜.....	32
3-2	ZnPP 在 THF 溶液中之 S_1 激發態生命期.....	38
3-3	ZnPP 在 AAO 奈米管內之聚集行為.....	43
3-3-1	ZnPP / AAO 的靜態吸收及螢光光譜.....	46
3-3-2	ZnPP / AAO 的瞬態螢光光譜及其激發態動力學.....	50
3-3-3	浸泡時間的影響.....	57
第四章、紫質在不同 pH 值水溶液中及與脫輔基肌紅蛋白結合下的光譜及動力學		63
4-1	樣品配置.....	64

4-2	ZnPP 在不同 pH 值下之吸收及螢光光譜.....	65
4-3	ZnPP 在不同 pH 值下之 S_1 激發態生命期.....	69
4-4	ZnPP-Mb 錯合物之吸收及螢光光譜.....	74
4-5	ZnPP-Mb 錯合物之瞬態螢光光譜.....	77
4-6	ZnPP-Mb 錯合物的時間—解析螢光非等向性動力學.....	80
第五章、結論.....		83
附錄.....		84



表 目 錄

	頁次
表 3-1	ZnPP / THF 溶液在不同濃度下之螢光光譜以高斯函數擬合的結果..... 37
表 3-2	ZnPP / THF 溶液中的螢光瞬態光譜，在不同濃度條件之動力學擬合結果 41
表 3-3	ZnPP / THF 溶液中的螢光瞬態光譜之動力學擬合結果..... 43
表 3-4	ZnPP / AAO 不同孔徑大小之螢光光譜以高斯函數擬合的結果..... 50
表 3-5	ZnPP在AAO奈米管內($C_i = 4.8 \times 10^{-6} \text{ M}$ ，AAO 奈米管 $d = 15 \text{ nm}$ ，浸泡時間為 48 小時。)螢光瞬態光譜之動力學擬合結果..... 53
表 3-6	ZnPP在AAO奈米管內($C_i = 4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$ ，AAO 奈米管 $d = 15 \text{ nm}$ ，浸泡時間為 48 小時。)螢光瞬態光譜之動力學擬合結果..... 53
表 3-7	ZnPP在AAO奈米管內($C_i = 4.8 \times 10^{-4} \text{ M}$ ，AAO 奈米管 $d = 15 \text{ nm}$ ，浸泡時間為 48 小時。)螢光瞬態光譜之動力學擬合結果..... 53
表 3-8	ZnPP在AAO奈米管內($C_i = 4.8 \times 10^{-6} \text{ M}$ ，AAO 奈米管 $d = 70 \text{ nm}$ ，浸泡時間為 48 小時。)螢光瞬態光譜之動力學擬合結果..... 54
表 3-9	ZnPP在AAO奈米管內($C_i = 4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$ ，AAO 奈米管 $d = 70 \text{ nm}$ ，浸泡時間為 48 小時。)螢光瞬態光譜之動力學擬合結果..... 54
表 3-10	ZnPP在AAO奈米管內($C_i = 4.8 \times 10^{-4} \text{ M}$ ，AAO 奈米管 $d = 70 \text{ nm}$ ，浸泡時間為 48 小時。)螢光瞬態光譜之動力學擬合結果..... 54
表 3-11	ZnPP在AAO奈米管內(浸泡時間：30 分鐘)螢光瞬態光譜之動力學擬合結果。 $(C_i = 4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$ ， $d = 15 \text{ nm})$ 60
表 3-12	ZnPP在AAO奈米管內(浸泡時間：3 小時)螢光瞬態光譜之動力學擬合結果。 $(C_i = 4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$ ， $d = 15 \text{ nm})$ 60

表 3-13	ZnPP在AAO奈米管內(浸泡時間：12 小時)螢光瞬態光譜之動力學擬合結果。 $(C_i = 4.8 \times 10^{-5} \text{ M}, d = 15 \text{ nm})$	60
表 3-14	ZnPP在AAO奈米管內(浸泡時間：48 小時)螢光瞬態光譜之動力學擬合結果。 $(C_i = 4.8 \times 10^{-5} \text{ M}, d = 15 \text{ nm})$	61
表 4-1	ZnPP 在鹼性環境中之螢光光譜以高斯函數擬合的結果.....	69
表 4-2	ZnPP 在 pH= 10 溶液下的螢光瞬態光譜之動力學擬合結果.....	72
表 4-3	ZnPP 在 pH= 12 溶液下的螢光瞬態光譜之動力學擬合結果.....	72
表 4-4	ZnPP 在緩衝溶液下之螢光光譜以高斯函數擬合的結果.....	77
表 4-5	ZnPP-Mb 在緩衝溶液下螢光瞬態光譜之動力學擬合結果.....	77



圖 目 錄

	頁次
圖 1-1	Protoporphyrin (IX) Zinc (II) 之結構圖。..... 2
圖 1-2	ZnPP 利用酸基和金的表面形成化學鍵之示意圖。..... 3
圖 1-3	紫質—紫質大環之間的作用力示意圖。..... 4
圖 1-4	Protoporphyrin (IX)的結構圖。..... 5
圖 1-5	兩側親水性紫質的雙體結構。..... 5
圖 1-6	H ₂ PP之(A)吸收光譜、(B) RLS光譜及(C)螢光光譜。 實線、點線及虛線分別為在 pH=1、4.8 及 12 之實驗條件下所得之結果。 7
圖 1-7	H ₂ PP 形成H型雙體的分子模型。..... 7
圖 1-8	H ₂ PP 形成聚集的分子模型。..... 8
圖 1-9	四個芳香基取代的紫質結構。..... 9
圖 1-10	吸收光譜。 (A)為TPPH ₂ ，(B)為TPyPH ₂ ，(C)為TMPyH ₂ ，(D)為TCPPh ₂ ，(E)為 TSPPh ₂ ，實線為沒有加三氟醋酸，虛線為加了 10%的三氟醋酸。..... 9
圖 1-11	螢光光譜。(A)為TPPH ₂ ，(B)為TPyPH ₂ ，(C)為TMPyH ₂ ，(D)為TCPPh ₂ ， (E)為TSPPh ₂ ，實線為沒有加三氟醋酸，虛線為加了 10%的三氟醋酸。 (A)、(B)、(C)實線之激發波長分別為 414nm、413nm、421nm；虛線為 433nm、400nm、441nm。(D)圖中實線及標示為a之激發波長為 439nm， 標示為b之激發波長為 467nm。(E)圖實線及標示為a之激發波長為 432nm，標示為b之激發波長為 490nm。..... 10
圖 1-12	可能的 J-聚集之分子模型。..... 10

圖 1-13	(A)強型偶和之光譜示意圖，(B)中型偶和之光譜示意圖，(C) 弱型偶和之光譜示意圖。.....	12
圖 1-14	躍遷偶極力矩同向的排列方式。.....	12
圖 1-15	恆躍遷偶極力矩不同向的排列方式。.....	13
圖 1-16	激子偶和模型所預測的雙體在不同排列方式下之能階圖。.....	13
圖 2-1	TCSPC 的工作原理。.....	17
圖 2-2	Fluo Time 200 儀器配置圖。.....	17
圖 2-3	TCSPC 模組之訊號擷取及計時程序。.....	18
圖 2-4	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。.....	19
圖 2-5	TAC 偵測單一光子的計時機制.....	20
圖 2-6	(A) LDH-P-C 400 (B) LDH-P-C 435 的儀器相關函數。脈衝重複頻率為 40 MHz，半高寬為 80 ps。.....	22
圖 2-7	測量螢光非等向性光譜之實驗示意圖。.....	24
圖 2-8	反射式吸收光譜之儀器裝置圖。.....	25
圖 2-9	CCD 之內部結構示意圖。.....	27
圖 2-10	AAO 試片之製成流程圖。.....	30
圖 2-11	AAO 試片在製備過程中的 SEM 圖，過程分別是：(1)做完第一次陽極處理之試片表面，所使用的電解液分別為(a)硫酸及(d)草酸；(2)利用化學蝕刻法除去 AAO 後之試片表面，所使用的溶劑分別為(b)磷酸及(e)鉻酸；(3)做完第二次陽極處理之 AAO 試片表面，AAO 奈米管孔徑之平均大小分別為(c) 15 nm (f) 70 nm。.....	31

圖 2-12	<p>經過兩次陽極處理及擴孔後所完成之 AAO 試片的 SEM 圖，插圖為 AAO 奈米管的深度，AAO 奈米管之孔徑大小分別為(a) 15 nm 及(b) 70 nm，AAO 奈米管孔徑之平均大小分別為(a) 74.5 μm 及(b) 51.1 μm。</p>	31
圖 3-1	<p>ZnPP 在 THF 溶液中，不同濃度下的吸收光譜。(其中 $4.8 \times 10^{-4} \text{ M}$ 及 $4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$ 的光譜使用 1mm 的樣品槽測得，而 $4.8 \times 10^{-6} \text{ M}$ 及 $4.8 \times 10^{-7} \text{ M}$ 的光譜由 1cm 的樣品槽測得。)</p>	33
圖 3-2	<p>ZnPP 在 THF 溶液中，不同濃度下的歸一化螢光光譜。插圖為溶液濃度 $4.8 \times 10^{-4} \text{ M}$ 及 $4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$ 未歸一化的螢光光譜光譜。激發波長為 405 nm。(其中 $4.8 \times 10^{-4} \text{ M}$ 及 $4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$ 的光譜使用 1mm 的樣品槽測得，而 $4.8 \times 10^{-6} \text{ M}$ 及 $4.8 \times 10^{-7} \text{ M}$ 的光譜由 1cm 的樣品槽測得。)</p>	33
圖 3-3	<p>ZnPP 在 THF 溶液中，不同濃度下的歸一化螢光光譜。插圖為溶液濃度 $4.8 \times 10^{-4} \text{ M}$ 及 $4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$ 未歸一化的螢光光譜光譜。激發波長為 435 nm。(其中 $4.8 \times 10^{-4} \text{ M}$ 及 $4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$ 的光譜使用 1mm 的樣品槽測得，而 $4.8 \times 10^{-6} \text{ M}$ 及 $4.8 \times 10^{-7} \text{ M}$ 的光譜由 1cm 的樣品槽測得。)</p>	34
圖 3-4	<p>ZnPP 在 THF 溶液中的螢光光譜，經由高斯函數擬合的結果，紅色線為實驗值，黑色線為擬合結果，藍色線為單體，桃紅色線為雙體，紫色線為聚集體。激發波長為 405 nm。溶液濃度分別為：(A) $4.8 \times 10^{-7} \text{ M}$ (B) $4.8 \times 10^{-6} \text{ M}$ (C) $4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$ (D) $4.8 \times 10^{-4} \text{ M}$。</p>	35
圖 3-5	<p>ZnPP 在 THF 溶液中的螢光光譜，經由高斯函數擬合的結果，紅色線為實驗值，黑色線為擬合結果，藍色線為單體，桃紅色線為雙體，綠色線及紫色線為聚集體。激發波長為 435 nm。溶液濃度分別為：(A) $4.8 \times 10^{-7} \text{ M}$ (B) $4.8 \times 10^{-6} \text{ M}$ (C) $4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$ (D) $4.8 \times 10^{-4} \text{ M}$。</p>	36

圖 3-6	ZnPP在THF溶液中的螢光瞬態光譜，偵測波長分別為：(A)590 nm (B)610 nm (C)650 nm (D)670 nm。圈圈為實驗值，黑線為擬合結果，藍色線為 τ_1 的模擬結果，綠色線為 τ_2 的模擬結果。激發波長為435 nm，濃度為 $4.8 \times 10^{-6} M$ 。.....	39
圖 3-7	ZnPP 在 THF 溶液中，不同濃度的螢光瞬態光譜，偵測波長分別為：(A) 590 nm (B) 610 nm (C) 650 nm (D) 670 nm。激發波長為435 nm。.....	40
圖 3-8	ZnPP在THF溶液中的螢光瞬態光譜，偵測波長分別為：(A)590 nm (B)610 nm (C)650 nm (D)670 nm。圈圈為實驗值，黑線為擬合結果，藍色線為 τ_1 的模擬結果，綠色線為 τ_2 的模擬結果。激發波長為405 nm，濃度為 $4.8 \times 10^{-6} M$ 。.....	42
圖 3-9	ZnOEP 之結構圖。.....	43
圖 3-10	圖 3-10 ZnPP及ZnOEP在氧化鋁奈米管內之反射式吸收光譜。(A)圖為反射率；(B)圖為 $\Delta R/R$ 光譜。實驗條件如下：AAO奈米管的平均孔徑大小為15nm，浸泡溶液濃度為 $4.8 \times 10^{-5} M$ ，浸泡時間為3小時).....	44
圖 3-11	ZnPP 在不同製備條件的試片之反射光譜。製備條件分別為：以超音波震盪器洗過再以 $550^\circ C$ 熱處理過後之鋁片(A-1，紅色線)、接前一步驟後進行拋光及熱處理並通氧氣以生成氧化鋁塊材(A-2，綠色線)、接著前步驟後再長AAO 15分鐘後，以化學蝕刻法除去AAO 20分鐘(A-3，暗紅色線)及接著前面步驟後，除去AAO 60分鐘(A-4，藍色線)。實驗條件如下：浸泡溶液濃度為 $4.8 \times 10^{-5} M$ ，浸泡時間為30分鐘。.....	45

圖 3-12	<p>ZnPP在AAO奈米管內之反射式吸收光譜：(A)圖為反射能量光譜；(B)圖為反射率光譜；(C)圖為$\Delta R/R$光譜。浸泡溶液的濃度說明如下：紅色為 $4.8 \times 10^{-6} \text{ M}$，綠色線為 $4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$，藍色線為 $4.8 \times 10^{-4} \text{ M}$。黑線為光源的能量光譜，虛線為AAO空白片，淺藍色線為ZnPP/THF溶液，插圖為波長範圍 300~590 nm的放大圖。實驗條件如下：AAO奈米管的平均孔徑大小為 15 nm，浸泡時間為 48 小時。.....</p>	46
圖 3-13	<p>ZnPP在AAO奈米管內之反射式吸收光譜：(A)圖為反射能量光譜；(B)圖為反射率光譜；(C)圖為$\Delta R/R$光譜。浸泡溶液的濃度說明如下：紅色為 $4.8 \times 10^{-6} \text{ M}$，綠色線為 $4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$，藍色線為 $4.8 \times 10^{-4} \text{ M}$。黑線為光源的能量光譜，虛線為AAO空白片，淺藍色線為ZnPP/THF溶液，插圖為波長範圍 300~590 nm的放大圖。實驗條件如下：AAO奈米管的平均孔徑大小為 70 nm，浸泡時間為 48 小時。.....</p>	47
圖 3-14	<p>ZnPP 在氧化鋁奈米管內之螢光光譜經由高斯函數擬合的結果。 紅色線為實驗值，黑色線為擬合的結果，藍色線為單體，桃紅色線為雙體，綠色線及紫色線為較低階的聚集體 (lower aggregates)，暗紅色線為較高階的聚集體 (higher aggregates)。所使用之激發波長為 435 nm。...</p>	49
圖 3-15	<p>ZnPP在不同環境之螢光瞬態光譜。三角形為ZnPP / THF溶液、圓圈為ZnPP / AAO奈米管d =15nm，以及方塊為ZnPP / AAO奈米管d =70nm，插圖為時間軸在 0.5 ns以內之放大圖，綠色虛線為雷射。浸泡溶液濃度分別為：(A) $4.8 \times 10^{-6} \text{ M}$ (B) $4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$ (C) $4.8 \times 10^{-4} \text{ M}$。激發波長為 435 nm，偵測波長為 670 nm。.....</p>	52
圖 3-16	<p>ZnPP / THF 溶液在 545 nm 之吸收度對濃度的關係圖。.....</p>	55
圖 3-17	<p>浸泡奈米管後所測得 ZnPP / THF 溶液之吸收光譜。 (浸泡前之ZnPP / THF溶液濃度為 $4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$，其吸收度達飽和，浸泡時間為 48 小時，樣品槽寬度為 1cm).....</p>	56

圖 3-18	ZnPP在AAO奈米管內之反射式吸收光譜：(A)圖為反射能量光譜；(B)圖為反射率光譜；(C)圖為 $\Delta R/R$ 光譜。AAO奈米管的浸泡時間說明如下：紅色線為30分鐘，綠色線為3小時，藍色線為12小時，紫色線為48小時。黑線為光源的能量光譜，虛線為AAO空白片，淺藍色線為ZnPP/THF溶液，插圖為波長範圍300~590 nm的放大圖。實驗條件如下：AAO奈米管的平均孔徑大小為15 nm，浸泡溶液濃度為 $4.8 \times 10^{-5} M$ 。	58
圖 3-19	ZnPP在AAO奈米管內之螢光光譜。AAO奈米管的浸泡時間說明如下：紅色線為30分鐘，綠色線為3小時，藍色線為12小時，紫色線為48小時。激發波長為435 nm。	58
圖 3-20	ZnPP在氧化鋁奈米管內之瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 610 nm (B) 650 nm (C) 690 nm (D) 710 nm。AAO奈米管浸泡時間說明如下：紅色線為30分鐘，綠色線為3小時，藍色線為12小時，紫色線為48小時。所使用之激發波長為435 nm。	59
圖 3-21	在AAO奈米管浸泡不同時間後所測得 ZnPP/THF 溶液之吸收光譜。0 min 表示浸泡前之 ZnPP/THF 溶液，樣品槽寬度為1 mm。	61
圖 3-22	ZnPP/AAO (d = 15 nm)在不同浸泡時間條件下之 SEM 圖。浸泡時間說明如下：(A)30分鐘；(B)3小時；(C)12小時；(D)48小時。	62
圖 4-1	(A) 肌紅蛋白(myoglobin)之結構圖。 ^[1] 其中A-H表示8個 α -螺旋體(α -helix)的片段。(B) 原血紅素(Heme)之結構圖。	63
圖 4-2	三種修飾肌紅蛋白的方法之示意圖。	64
圖 4-3	H ₂ PP在不同pH值溶液條件下之(A)吸收光譜及(B)螢光光譜。溶液之pH值分別為：pH=1(桃紅色線)、pH=4(藍色線)及pH=12(綠色線)，激發波長為435 nm，光譜以1cm的樣品槽測得。	66

- ZnPP 在不同 pH 值溶液條件下之(A)吸收光譜及(B)螢光光譜。
- 圖 4-4 溶液之 pH 值分別為：pH= 1 (暗紅色線)、pH= 4 (桃紅色線)、pH= 7 (藍色線)、pH= 10 (橘色線)及 pH= 12 (綠色線)，虛線表示 ZnPP/THF 溶液。激發波長為 435 nm，光譜以 1cm 的樣品槽測得。..... 67
- ZnPP 在鹼性環境下的螢光光譜，經由高斯函數擬合的結果，溶液之 pH 值分別為：(A) pH=10 及(B) pH= 12。紅色線為實驗值，黑色線為擬合結果，藍色線為單體，桃紅色線為雙體，綠色線及紫色線為聚集體。...
- 圖 4-5 68
- ZnPP在pH = 10 溶液下的螢光瞬態光譜，偵測波長分別為：(A) 590 nm (B) 610 nm (C) 630 nm (D)670 nm。圈圈為實驗值，黑線為擬合結果，藍色線為 τ_1 的模擬結果，綠色線為 τ_2 的模擬結果。激發波長為 435 nm。
- 圖 4-6 70
- ZnPP在pH = 12 溶液下的螢光瞬態光譜，偵測波長分別為：(A) 590 nm (B) 610 nm (C) 630 nm (D)670 nm。圈圈為實驗值，黑線為擬合結果，藍色線為 τ_1 的模擬結果，綠色線為 τ_2 的模擬結果。激發波長為 435 nm。
- 圖 4-7 71
- ZnPP 在 pH = 1 (A 圖)、pH = 4 (B 圖)及 pH = 7 (C 圖)溶液下的螢光瞬態光譜，激發波長為 435 nm，偵測波長為 660 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。.....
- 圖 4-8 73
- ZnPP 在三種不同環境下之吸收光譜，這些環境分別為：ZnPP/THF 溶液(黑色線)、ZnPP-Mb / buffer 溶液(紅色線)以及 ZnPP / buffer (藍色線)。
- 圖 4-9 74
- ZnPP 在三種不同環境下之螢光光譜，這些環境分別為：ZnPP / THF 溶液(黑色線)、ZnPP-Mb / buffer 溶液(紅色線)以及 ZnPP / buffer (藍色線)。激發波長為 435 nm。.....
- 圖 4-10 75

圖 4-11	ZnPP 在緩衝溶液下的螢光光譜以高斯函數擬合的結果。(A)圖為 ZnPP / buffer 溶液，(B)圖為 ZnPP-Mb / buffer 溶液，紅色線為實驗值，黑色線為擬合的結果，藍色線為單體，桃紅色線為雙體，綠色線及紫色線為聚集體。.....	76
圖 4-12	ZnPP-Mb在緩衝液下的螢光瞬態光譜，偵測波長分別為：(A) 590 nm (B) 630 nm (C) 670 nm (D)710 nm。圈圈為實驗值，黑線為擬合結果，藍色線為 τ_1 的模擬結果，綠色線為 τ_2 的模擬結果。激發波長為 435 nm。....	78
圖 4-13	ZnPP-Mb在緩衝液下之重建螢光光譜，藍線為模擬 τ_1 所得，紅線為模擬所得。插圖為模擬 τ_1 所得之重建光譜。.....	79
圖 4-14(A)	ZnPP-Mb / buffer 之不同偏極方向的螢光瞬態光譜，右上角插圖為其時—解析螢光非等向性光譜。黑線為實驗值，紅線為擬合的結果，綠線為實驗值與擬合值的差。激發波長為 435 nm，偵測波長為 590 nm。.....	81
圖 4-14(B)	ZnPP-Mb / buffer 之不同偏極方向的螢光瞬態光譜，右上角插圖為 G 值。激發波長為 435 nm，偵測波長為 590 nm。.....	81
圖 4-15(A)	ZnPP / THF 之不同偏極方向的螢光瞬態光譜，右上角插圖為其時間—解析螢光非等向性光譜。黑線為實驗值，紅線為擬合的結果，綠線為實驗值與擬合值的差。激發波長為 435 nm，偵測波長為 590 nm。.....	82
圖 4-15(B)	ZnPP / THF 之不同偏極方向的螢光瞬態光譜，右上角插圖為 G 值。激發波長為 435 nm，偵測波長為 590 nm。.....	82

附 錄 目 錄

頁次

- 圖 1 ZnPP / THF溶液($C_M = 4.8 \times 10^{-4}$ M)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 580 nm、(B) 590 nm、(C) 610 nm、(D) 630 nm、(E) 650 nm、(F) 670 nm及(G) 690 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。 84
- 圖 2 ZnPP / THF溶液($C_M = 4.8 \times 10^{-5}$ M)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 580 nm、(B) 590 nm、(C) 610 nm、(D) 630 nm、(E) 650 nm、(F) 670 nm及(G) 690 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。 85
- 圖 3 ZnPP / THF溶液($C_M = 4.8 \times 10^{-6}$ M)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 580 nm、(B) 590 nm、(C) 610 nm、(D) 630 nm、(E) 650 nm、(F) 670 nm及(G) 690 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。 86
- 圖 4 ZnPP / THF溶液($C_M = 4.8 \times 10^{-6}$ M)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 590 nm、(B) 610 nm、(C) 630 nm、(D) 650 nm、(E) 670 nm及(F) 690 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 405 nm。..... 87
- 圖 5 ZnPP / AAO ($C_i = 4.8 \times 10^{-6}$ M, $d = 15$ nm, $T_i = 48$ hrs)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 610 nm、(B) 630 nm、(C) 650 nm、(D) 670 nm、(E) 690 nm、(F) 710 nm、(G) 730 nm及(H) 750 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。..... 88

圖 6	ZnPP / AAO ($C_i = 4.8 \times 10^{-5}$ M, $d = 15$ nm, $T_i = 48$ hrs)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 610 nm、(B) 630 nm、(C) 650 nm、(D) 670 nm、(E) 690 nm、(F) 710 nm、(G) 730 nm及(H) 750 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。.....	89
圖 7	ZnPP / AAO ($C_i = 4.8 \times 10^{-4}$ M, $d = 15$ nm, $T_i = 48$ hrs)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 610 nm、(B) 630 nm、(C) 650 nm、(D) 670 nm、(E) 690 nm及(F) 710 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。.....	90
圖 8	ZnPP / AAO ($C_i = 4.8 \times 10^{-6}$ M, $d = 70$ nm, $T_i = 48$ hrs)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 610 nm、(B) 630 nm、(C) 650 nm、(D) 670 nm、(E) 690 nm、(F) 710 nm、(G) 730 nm及(H) 750 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。.....	91
圖 9	ZnPP / AAO ($C_i = 4.8 \times 10^{-5}$ M, $d = 70$ nm, $T_i = 48$ hrs)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 610 nm、(B) 630 nm、(C) 650 nm、(D) 670 nm、(E) 690 nm、(F) 710 nm及(G) 730 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。.....	92
圖 10	ZnPP / AAO ($C_i = 4.8 \times 10^{-4}$ M, $d = 70$ nm, $T_i = 48$ hrs)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 610 nm、(B) 630 nm、(C) 650 nm、(D) 670 nm、(E) 690 nm、(F) 710 nm及(G) 730 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。.....	93

圖 11	ZnPP / AAO ($C_i = 4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$, $d = 15 \text{ nm}$, $T_i = 30 \text{ min}$)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 610 nm、(B) 630 nm、(C) 650 nm、(D) 670 nm、(E) 690 nm、(F) 710 nm、(G) 730 nm及(H) 750 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。.....	94
圖 12	ZnPP / AAO ($C_i = 4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$, $d = 15 \text{ nm}$, $T_i = 3 \text{ hrs}$)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 610 nm、(B) 630 nm、(C) 650 nm、(D) 670 nm、(E) 690 nm、(F) 710 nm、(G) 730 nm及(H) 750 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。.....	95
圖 13	ZnPP / AAO ($C_i = 4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$, $d = 15 \text{ nm}$, $T_i = 12 \text{ hrs}$)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 610 nm、(B) 630 nm、(C) 650 nm、(D) 670 nm、(E) 690 nm、(F) 710 nm、(G) 730 nm及(H) 750 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。.....	96
圖 14	ZnPP / AAO ($C_i = 4.8 \times 10^{-5} \text{ M}$, $d = 15 \text{ nm}$, $T_i = 48 \text{ hrs}$)之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 610 nm、(B) 630 nm、(C) 650 nm、(D) 670 nm、(E) 690 nm、(F) 710 nm及(G) 730 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。.....	97
圖 15	ZnPP-Mb /buffer 之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(A) 580 nm、(B) 590 nm、(C) 610 nm、(D) 630 nm 及(E) 650 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。.....	98
圖 16	ZnPP-Mb /buffer 之螢光瞬態光譜。偵測波長分別為：(F) 670 nm、(G) 690 nm、(H) 710 nm、(I) 730 nm、(J) 750 nm 及(K) 770 nm。圈圈為實驗值，實線為擬合結果。激發波長為 435 nm。.....	99