

超分枝聚芴及聚噻吩高分子之合成及其在分子電激發光元件上之應用

學生：林 芳

指導教授：許千樹 博士

國立交通大學
應用化學研究所碩士班

摘要

本研究主要利用超枝化聚合法(Hyperbranch Polymerization)合成得到超分枝聚芴及聚噻吩高分子，並以不同聚合條件得到一系列不同分子量的聚芴高分子(hb-PF-3 ~ hb-PF-8)，探討分子量對其熱穩定性及發光特性的影響。採用氯化鉬(TaCl_5)催化的超枝化聚合反應，配合適當的單體、催化劑濃度及聚合時間，可成功地合成得到超高分子量($M_w = 12,000 \sim 346,000$)的超分枝聚芴高分子。所有的高分子則透過傅立葉紅外光光譜儀、凝膠滲透層析儀、熱重分析儀、微差掃描卡計、螢光光譜儀及電激發光實驗作為其定性上的分析。我們利用 $^1\text{H-NMR}$ 光譜及理論計算的方式，可以導出分枝代數(G)和分子量之間的關係，並經由計算得到各超分枝聚芴高分子的分枝度(DB)大約分佈在 32 ~ 68 % 之間，可得知超分枝聚芴高分子末端分枝的程度。

本系列聚芴高分子於薄膜態的螢光放射波形分佈很廣，最大放射峰值約分佈在 415~540 nm 之間，光色幾乎涵蓋整個可見光區，薄膜態的螢光量子效率則在 16 ~ 58 %。

元件部分採用了兩種元件架構，分別為ITO/PEDOT/Polymer/Ca/Al (單層元件) 和 ITO/PEDOT/Polymer/TPBI/Ca/Al (雙層元件)。在電激發光的光色表現上，**hb-PF-3 ~ hb-PF-8** 的光色為藍光偏白或是黃綠光偏白，與其螢光光譜相當的類似，所有元件所呈現的光色和螢光放射光譜一樣幾乎為白光，最大放射波長的分佈相當地寬廣。在單層元件的表現上，**hb-PF-7** 在 18 V 達最大亮度 107.3 cd/m^2 ，最大效率為 0.03 cd/A。而雙層元件方面，因為導入TPBI作為電子傳輸層，進一步提高了元件的效率，以**hb-PF-5** 和**hb-PF-4** 為例，最大效率分別從 0 增至 0.13 cd/A及 0.02 cd/A，相較於單層元件來說，導入TPBI的確具有提升元件效率的效果。

本研究另外也利用兩種超枝化聚合法及速配接合反應得到超分枝聚噻吩 **hb-PT-1**、**hb-PT-2**，並利用 Yamamoto 耦合法所得之聚芴高分子 poly(9,9-dioctylfluorene) (POF) 作為主體發光材料，而以 **hb-PT-1** 及 **hb-PT-2** 做為客體發光材料，藉由混摻的方式分別製作成元件，並經由能量轉移的機制，成功地將原本 **POF** 的藍光轉移為黃光。

POF 的電激發光為藍光，最大放射波長為 440 nm，而混摻後的 **hb-PT-1** 及 **hb-PT-2** 則發出黃光，最大放射波長為 548 nm 及 540 nm。

在元件的表現上，**POF** 在 9 V 達最大亮度 590 cd/m^2 ，最大效率為 1.11 cd/A ；**hb-PT-2** 在 21 V 達最大亮度 192 cd/m^2 ，最大效率則為 0.38 cd/A 。



Synthesis of Hyperbranched Polyfluorene and Polythiophene for the Applications of Polymer Light Emitting Diodes

Student : Fang Lin

Adviser : Dr. Chain-Shu Hsu

Department of Applied Chemistry
National Chiao Tung University

Abstract

This study is aimed to synthesize hyperbranched polyfluorene and polythiophene via hyperbranch polymerization. We use the different synthetic conditions to obtain various molecular weight of hyperbranched polyfluorene (hb-PF-3 ~ hb-PF-8), and discuss the effect of molecular weight on thermal properties and luminescent characters. Very high molecular weight hb-PF was successfully synthesized by hyperbranch polymerization, using TaCl_5 as the catalyst, with appropriate monomer, catalytic concentration and reaction time. All hb-PF were characterized by using Fourier transform infrared spectrometer (FT-IR), gel permeation chromatography (GPC), thermal gravimetric analyzer (TGA), differential scanning calorimeter (DSC), photoluminescence spectrophotometer (PL), and electroluminescent (EL) spectroscopy. We can obtain the relationship between the branched generation (G) and molecular weight by $^1\text{H-NMR}$ spectra and theoretic calculation, and find the degree of branch (DB) that are around 32 ~ 68 %. DB can tell us how the hb-PF is growing during the hyperbranch polymerization.

The PL of hb-PF-3 ~ hb-PF-8 emit broadly at around 415 ~ 540 nm when they are in the film state. The PL emitting light almost cover the whole visible-light region. The PL quantum yield is about 16 ~ 58 % when they are in the film state.

Here, we use two different device architectures, one is ITO/PEDOT/Polymer/Ca/Al (single-layer device), and the other is ITO/PEDOT/Polymer/TPBI/Ca/Al (double-layer device). **Hb-PF-3 ~ hb-PF-8** emit bluefish-white light or yellow-greenish white light, as the performance of PL emission, the EL is nearly white and broad. In the single-layer device, **hb-PF-7** show a maximum brightness of 107.3 cd/m² at 18V and a maximum efficiency of 0.03 cd/A. Otherwise, in the double-layer device, we add TPBI as the electron-transporting layer to improve the efficiency of device. Take **hb-PF-5** and **hb-PF-4** for example, the maximum efficiency are improved from 0 to 0.13 cd/A and 0.02 cd/A. Compared to single-layer, TPBI definitely has the better ability to increase the efficiency of device.

We also synthesized the hyperbranched polythiophene, hb-PT-1 and hb-PT-2 via the hyperbranch polymerization and click reaction, then used poly(9,9-dioctylfluorene) (POF) preparing from Yamamoto Coupling as the host, with hb-PT-1 and hb-PT-2 as the guest to make device by blending. The EL light of **POF** was successfully shifted from blue to yellow due to the energy transfer from hb-PT-1, hb-PT-2 to POF.

The EL of **POF** is blue, emitting at 440 nm .The EL of **hb-PT-1** and **hb-PT-2** are yellow, emitting at 548 nm and 540 nm.

POF show a maximum brightness of 590 cd/m^2 at 9 V and a maximum efficiency of 1.11 cd/A . **Hb-PT-2** show a maximum brightness of 192 cd/m^2 at 21 V and a maximum efficiency of 0.38 cd/A .



謝 誌

本論文在師長們的關懷教導、摯友與同學們的相互砥礪、家人的鼓勵支持，以及自我的堅持期許之下得以順利完成。這段日子的所有苦樂與經驗都將繼續陪伴著我，前往下一個旅程，相信這些點滴都會成為我未來生活的美好回憶。

首先要感謝指導教授許千樹老師，對於我這兩年的教誨與指導，從我大學專題時期一直到碩士班的這段時間之內，給予我充沛的實驗資源，以及在實驗方面的提點與叮嚀，都讓學生受益匪淺。同時也要感謝口試委員黃華宗教授以及鄭彥如助理教授，對於論文內容的提問和指正，使得本論文得以更充實完整。

再者，我要感謝實驗室的所有學長們，感謝 Robby 和大楠一直以來的照顧和幫忙，每每在我遭遇問題的時候都能給予我最大的協助和指導，我真的很慶幸可以結識你們兩個這麼罩的學長，祝福你們在學業上可以有很好的成就，生活也充實愉快。感謝勝雄對於我在實驗上的指導，讓我受益匪淺，你嚴謹的處事態度和自我要求，都是值得我好好學習與追求的。感謝小百長久以來的關心和實驗方面的教導，尤其你給予剛進入研究生涯的我最直接的鼓勵和信心，與你分享所有心事和點滴，都讓我由衷的感動和感激，你亦兄亦友的角色，著實替我不順遂的研究生活注入極大的動力和溫暖。而在我最苦悶的時候，小明哥給予我精神上最大的鼓勵以及實驗上最直接的幫助，讓我萬分的感謝，也是在這段時間裡和你有比較多的接觸，覺得你是一個體貼又照顧晚輩的好學長，祝福你未來的研究生活多采多姿、健康快樂。

我還要感謝智文哥對於我在元件製作上的協助和指導，和你聊過之後我也比較可以確定自己的方向，祝福你就業之路順利、生活愉快充實。感謝小毛和小施平日貼心的關懷與照顧，因為有你們的陪伴，

實驗生活也顯得更有活力，增添了不少歡笑，希望你們可以早日順利畢業；尤其小毛你對於實驗的熱忱和對於生活樂觀的態度，是我非常肯定和敬佩的。我也要感謝晉彥、敏碩和君豪學長給予我在實驗上的指導和幫助，祝福你們一切順利、平安快樂。還有已經畢業的黃軍浩、宋建宏以及龔亮仁學長，謝謝你們對於我在合成上的指正協助，讓我在後來的實驗生涯中，可以有能力解決所有的困難，謝謝你們！

研究生活多半是苦澀的，但由於有同學的相互鼓勵與扶持，才能堅持到收割的時刻。感謝小 P、彧群和 Tina 與我一同努力，讓我感受到實驗室的溫暖和可愛，祝你們在未來都能有很好的發展，心靈富足且快樂。還要感謝學弟妹們的加入，使沉悶的實驗步調，也可以變得輕鬆有朝氣。謝謝天心一直以來的鼓勵和打氣，是我在實驗室最貼心的加油站。秋翔的認真和努力，相信一定可以很快有好結果的，祝福你實驗順利成功。謝謝大砲(吳仁棋)學弟給予我 click 的支援，期待你成為實驗室的 Click 小天王。也祝福承叡和光輝在學業上可以順利、充實愉快。另外還有碩一的學弟妹，亭芝和佳佑都是很率真又可愛的學弟妹，祝福你們實驗可以一帆風順，研究生活精采、開心愉快。也祝福佩蓉、韋誠、宗憲、明鴻、士榮及 Martin 學長，在實驗上都能有很好的表現。還有要特別向實驗室助理小燕及欣怡致謝，多虧妳們的提醒和協助，才讓許多事務能夠順利完成，非常感謝妳們！

感謝所有鼓勵和幫助過我的朋友。特別要感謝我的摯友—香安和星年，真多虧你們一直以來的鼓勵安慰，才讓我有繼續努力的力量；謝謝敏慈、小柳、阿昆、Frank、恩楨、云琦和湯湯的關心和幫忙。最後要謝謝我的家人，你們在背後的支持關懷是我堅持的最大動力。也要感謝我最親愛的寶貝，包容我、陪我度過所有的低潮，有你真好！

謹以此論文獻給所有我愛的以及關愛我的人 ~

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	IV
謝誌.....	VII
目錄.....	IX
合成目錄.....	XII
表目錄.....	XIII
圖目錄.....	XIV
附圖目錄.....	XVIII
 第一章 緒論.....	 1
1.1 有機電激發光簡介.....	1
1.1.1 有機電激發光的起源.....	1
1.1.2 電激發光原理與高分子發光二極體.....	3
1.1.2.1 電激發光原理.....	3
1.1.2.2 電極的選擇.....	6
1.1.2.2.1 陽極 (Anode).....	6
1.1.2.2.2 陰極 (Cathode).....	6
1.1.2.3 發光層 (Emitting layer, EML).....	8
1.1.2.3.1 小分子系統(OLED)元件要件介紹.....	9
1.1.2.4 能階理論.....	13

1.1.2.5 雙層與多層結構之元件介紹.....	14
1.1.2.6 高分子發光二極體材料簡介.....	16
1.2 聚芴及聚噻吩高分子材料.....	17
1.2.1 聚芴的發展及性質介紹.....	17
1.2.2 效率最佳的藍、綠、紅聚芴材料.....	20
1.2.3 聚噻吩的發展及性質介紹.....	21
1.2.4 聚噻吩的合成.....	23
1.2.5 速配接合反應 (Click Reaction).....	24
1.2.6 超枝化聚合法 (Hyperbranch Polymerization).....	28
1.3 研究動機.....	31
第二章 實驗部份.....	34
2.1 試藥.....	34
2.2 儀器.....	34
2.3 合成部分.....	37
2.3.1 單體 M1 ~ M4 的合成.....	37
2.3.2 超分枝聚芴高分子的合成.....	44
2.3.3 利用超枝化聚合反應合成超分枝聚噻吩.....	45
2.3.4. 利用速配接合聚合反應合成超分枝聚噻吩.....	46

第三章 結果與討論.....	52
3.1 單體 M1~M4 之合成與討論.....	52
3.2 超分枝聚芴高分子(hb-PF)之合成討論.....	53
3.3 超分枝聚噻吩(hb-PT-1)之合成討論-超枝化聚合法.....	59
3.4 超分枝聚噻吩(hb-PT-2)之合成討論-速配接合反應.....	61
3.5 高分子分子量鑑定.....	64
3.6 高分子熱性質分析.....	64
3.7 電化學性質.....	67
3.8 光學性質.....	74
3.8.1 溶劑及薄膜態的 UV-vis 以及 PL 光譜.....	74
3.8.2 螢光量子效率之量測.....	75
3.9 有機電激發光二極體件製作與光電性質量測.....	83
3.9.1 ITO 圖形化製作.....	83
3.9.2 發光元件的結構.....	84
3.9.3 元件光電性質討論.....	86
第四章 結論.....	96
第五章 附圖.....	98
第六章 參考文獻.....	154

合 成 目 錄

Scheme 1.	單體 M1 的合成途徑.....	46
Scheme 2.	超分枝聚芴高分子(hb-PF)的聚合途徑.....	47
Scheme 3.	單體 M2 的合成途徑.....	48
Scheme 4.	以超枝化聚合法合成超分枝聚噻吩(hb-PT-1).....	49
Scheme 5.	單體 M3 及 M4 的合成途徑.....	50
Scheme 6.	以速配接合反應合成超分枝聚噻吩(hb-PT-2).....	51



表 目 錄

表 1-1	陰極金屬及 ITO 的功函數值.....	7
表 1-2	四種不同的金屬在 PPV 元件中做為傳輸電子的發光效率值..	8
表 2-1	超枝化聚芴高分子的聚合條件一覽表.....	45
表 3-1	超枝化聚芴高分子的聚合結果及分子量一覽表.....	54
表 3-2	理想超分枝聚芴高分子之 Generation 與 Proton 數目推導表..	57
表 3-3	理想超分枝聚芴高分子之 Generation 與分子量關係推導表..	58
表 3-4	超分枝聚芴高分子的分子量分佈和熱性質.....	65
表 3-5	超分枝聚噻吩的分子量分布和熱性質.....	67
表 3-6	超分枝聚芴高分子的電化學性質.....	68
表 3-7	超分枝聚噻吩的電化學性質.....	72
表 3-8	超分枝聚芴高分子的 UV 吸收及 PL 放射光譜值.....	76
表 3-9	超分枝聚噻吩的 UV 吸收、PL 放射光譜值.....	82
表 3-10	超分枝聚芴高分子的電激發光特性.....	88
表 3-11	POF 及 hb-PT-1 blend、 hb-PT-2 blend 的電激發光特性.....	93

圖 目 錄

圖 1-1	電激發光元件示意圖.....	2
圖 1-2	PVK 以及 PPV 分子的結構示意圖.....	3
圖 1-3	能量轉移示意圖.....	5
圖 1-4	單層電激發光元件示意圖.....	5
圖 1-5	電子由陰極注入，電洞由陽極注入，兩者於發光層再結合而放光.....	6
圖 1-6	OLED 元件中常見主發光體化學結構.....	9
圖 1-7	OLED 元件中常見客發光體化學結構.....	10
圖 1-8	混摻系統的主體-客體之能量傳遞示意圖.....	10
圖 1-9	Förster 及 Dexter 能量轉移機制.....	11
圖 1-10	OLED 元件中常見電子傳輸材料化學結構.....	12
圖 1-11	OLED 元件中常見電洞傳輸材料化學結構.....	12
圖 1-12	雙層結構的 OLED 發光元件.....	15
圖 1-13	三層結構的 OLED 發光元件.....	15
圖 1-14	PPV 及其衍生物的化學結構以及光色範圍圖.....	16
圖 1-15	芴(fluorene)分子示意圖.....	18
圖 1-16	Yamamoto 耦合法.....	19
圖 1-17	Suzuki 耦合法.....	19

圖 1-18	藍光發光體.....	20
圖 1-19	藍光發光體.....	20
圖 1-20	綠光發光體.....	21
圖 1-21	紅光發光體.....	21
圖 1-22	噻吩(thiophene)及其衍生物的化學結構以及光色範圍圖....	22
圖 1-23	鈴木耦合法(Suzuki coupling)氧化還原機制.....	23
圖 1-24	利用 Grignard coupling 合成聚噻吩高分子的機制.....	24
圖 1-25	Azide 的環化加成反應.....	26
圖 1-26	Cu(I)-catalysed 1,3-dipolar 的環化加成聚合反應.....	26
圖 1-27	其他 non-azide 進行 1,3-dipolar cycloaddition 的例子.....	27
圖 1-28	Alkyne 環三聚合法(cyclotrimerization)的反應機制.....	29
圖 1-29	[2+2+2]環化加成(cycloaddition)的反應機制.....	29
圖 1-30	雙炔烴(diyne)環化加成(cycloaddition)的反應機制.....	30
圖 1-31	Aryl ethynyl ketone 進行 1,3,5-cyclotrimerization 的反應機制.....	31
圖 1-32	Arylene 進行 diyne polycyclotrimerization 的反應機制.....	31
圖 1-33	Nonmetallic base-catalyzed 超枝化聚合法.....	32
圖 1-34	Cu(I)-catalyzed 1,3-dipolar 速配接合環化加成聚合法.....	33
圖 3-1	超分枝聚芴高分子(hb-PF-8)的 TGA 圖.....	66
圖 3-2	超分枝聚芴高分子(hb-PF-3)的 CV 圖.....	69

圖 3-3 超分枝聚芴高分子(hb-PF-4)的 CV 圖.....	69
圖 3-4 超分枝聚芴高分子(hb-PF-5)的 CV 圖.....	70
圖 3-5 超分枝聚芴高分子(hb-PF-6)的 CV 圖.....	70
圖 3-6 超分枝聚芴高分子(hb-PF-7)的 CV 圖.....	71
圖 3-7 超分枝聚芴高分子(hb-PF-8)的 CV 圖.....	71
圖 3-8 超分枝聚芴高分子的能帶關係圖.....	72
圖 3-9 超分枝聚噻吩 hb-PT-1 的循環伏安計量(CV)圖.....	73
圖 3-10 超分枝聚噻吩 hb-PT-2 的循環伏安計量(CV)圖.....	73
圖 3-11 超分枝聚噻吩的能帶關係圖.....	74
圖 3-12 hb-PF-3 於甲苯溶液及薄膜態的 UV 及 PL 光譜圖.....	78
圖 3-13 hb-PF-4 於甲苯溶液及薄膜態的 UV 及 PL 光譜圖.....	78
圖 3-14 hb-PF-5 於甲苯溶液及薄膜態的 UV 及 PL 光譜圖.....	79
圖 3-15 hb-PF-6 於甲苯溶液及薄膜態的 UV 及 PL 光譜圖.....	79
圖 3-16 hb-PF-7 於甲苯溶液及薄膜態的 UV 及 PL 光譜圖.....	80
圖 3-17 hb-PF-8 於甲苯溶液及薄膜態的 UV 及 PL 光譜圖.....	80
圖 3-18 hb-PF-8 在不同溶液濃度之薄膜態 PL 光譜圖.....	81
圖 3-19 hb-PT-1 於甲苯及薄膜態的 UV 吸收以及 PL 放射光譜圖....	82
圖 3-20 hb-PT-2 於甲苯及薄膜態的 UV 吸收以及 PL 放射光譜圖....	83
圖 3-21 元件結構以及 PEDOT 和 TPBI 的分子結構圖.....	86

圖 3-22	超分枝聚芴高分子之電流密度對電壓圖－單層結構.....	89
圖 3-23	超分枝聚芴高分子之亮度對電壓圖－單層結構.....	89
圖 3-24	超分枝聚芴高分子之效率對電流密度圖－單層結構.....	89
圖 3-25	hb-PF-7 之電激發光光譜圖－單層結構.....	90
圖 3-26	hb-PF-7 之 CIE 色度座標圖－單層結構.....	90
圖 3-27	超分枝聚芴高分子之電流密度對電壓圖－雙層結構.....	91
圖 3-28	超分枝聚芴高分子之亮度對電壓圖－雙層結構.....	91
圖 3-29	超分枝聚芴高分子之效率對電流密度圖－雙層結構.....	91
圖 3-30	hb-PF-7 之電激發光光譜圖－雙層結構.....	92
圖 3-31	hb-PF-7 之 CIE 色度座標圖－雙層結構.....	92
圖 3-32	POF 及 hb-PT-1、hb-PT-2 Blend 電流密度對電壓圖.....	94
圖 3-33	POF 及 hb-PT-1、hb-PT-2 Blend 亮度對電壓圖.....	94
圖 3-34	POF 及 hb-PT-1、hb-PT-2 Blend 效率對電流密度圖.....	94
圖 3-35	POF 及 hb-PT-1、hb-PT-2 Blend 之電激發光光譜圖.....	95
圖 3-36	POF 及 hb-PT-1、hb-PT-2 Blend 之 CIE 色度座標圖.....	95

附圖目錄

附圖 1.	^1H -NMR spectrum of (1).....	98
附圖 2.	^1H -NMR spectrum of (2).....	99
附圖 3.	^1H -NMR spectrum of (3).....	100
附圖 4.	^1H -NMR spectrum of (4).....	101
附圖 5.	^1H -NMR spectrum of (5).....	102
附圖 6.	^1H -NMR spectrum of (6).....	103
附圖 7.	^1H -NMR spectrum of (7).....	104
附圖 8.	^1H -NMR spectrum of (8).....	105
附圖 9.	^1H -NMR spectrum of (9).....	106
附圖 10.	^1H -NMR spectrum of M1.....	107
附圖 11.	^1H -NMR spectrum of M2.....	108
附圖 12.	^1H -NMR spectrum of M3.....	109
附圖 13.	^1H -NMR spectrum of M4.....	110
附圖 14.	^{13}C -NMR spectrum of (1).....	111
附圖 15.	^{13}C -NMR spectrum of (2).....	112
附圖 16.	^{13}C -NMR spectrum of (3).....	113
附圖 17.	^{13}C -NMR spectrum of (4).....	114
附圖 18.	^{13}C -NMR spectrum of (5).....	115

附圖 19.	^{13}C -NMR spectrum of (6).....	116
附圖 20.	^{13}C -NMR spectrum of (7).....	117
附圖 21.	^{13}C -NMR spectrum of (8).....	118
附圖 22.	^{13}C -NMR spectrum of (9).....	119
附圖 23.	^{13}C -NMR spectrum of M1.....	120
附圖 24.	^{13}C -NMR spectrum of M2.....	121
附圖 25.	^{13}C -NMR spectrum of M3.....	122
附圖 26.	^{13}C -NMR spectrum of M4.....	123
附圖 27.	Mass spectrum of (1).....	124
附圖 28.	Mass spectrum of (2).....	125
附圖 29.	Mass spectrum of (3).....	126
附圖 30.	Mass spectrum of (4).....	127
附圖 31.	Mass spectrum of (5).....	128
附圖 32.	Mass spectrum of (6).....	129
附圖 33.	Mass spectrum of (7).....	130
附圖 34.	Mass spectrum of (8).....	131
附圖 35.	Mass spectrum of (9).....	132
附圖 36.	Mass spectrum of M1.....	133
附圖 37.	Mass spectrum of M2.....	134

附圖 38.	Mass spectrum of M3.....	135
附圖 39.	Mass spectrum of M4.....	136
附圖 40.	^1H -NMR spectrum of hb-PF.....	137
附圖 41.	^{13}C -NMR spectrum of hb-PF.....	138
附圖 42.	^1H -NMR spectrum of hb-PT-1.....	139
附圖 43.	^1H -NMR spectrum of hb-PT-2.....	140
附圖 44.	FT-IR spectrum of M1.....	141
附圖 45.	FT-IR spectrum of M2.....	141
附圖 46.	FT-IR spectrum of M3.....	142
附圖 47.	FT-IR spectrum of M4.....	142
附圖 48.	FT-IR spectrum of hb-PF-3.....	143
附圖 49.	FT-IR spectrum of hb-PF-4.....	143
附圖 50.	FT-IR spectrum of hb-PF-5.....	144
附圖 51.	FT-IR spectrum of hb-PF-6.....	144
附圖 52.	FT-IR spectrum of hb-PF-7.....	145
附圖 53.	FT-IR spectrum of hb-PF-8.....	145
附圖 54.	FT-IR spectrum of hb-PT-1.....	146
附圖 55.	FT-IR spectrum of hb-PT-2.....	146
附圖 56.	TGA of hb-PF-3.....	147

附圖 57.	DSC of hb-PF-3.....	147
附圖 58.	TGA of hb-PF-4.....	148
附圖 59.	DSC of hb-PF-4.....	148
附圖 60.	TGA of hb-PF-5.....	149
附圖 61.	DSC of hb-PF-5.....	149
附圖 62.	TGA of hb-PF-6.....	150
附圖 63.	DSC of hb-PF-6.....	150
附圖 64.	TGA of hb-PF-7.....	151
附圖 65.	DSC of hb-PF-7.....	151
附圖 66.	TGA of hb-PF-8.....	152
附圖 67.	DSC of hb-PF-8.....	152
附圖 68.	TGA of hb-PT.....	153
附圖 69.	DSC of hb-PT.....	153

