

東海大學物理系
碩士論文

指導教授：蕭錫鍊 博士

低溫電漿化學氣相沉積在鋁箔上合成氮化
硼奈米片之研究

**Low temperature plasma synthesis of boron
nitride nanosheets thin film on aluminum
foil**

研究生：呂尚耘 撰

中華民國一〇一年七月

東海大學物理學系
碩士論文

低溫電漿化學氣相沉積在鋁箔上合成
氮化硼奈米片之研究

**Low temperature plasma synthesis of boron nitride
nanosheets thin film on aluminum foil**

指導教授：蕭錫鍊 博士

研究生：呂尚耘

中華民國一〇一年七月二十六日

誌謝

可完成此篇論文，我首先要感謝我的指導教授蕭錫鍊老師，一直以來蕭老師總是不厭其煩教導我學習及做人處事上應有的態度和方式，在求學上也一直給予我許多的協助與建議，雖然我經常聽了上句忘了下句搞得老師很無奈，總是念完我一頓之後不厭其煩的再次講解，而且總是能注意我情緒上的異常並關心及溝通以緩和我的情緒，因此本人可以完成碩士學業蕭老師絕對是我首要感謝的人，老師謝謝您。

然後感謝陪我度過這些年的同仁，其中要感謝建翰學長、傑倫學長、冠瑜學長、紀羽學長、勤傑學長在我碩一時讓我適應實驗室的生活而且在畢業之後還時常回來探望我們，更感謝冠瑜學長給予的提點，另外傑倫學長、勤傑學長回來看我口試讓我相當感動，謝謝！接著感謝英儒學長、銘慶學長、宗益學長在碩一碩二兩年教我許多儀器及做人的道理，雖然彼此有許多摩擦但依然感謝學長使我成長，再次感謝銘慶學長教我 SEM 使我受用許多，另外也感謝英儒學長矯正我做實驗應有的態度，希望學長在天之靈好好安息。

還要感謝奕松、正庸、維棟、嘉琪、怡鍵、樂樂、佩玟、士羽、祖齊、坤昇、玟傑、盛吉、宇志、偉綸，謝謝你們在我論文有困難時給我協助及幫忙也陪伴我在實驗室度過無數個夜晚，尤其正庸、祖齊、坤昇、玟傑沒有你們我或許撐不到口試結束，非常的謝謝。

還要感謝中興的郭學長及他的碩班學弟，在口試前一天依然幫我量測樣品，還有簡老師實驗的許同學幫我熬夜量測拉曼光譜。

再來謝謝中原的好兄弟及朋友謝謝你們一路相挺，感謝你們的援助真夠義氣，還其他的朋友謝謝你們，對你們只有一句話有你們真

好。

最後謝謝我的家人，沒有你們扶持我不會有今天，媽謝謝您那時候說：如果累了，就回家吧！還有老爸你跟我說的不管我做甚麼決定家裡一定支持我，讓我知道我不能任性的放棄而辜負你們的全力支持，謝謝！！

中文摘要

本研究目的為低溫的環境下可以大面積合成出六方晶系結構的氮化硼奈米片於可撓式基板上，藉由氮化硼高激子束縛能、多樣的奈米結構、寬能隙等特性，來取代有機發光二極體的有機發光層。

本研究透過超高頻電容偶合式化學氣相沉積系統，外加石英玻璃管以提高電漿密度的方式，在鋁箔上合成氮化硼奈米片，並透過掃描式電子顯微鏡及傅立葉轉換紅外線光譜儀、拉曼光譜儀、光激發螢光光譜，分析並觀察樣品的形貌、結構、及成長情況和發光特性。

本研究用電極距離 1.5cm、製程壓力 0.5torr、氫氣 50sccm、氮氣 50sccm、二硼烷 50sccm、射頻功率 150W 的實驗條件，在單晶矽基板上合成出六方晶系氮化硼奈米片，其薄膜厚度為約為 500nm，且較其他條件具有更大的片狀樣貌，其對應的 FTIR 及 Raman 光譜也有較強的六方晶系氮化硼訊號。因此認為氮化硼奈米片片狀樣貌越大，其六方晶系氮化硼結構越好，另外本研究也成功在鋁箔可撓式基板上合成出六方晶系氮化硼奈米片，但其片狀樣貌沒有比單晶矽基板來的大，原因可能是單晶基板比較有利於六方晶系氮化硼奈米片的沉積。

本研究合成出的六方晶系氮化硼奈米片在光激發螢光光譜分析下，在305nm-395nm的紫外光區有發光特性，但並不是215nm的位子極有可能是其結構缺陷造成的結果。所以本研究合成的六方晶系氮化硼奈米片想應用在遠紫外光發光元件上，其製程方式還需要改良以繼續提高其氮化硼奈米片之結構且不受基板結構影響，這是往後研究上首要解決的問題。

英文摘要

This research is expect to synthesize large area of hexagonal boron nitride on flexible substrate under low temperature , and by using the hexagonal BN which has the property of high exciton binding energy, various nanostructures, and wide band gap to replace the organic light-emitting layer of OLED.

Our experiment was carried out in very high frequency plasma enhanced chemical vapor deposition system with quartz tube enhanced plasma density, synthesized boron nitride nanosheets on aluminum foil. Our research also analyzed the morphology, structure, growth process and Luminescent properties of hexagonal boron nitride nanosheets by SEM, FTIR, Raman and PL spectrum.

Using the experiment conditions of electrode distance 1.5cm, process pressure 0.5torr, Ar 50sccm, N₂ 50sccm, B₂H₆ 50sccm, and RF power 150W, our hexagonal BN nanosheets with thickness 500nm on Si wafer substrate not only get the larger area than other conditions, but also stronger FTIR and Raman spectrum signals. Hence, we think the condition to produce larger morphology of hexagonal BN nanosheets need orderly hexagonal BN structure. Besides, we successfully synthesized hexagonal BN nanosheets on flexible substrate, but the morphology is smaller than the one produced on Si wafer substrate. We think it may attribute to the lattice structure of Si wafer is better for hexagonal BN to deposition.

In this study, our hexagonal BN nanosheets have the property of ultraviolet luminescent with wavelength 305nm to 395nm investigated by PL spectrum. But the peak that reference mentioned was 215nm. We guess the difference with our result is because the structural defects in our

samples. We want to apply our hexagonal BN nanosheets to the application of far ultraviolet light emitting device, but the process needed to be improved to get the better structure of the hexagonal BN nanosheets and without the influence of substrate structure. We think this is the primary problem needed to solve in the future research.

目錄

誌謝	I
中文摘要	III
英文摘要	IV
目錄	VI
圖表目錄	VIII
第一章 緒論	1
1-1 前言.....	1
1-2 六方晶系氮化硼奈米片製程.....	2
1-3 六方晶系氮化硼的光學性質	3
1-4 研究動機及目的.....	5
第二章 儀器與原理	10
2-1 超高射頻電漿輔助化學氣相沉積系統.....	10
2-2 掃描式電子顯微鏡	12
2-3 傅立葉轉換紅外光譜儀	13
2-4 拉曼光譜原理	14
2-5 光激發螢光光譜儀原理.....	14

第三章 實驗方法與步驟	21
3-1 實驗流程.....	21
3-2 實驗設備設計	21
3-3 實驗方向	22
3-4 實驗步驟流程	22
第四章 結果與討論	26
4-1 電極距離對 h-BN 奈米片的樣貌影響	26
4-2 製程壓力對 h-BN 奈米片的樣貌影響	27
4-3 調變製程時間觀察奈米片成長狀況	28
4-4 分析樣品的發光特性及合成於鋁箔可撓式基板上.....	29
第五章 結論	44
參考資料	45

圖表目錄

表 3-1 實驗製程條件參數.....	25
圖 1-1 目前廠商將 OLED 運用在撓式基板上的產品.....	5
圖 1-2 OLED 基本結構.....	6
圖 1-3 顯示多種的氮化硼奈米結構.....	6
圖 1-4 六方晶系氮化硼奈米片的樣貌及 FTIR 光譜分析.....	7
圖 1-5 六方晶系氮化硼奈米片 Raman 光譜圖.....	8
圖 1-6 六方氮化硼薄膜吸收峰值位於 6.2eV.....	8
圖 1-7 室溫下六方晶系氮化硼陰極射線激發螢光光譜.....	9
圖 2-1 電容耦合式電漿系統示意圖.....	16
圖 2-2 電漿輔助化學氣相沉積系統示意圖.....	17
圖 2-3 SEM 主要構造示意圖.....	18
圖 2-4 電子束與試片之作用.....	18
圖 2-5 熱場發射掃描式電子顯微鏡硬體圖.....	19
圖 2-6 本研究所用的傅立葉轉換紅外線光譜儀結構圖.....	19
圖 2-7 干涉儀示意圖.....	20
圖 2-8 光激發螢光光譜儀系統示意圖.....	20

圖 3-1 實驗流程圖.....	23
圖 3-2 VHF PECVD 系統示意圖.....	24
圖 3-3 VHF PECVD 系統實體圖.....	24
圖 3-4 實驗步驟流程的時間對溫度圖.....	25
圖 4-1 電極距離對h-BN 奈米片的樣貌影響(低倍率下的 SEM 圖)..	30
圖 4-2 電極距離對h-BN 奈米片的樣貌影響(高倍率下的 SEM 圖)..	31
圖 4-3 改變電極距樣品系列的 FTIR 分析(700~1000cm ⁻¹).....	32
圖 4-4 改變電極距樣品系列的 FTIR 分析(1150~1800cm ⁻¹).....	32
圖 4-5 改變電極距樣品系列的 Raman 分析(1100~2100cm ⁻¹).....	33
圖 4-6 為製程壓力對h-BN 奈米片的樣貌影響(低倍率下的 SEM 圖)	34
圖 4-7 為製程壓力對h-BN 奈米片的樣貌影響(高倍率下的 SEM 圖)	35
圖 4-8 改變製程壓力樣品系列的 FTIR 分析(700~1000cm ⁻¹).....	36
圖 4-9 改變製程壓力樣品系列的 FTIR 分析(1150~1800cm ⁻¹).....	36
圖 4-10 改變製程壓力樣品系列的 Raman 分析(1100~2100cm ⁻¹)...	37
圖 4-11 調變製程時間觀察奈米片成長狀況(低倍率的 SEM 圖)....	38
圖 4-12 調變製程時間觀察奈米片成長狀況(高倍率的 SEM 圖)...	39
圖 4-13 調變製程時間樣品系列的 FTIR 分析(700~1000cm ⁻¹).....	40
圖 4-14 調變製程時間樣品系列的FTIR分析(1150~1800cm ⁻¹).....	40
圖 4-15 調變製程時間樣品系列的Raman分析(1100~2100cm ⁻¹)....	41

圖 4-16 六方晶系氮化硼奈米片PL 光譜分析.....	42
圖 4-17 在鋁箔可撓式基板沉積六方晶系氮化硼奈米片.....	43
圖 4-18 在單晶矽基板上沉積六方晶系氮化硼奈米片.....	43

第一章

緒論

1-1 前言

新世代的發光元件—有機發光二極體(organic light emitting diode, OLED)是現今當紅發光元件之一，其優點有具平面發光、低耗電量、低生產成本、重量輕等...是一項極富市場潛力的新產品，可應用於手機、及筆記型電腦的螢幕。目前已有廠商將OLED運用在撓式面板上，如圖1-1 目前廠商將OLED運用在撓式基板上的產品，(a)為Sony所研發的可撓式OLED顯示器、(b)為GE和Konica Minolta製作OLED照明、(c)為Samsung在2011所推出的AMOLED顯示器。

由上述可知 OLED 以製作在可撓式基板為現今最主要的優勢之一，雖然 OLED 有許多優點但它也有著有機材料先天上的劣勢如：使用壽命不長(最長約一萬個小時)、熱穩定性不高、與發光效率不高等限制。

因此我們進而想開發一種無機材料，藉由無機材料的長使用壽命、高熱穩定性、與良好的發光效率等先天上的優勢去突破 OLED 有機材料的瓶頸與限制，來取代 OLED 的有機發光層，如圖 1-2 OLED 基本結構圖中的有機發光層。

而現今無機半導體材料中，氮化硼材料它是少數同時具有高激子束縛能、多樣性的奈米結構、直接寬能隙、良好的熱穩定性、高化學穩定性等特性。高激子束縛能的材料在室溫下具有較好的發光效率[1]，而直接能隙有文獻表示在電子電洞對復合的時候，可以減少與晶格間的碰撞形成聲子而造成能量上的損失，使得發光效率變差。另

外寬能隙 5.765eV 大於可見光的能量使六方晶系氮化硼具有發出遠紫外光波段的特性，這項特性有助於白光照明的發展[2,3]。六方晶系氮化硼還具有高熔點(約 2700°C)，以及相當穩定的化學特性，不易與其它元素產生反應，其抗氧化的溫度可高達 900°C [4]，以上敘述六方晶系氮化硼的特性，說明其具備了良好光電性質以做為光伏元件材料的條件。

雖然六方晶系氮化硼具備了做為良好光伏元件材料條件，但既然要取代 OLED 勢必要與 OLED 競爭，故我們所開發的六方晶系氮化硼不但要有無機材料本身的特點還需具備有機材料的能夠在低溫下製程及合成材料的結構不受基板的限制兩項優點。

由於氮化硼為第 III 族和第 V 族元素之化合物，硼元素與氮元素又位於碳元素的兩邊，氮化硼化合後具有與碳元素相似的電子組態，也因此跟碳元素一樣具有多樣性奈米結構，圖 1-3 顯示多種的氮化硼奈米結構[5-8]。

至於在眾多的奈米結構中為什麼選擇奈米片，是因為許多文獻報導與本實驗室過去經驗，要合成單晶六方晶系氮化硼，須在高溫製程 [8]，若想要克服在低溫下製程及合成材料的結構不受基板的限制兩項特點合成單晶六方晶系氮化硼，奈米片是較具可能性的奈米結構。

1-2 六方晶系氮化硼奈米片製程

在研究之前就有許多文獻成功的合成出六方晶系氮化硼奈米片但其製程溫度還是在四百度以上[8,9]，奈米片為二維奈米結構而且垂直於基板表面，因此有助於載子的上下傳輸，又因過去經驗及文獻記載，要不利用金屬觸媒來合成奈米結構前提下，奈米片是較容易被合成出來的[9]。

在之前李姿青學姊成功合成出六方晶系氮化硼奈米片的經驗及現有的PECVD系統，我們選擇了化學氣相沉積來合成六方晶系氮化硼奈米片。由文獻可知在越高的頻率的射頻電源供應器(Radio Frequency, RF)RF，會減少離子的過度轟擊與提高電漿密度，有助於利用電漿輔助化學沉積[10]。另外在Carbon Nanowalls Synthesis and Emerging Applications[11]此文獻中有提到高密度的電漿有助於碳奈米片的沉積，而上述也有提到碳元素及氮化硼的電子組態相似，因此推測高電漿密度也有助於氮化硼的化學氣相沉積；故我們希望利用超高射頻電漿輔助化學氣相沉積系統(Very High Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) VHF PECVD在上下電極外圍加裝石英管以侷限氣體希望在將氣體解離時可以提高上下電極間的電漿密度以便在低溫下容易合成六方晶系氮化硼奈米片。

1-3 六方系氮化硼的光學性質

為了確認本實驗合成出的氮化硼奈米片是否為六方晶系氮化硼結構，因此藉由 FTIR 紅外線吸收光譜分析，以特定峰值位置分析奈米片薄膜中存在的鍵結。根據 Jie Yu 等人在 2010 年所發表的期刊上 [8]，此團隊藉由為波電漿化學氣相沉積法合成出垂直於基板表面的六方晶系氮化硼奈米片，並由 FTIR 光譜量測到典型六方晶系氮化硼 in-plane 及 out-of-plane 的二種晶格振動模式，其峰值分別為 811cm^{-1} 及 1350cm^{-1} 處，如圖 1-4 所示，並且知道六方晶系氮化硼在 Raman 光譜 1366cm^{-1} 有強烈的峰值，圖 1-5 六方晶系氮化硼奈米片 Raman 光譜圖，因此我們知道藉由 FTIR 紅外線吸收光譜分析及 Raman 光譜圖分析，來確認樣品訊號分別是否為 811cm^{-1} 、 1350cm^{-1} 及 1366cm^{-1} 的位子，來判定樣品上六方晶系氮化硼奈米片結構的好壞。

合成出結構較好的六方晶系氮化硼奈米片之後，要再進一步確認其是否有符合我們需求的遠紫外光激發特性，為了探討六方晶系氮化硼的發光特性，藉由光激發螢光譜(Photoluminescence, PL) 以特定能量的波長入射，偵測六方晶系氮化硼奈米片的發光。PL 原理為利用光子入射材料，光子能量被材料吸收將價電帶電子激發至導電帶，形成電子—電洞對或稱為載子，然後載子再以發光形式放出能量，此過程稱為輻射發光復合(radiative recombination)，在光激發螢光譜中，是以特定能量的波長入射，偵測材料發光，得到對應不同波長的發光強度譜圖，去探討材料的發光特性。根據 A. Zunger[12]等人在 1976 年發表，經理論計算結果所得二維的六方氮化硼能帶結構，其能隙大小與溫度關係小於 $4 \times 10^{-5} \text{eV/K}$ 表示溫度對能隙的影響不明顯，認為改變量測時的樣品溫度有助區分是否為能隙發光的可能，而且經吸收實驗量測六方氮化硼薄膜的吸收峰值位於 6.2eV 及波長約 200 多 nm，在室溫的環境下，如圖 1-6 所示。

除了光激發螢光外，另一種常用的激發螢光光譜分析為陰極射線激發螢光(Cathodoluminescence, CL)，而兩者的最大差異在於激發源的不同，PL 使用的是雷射光激發源而 CL 則是陰極發射出來的電子束做為激發源，而電子束的加速電壓約在 5~50keV 之間，藉由加速電子撞擊材料表面來傳遞能量使材料激發螢光，此外 CL 激發電子束的能量可調範圍較大，不像 PL 激發光源具有特定波長分佈，因此常造成選擇性激發。Kenji Watanabe[2]團隊在 2004 年發表文獻，他們在高溫高壓下合成出高純度的六方晶系氮化硼，並用 CL 量測到 215nm 激發光峰值及證明了六方晶系氮化硼是直接能隙的材料，顯示了六方晶系氮化硼具有做為紫外光發光元件材料的條件，圖 1-7 為在室溫下六方晶系氮化硼陰極射線激發螢光光譜，顯示了 215nm 激發光峰值

和 5.971eV 的直接能隙。

1-4 研究動機及目的

為了改善 OLED 有機材料特性先天上的限制，並保留能夠製作在可撓式基板上的特點，進而設計超高射頻電漿輔助化學氣相沉積系統，並藉由高射頻電漿輔助化學氣相沉積系統，希望在低溫製程環境下合成出六方晶系氮化硼奈米片並且具有遠紫外光發光特性。

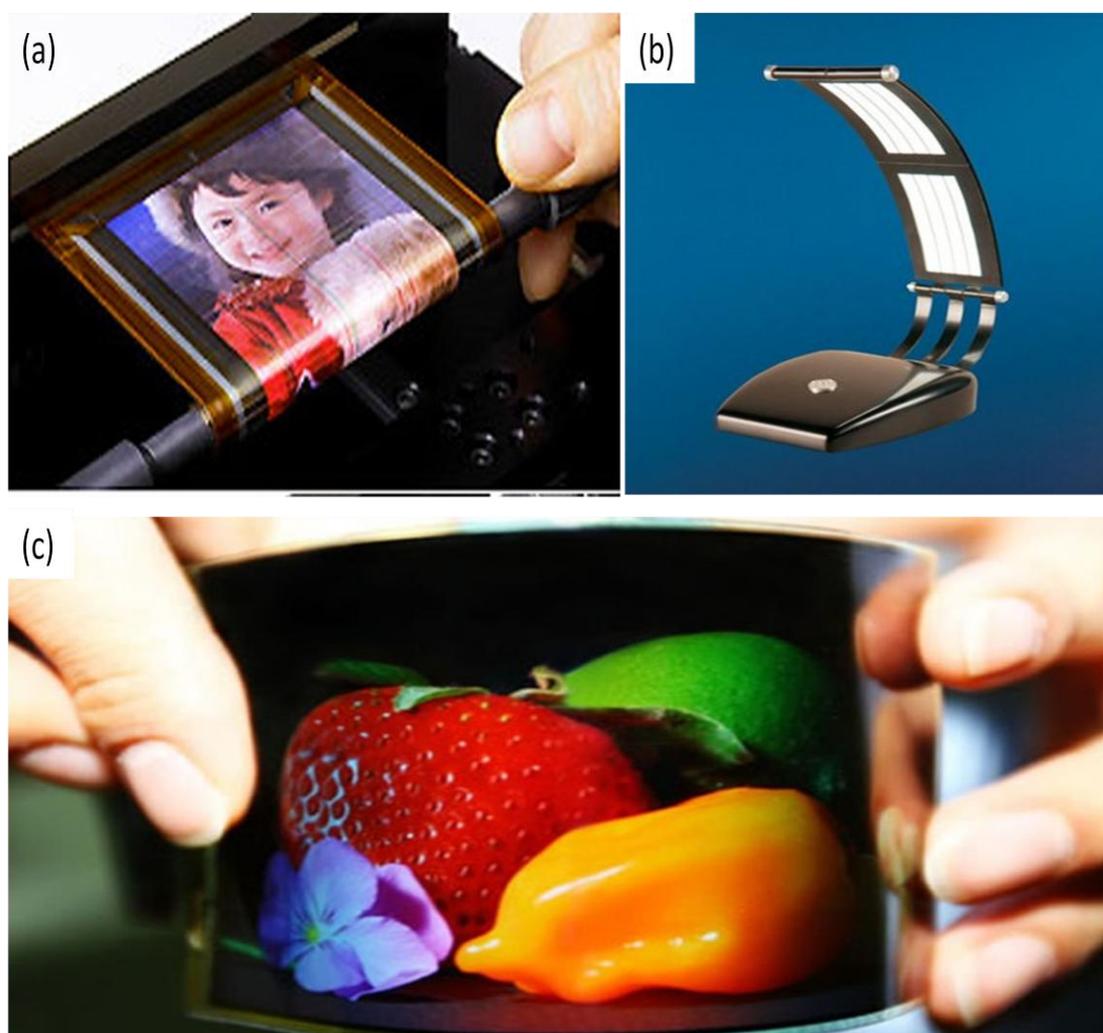


圖1-1 目前廠商將OLED運用在撓式基板上的產品(a)為Sony所研發的可撓式OLED顯示器、(b)為GE和Konica Minolta製作OLED照明、(c)為Samsung在2011所推出的AMOLED顯示器。

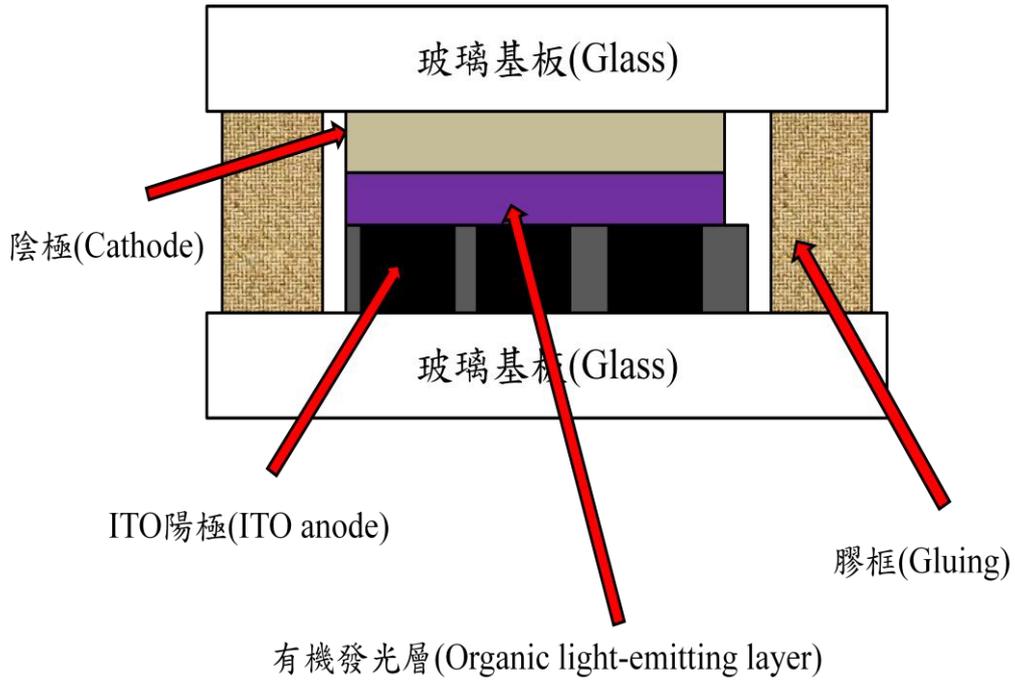


圖 1-2 OLED 基本結構。

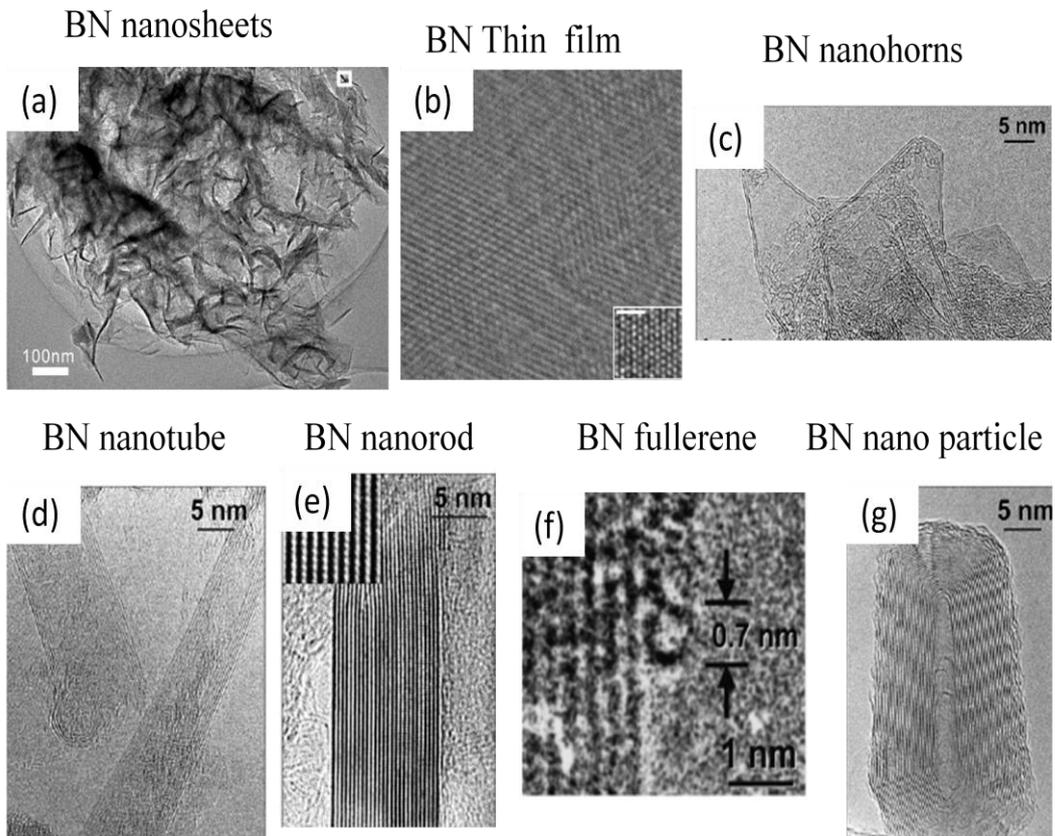


圖 1-3 顯示多種的氮化硼奈米結構(a)氮化硼奈米片、(b)氮化硼薄膜、(c) 氮化硼奈米角、(d) 氮化硼奈米管、(e) 氮化硼奈米棒(f)氮化硼富勒烯(g)氮化硼奈米顆粒。

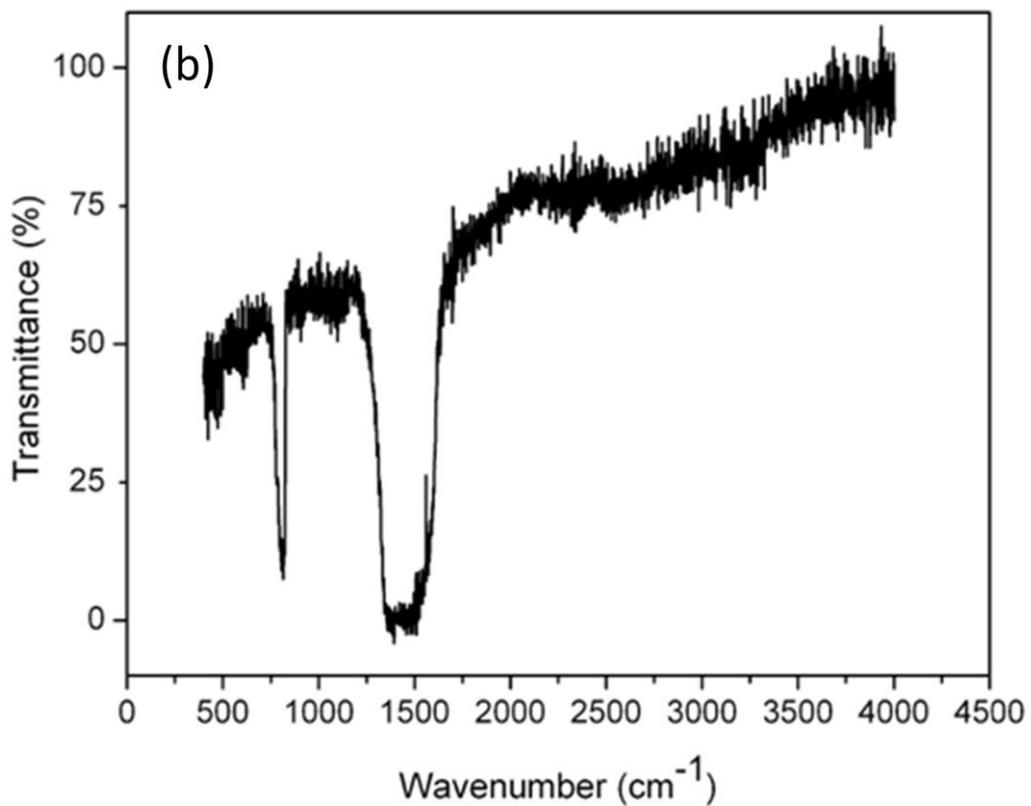
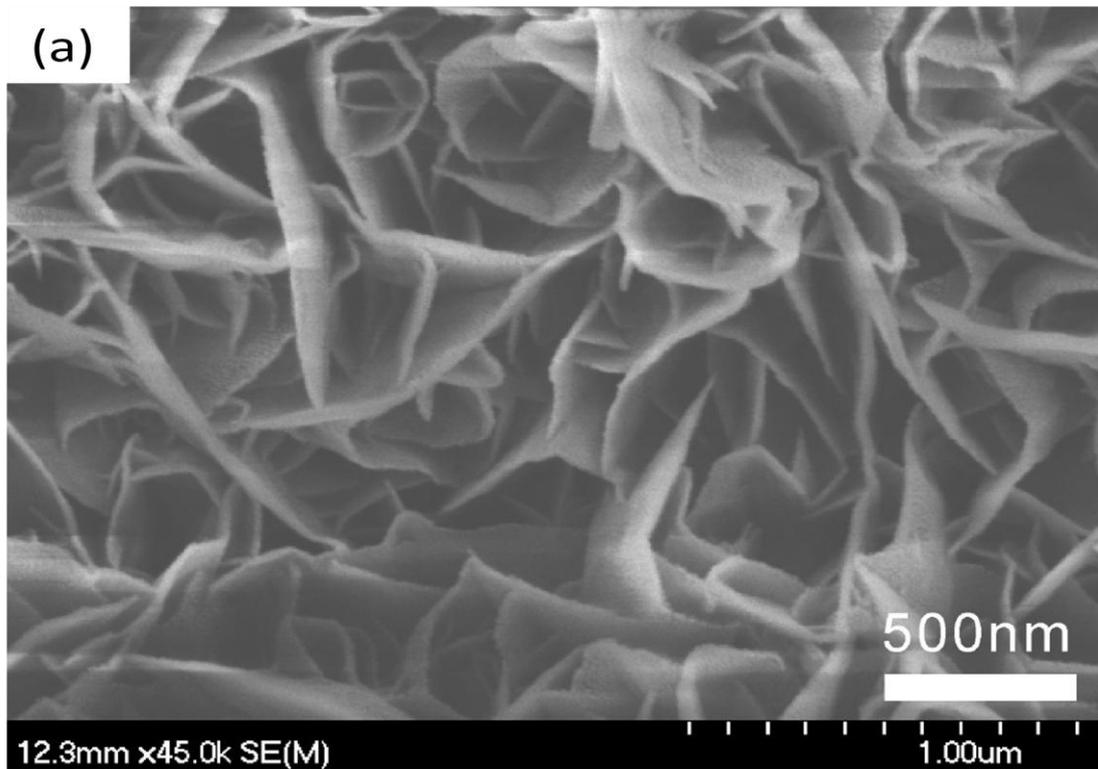


圖 1-4 六方晶系氮化硼奈米片的樣貌及 FTIR 光譜分析(a)六方晶系氮化硼奈米片的樣貌(b)六方晶系氮化硼奈米片 FTIR 光譜分析。

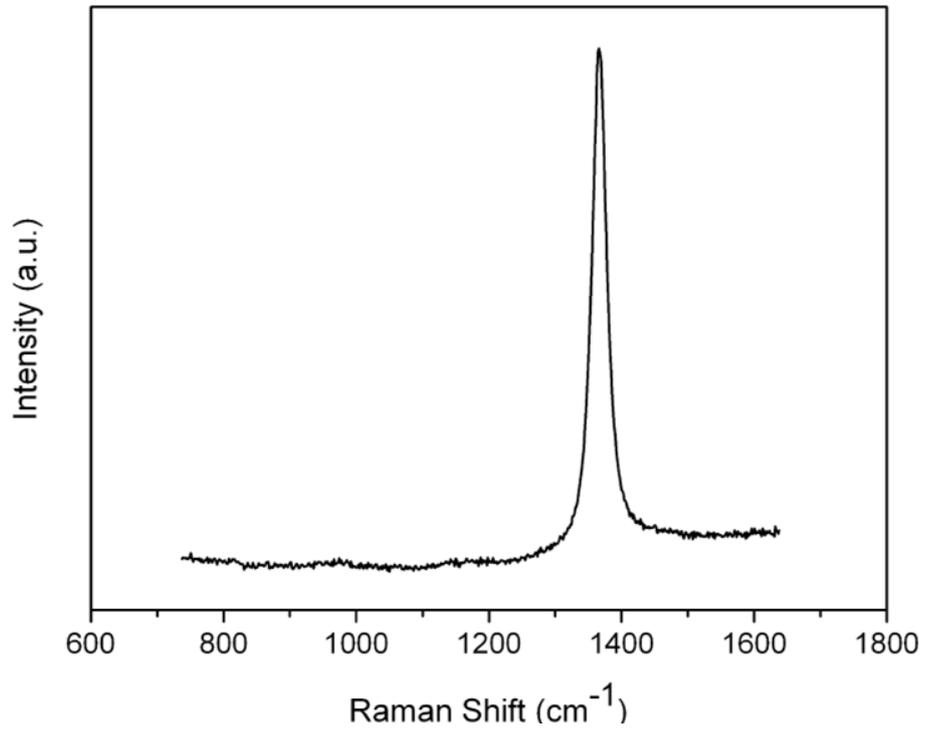


圖 1-5 六方晶系氮化硼奈米片 Raman 光譜圖。

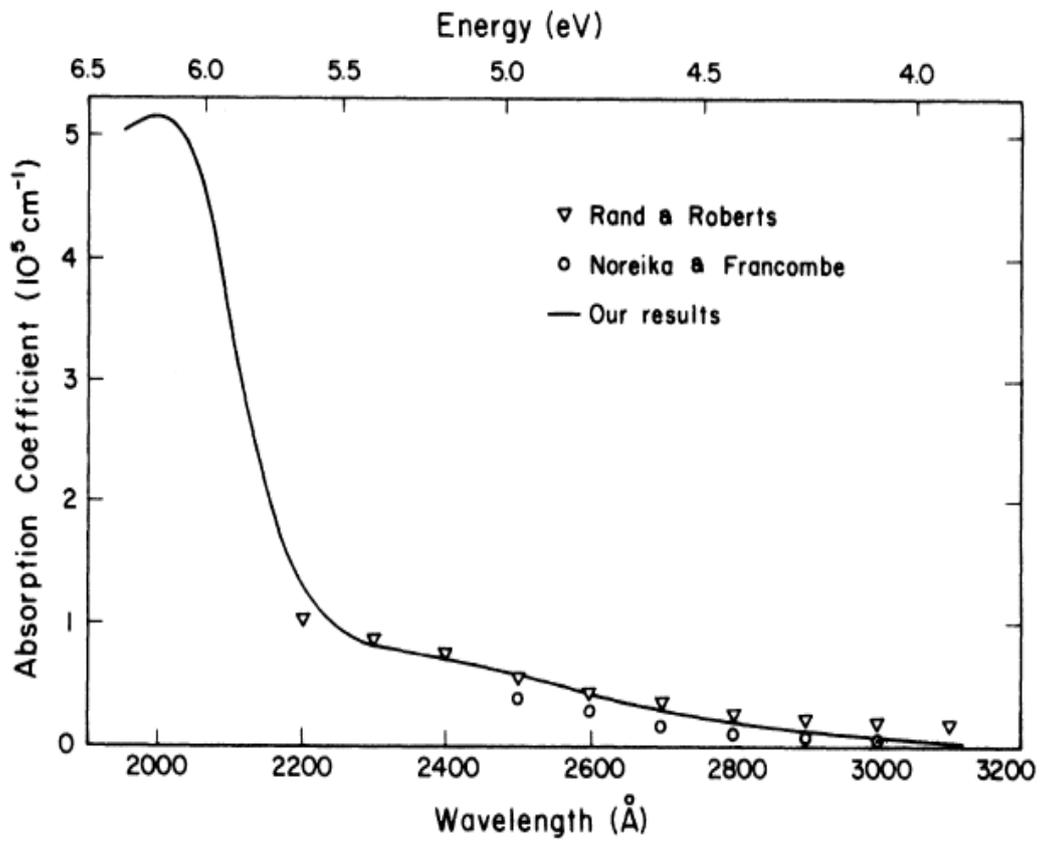


圖 1-6 六方氮化硼薄膜吸收峰值位於 6.2eV[12]。

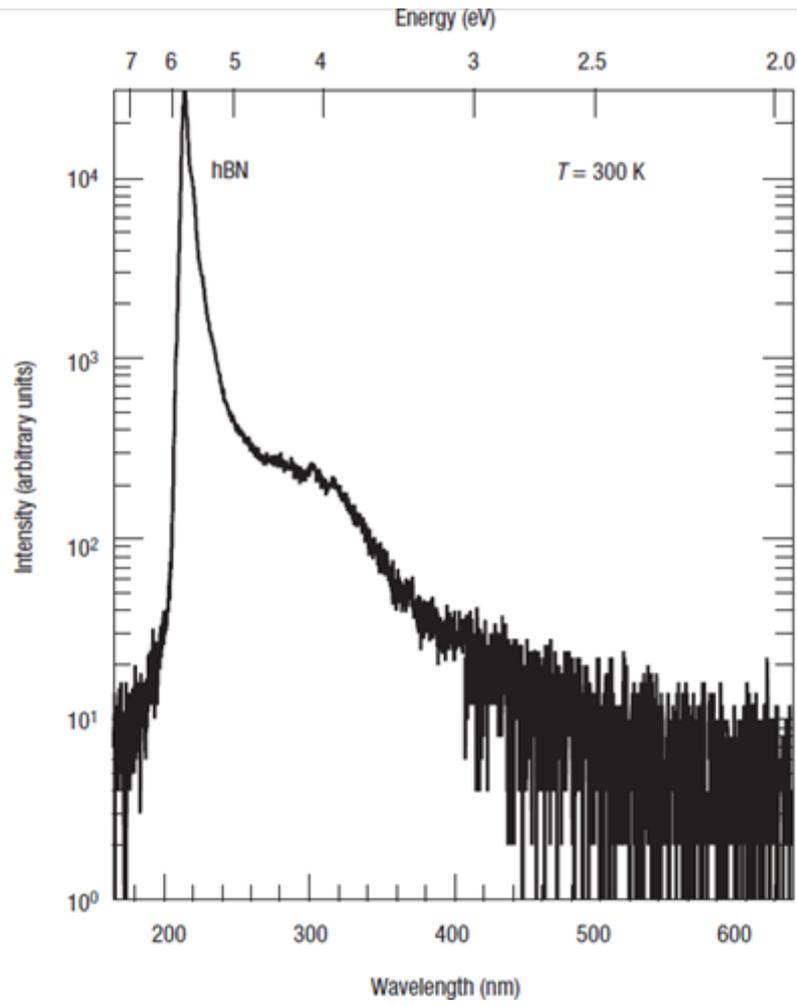


圖 1-7 室溫下六方晶系氮化硼陰極射線激發螢光光譜[2]。

第二章

儀器與原理

2-1 超高射頻電漿輔助化學氣相沉積系統 (Very High Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition system, VHF PECVD system)

化學氣相沉積 (Chemical Vapor deposition, CVD) 是將反應源以氣體形式通入反應腔中，經由氧化，還原或與基板反應之方式進行化學反應，其生成物經由擴散作用而沉積基板表面上。在半導體製程，CVD 反應的環境，包括：溫度、壓力、氣體的供給方式、流量、氣體混合比例及反應器裝置...等等；反應氣體被導入反應腔中，藉由擴散方式經過邊界層 (boundary layer) 到達基板表面，而由基板表面提供反應所需的能量，反應氣體就在基板表面產生化學變化，生成固體生成物，而沉積在基板表面。而電容耦合式電漿輔助化學氣相沉積 (Capacitively Coupled Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, CCP) 簡單說，就是在CVD系統中在加上兩片平行板電極，一端接地一端接射頻電源供應器，由射頻電源供應器提供外加能量，加速自由電子，當電子累積足夠能量便可以激發解離通入兩電極之間的氣體分子，而產生許多高活化能的自由基，此為電漿系統如圖2-1 所示[13]。

電漿輔助化學氣相沉積系統 (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, PECVD) 如圖2-2 所示[14]使用電漿能量輔助，使得能以較低反應溫度進行製程。而在電漿輔助化學氣相沉積系統中，由於電漿的作用會有光線放射出，因此又被稱為「輝光放射」(glow discharge) 系統。電漿輔助化學氣相沉積系統的結構腔體內可見一組平行且正對

的直徑兩吋不銹鋼電極，其上電極為製程氣體引入之噴頭，可直接的將氣體導入上下電極之間進行反應，下電極則為可放置基板。當在二個電極板間外加一個13.56MHz的射頻電源供應器RF電壓時，在上下電極間會有輝光放射的現象產生，稱為電漿，其中的反應物是化學活性較高的離子或自由基，而基板表面受到離子的撞擊時亦會使其化學活性提高。這兩項因素都可促進基板表面的化學反應速率，因此電漿化學氣相沉積系統可在較低的溫度進行反應，但電漿化學氣相沉積系統的缺點則是產量低，容易會有微粒的污染，所以本實驗採用40.68MHz的射頻電源供應器及在上下電極外圍加裝石英管以侷限氣體，希望減少離子的過度轟擊與提高電漿密度有助於利用電漿輔助沉積，以便在更低溫下合成六方晶系氮化硼奈米片。

在超高射頻電漿化學氣相沉積系統中要安裝真空幫浦，使沈積腔體內保持在所設定的低壓狀況，在以下描述。

(一) 抽氣幫浦系統 (pumping system)

幫浦系統包含兩種幫浦，一種是機械幫浦 (mechanical pump) 另一種是渦輪分子幫浦 (turbo pump)，渦輪分子幫浦的抽氣速率為300 liter/sec。成長前腔體先利用機械幫浦抽至 1×10^{-3} torr再利用渦輪分子幫浦抽到 4×10^{-8} torr。

(二) 匯入氣體 (gas source)

實驗上所需要的氣體包括二硼烷(B_2H_6)、氫氣(H_2)及氬氣(Ar)，所有氣體在進入真空腔前分別經過流量控制器 (mass flow control) 控制流量。

(三) 廢棄處理系統 (scrubber system)

(A) ECS廢氣處理設備(local scrubber)

由於製程氣體中會釋放出有毒氣體廢氣，不能直接排放到大氣中

會污染環境，所以必須經由高溫燃燒裂解使有毒氣體氧化或是分解成無毒或毒性較低的化合物，之後再由抽氣系統將化合物帶到後半段的濕式洗滌系統中，將反應後的化合物的粉末過濾排放置收集的廢棄處理槽。

(B) 酸鹼排氣系統(central scrubber)

透過排風機提供負壓將local scrubber處理完之後的廢氣帶至洗滌塔中,洗滌塔具有氫氧化鈉含鹼性的水溶液，溶液會經過噴灑之後與廢氣進行酸鹼中和後再由活性炭與殘存氣體反應後在排至大氣。

2-2 掃描式電子顯微鏡(scanning electron microscope, SEM)

SEM 主要構造示意如圖 2-3 所示。一般由電子槍產生電子束，經過若干組電磁透鏡所組成的電子光學系統，將電子數聚焦成一微小電子束，遮蔽孔徑選擇不同尺寸的電子束，接著掃描線圈利用磁場偏折電子束，將電子束在所需要觀察的試品上做二度空間的掃描，並且此掃描動作，與陰極射線管上的掃描動作同步。電子束照射在試片上，會產生二次電子、背向散射電子、特性 X 光、陰極發光...等如圖 2-4，而在 SEM 上，主要是偵測二次電子及背向散射電子，若加裝 EDS 或 WDS 附件，則可以偵測特性 X 光作試片元素成分分析。電子槍是提供電子的來源，電子束產生的方式會影響解析度的好壞，電子能量分布範圍越窄，解析度也就越好。電子槍是用燈絲做為發射源，最常使用的電子槍分為兩大類：熱游離式及場發射式。熱游離式電子槍又分為鎢絲和六硼化釧(LaB6)兩種。此類的原理是利用加熱燈絲，高溫使電子具有足夠的能量克服電子槍材料的功函數(Work Function)，逃離材料表面。

另一種類為場發射式，場發射式電子槍可分為三種：冷場發射式、

熱場發射式，以及蕭基發射式。原理是將燈絲加上一極細的針尖，在外加電場的作用之下，可以使位能障壁變小，因此電子可以直接穿隧通過能障離開陰極。由於電子是由尖銳的針尖發射出來，因此可以得到極細而又具有高電流密度的電子束。場發射式電子顯微鏡所得到的解析度比熱游離式電子顯微鏡高，但是所需要的真空度也較高。本實驗室所使用的熱場發射掃描式電子顯微鏡型號是日本製 JEOL JSM-6500F 如圖 2-5。

2-3 傅立葉轉換紅外光譜儀(Fourier transform infrared, FTIR)

紅外線光譜分析是一個重要的分析方法，尤其是利用傅立葉轉換紅外線光譜來獲取光譜資訊，此分析技術在化學分析或材料分析上都有相當廣泛的應用，為一強而有力的分析工具。

圖2-6 為本研究所用的傅立葉轉換紅外線光譜儀結構圖，型號為 Nicolet Magna-IR spectrometer-550，包含了傅立葉轉換紅外線光譜儀的心臟圖2-7 干涉儀及光束分離、不動鏡像、移動鏡像。從兩個鏡像的光反射製造一個干涉，由傅立葉轉換分析了干涉的頻率，再使用傅立葉轉換紅外線光譜儀，把干涉圖還原成光譜圖。

紅外線光譜是研究材料分子吸收或發射紅外線輻射而在某些振動模式下產生振動或振動-轉動能量的變化；因為不同種類原子構成的晶體，或是不同結構的鍵結，會有其特定的晶格振動模式，可以由 FTIR 光譜對應特定的吸收峰來判別，如同拉曼光譜。我們以 FTIR 光譜檢測生成氮化硼樣品，FTIR 光譜儀操作在 $700\sim 1000\text{ cm}^{-1}$, $1150\sim 1800\text{ cm}^{-1}$ 的範圍，由吸收峰值的判定氮化硼樣品的結構。

2-4 拉曼光譜原理(Raman)

當頻率為 ν_0 的入射光經物質散射後，應含有頻率為 $\nu_0 \pm \Delta\nu$ 的輻射，其中 $\Delta\nu$ 是由於內部的原子、分子振動所造成，其頻率的大小與原子間鍵合的強度直接相關，因而晶格動力學便是最重要的理論基礎。

簡單的來說，頻率 ν_0 的單色光入射到物質時，通常會有一部分入射光通過物質，而一部分的光則在物質的界面上產生反射；此外，還會在該物質的不同方向上出現相當微弱的散射光。實驗分析發現這些散射光是由不同頻率所組成，大部分散射光的頻率與原入射光的頻率 ν_0 相同，只有少部分散射光的頻率與 ν_0 不同。

當一個光子與處於基態的分子相互作用，可將一個分子激發到高能態，當分子離開高能態時，如果是回到基態，便產生瑞利散射，此時入射光頻率 ν_0 與散射光頻率相同，為彈性散射。當分子離開不穩定態時，如果不回到基態，而是一個激發的振動態，即散射的光子能量與原入射光子能量間有一能階差（ ΔE ），此時入射光頻率 ν_0 與散射光頻率不同，即非彈性散射，而拉曼光譜即為此，由於拉曼散射和物質內部原子、分子的振動密切相關，因此可由測量到的拉曼光譜，推測物質內分子、原子的振動情況。

2-5 光激發螢光光譜儀原理(Photoluminescence, PL)

圖 2-8 本實驗使用之前李姿青學姊自行架設的光激發螢光光譜系統，其光源使用 JDS Uniphase 脈衝式雙晶片固態雷射作為激發光源，其波長為 266nm 的紫外雷射光，對應的光子能量為 4.66eV，在入射樣品之前會再經由集光系統中的透鏡聚焦，最後以小於 1mm 大小的光點激發樣品。

因為光源為紫外雷射，所以集光系統內的光學組件必須選用允許

紫外光穿透的 fused silica 材質；雷射先經由高度轉折鏡提昇高度至系統光路，然後由光路中段的小反射鏡反射，再被樣品前端的透鏡聚焦以正向入射樣品。樣品前端的平凸透鏡的另一功能為收集樣品被雷射激發後發出的螢光，因為透鏡焦點即為激發的光點位置，使樣品發光可被收集、展開成平行光，能不受距離限制進入第二面透鏡，聚焦後進入光譜儀，第二面透鏡的焦距／直徑比是為了配合光譜儀，使所得的譜圖能有較佳的解析度，光譜儀前端需裝置濾片，以防止雷射的反射光進入光譜儀。

以 JOBIN YVON TRIAX 550 光譜儀進行分光，由入口狹縫至內部反射鏡面距離為 550 毫米，以電腦程式控制步進馬達轉動光柵，光柵可將進入光譜儀的光對應不同波長作空間分佈的展開，以達到分光的效果，能選取特定波長通過出口狹縫進入偵測器，偵測特定波長的強度；影響光譜儀分光能力的主要因素為光譜儀長度及光柵密度，以 (Groove/mm, Blaze)=(1200,330) 的光柵，解析度可達 1.55nm/mm。

光電倍增管(Photomultiplier, PMT): 當光到達PMT中的光陰極板，會從光陰極板上擊發出光電子，因為外加於介電極的偏壓會吸引電子撞擊，並擊發出更多的電子，使電子數目呈倍數層級放大，最後在陽極收集電子，送出對應光強度值的電流訊號。以EG&G的儀器作訊號放大及電流／電壓值轉換，並可由counter讀取計數值，最後將電壓訊號由Spectra ACQ接收傳送至電腦。為得到較佳的訊雜比，必須降低PMT的熱雜訊，即因熱從陰極板或介電極釋出的自由電子，以致冷晶片降低PMT管壁溫度，由致冷晶片轉移出來的熱需通入冷卻循環水帶走，待PMT降溫、溫度穩定之後，每單位時間的熱雜訊可低於10 counts/sec。

電荷耦合元件(Charge-Coupled Device, CCD)：CCD 是為多通道偵測

器，其感光面板是由矽元件所製的個像點組成的二維陣列，每一個像點都是獨立的光接受器。當光入射感光面板，像點會因光電效應而產生電荷累積，電子數的多寡和曝光過程所接收的光量成正比。由 CCD 控制器提供工作電壓，並接受由面板產生對應光強度的電訊號，再傳送至電腦以程式繪出光譜圖。

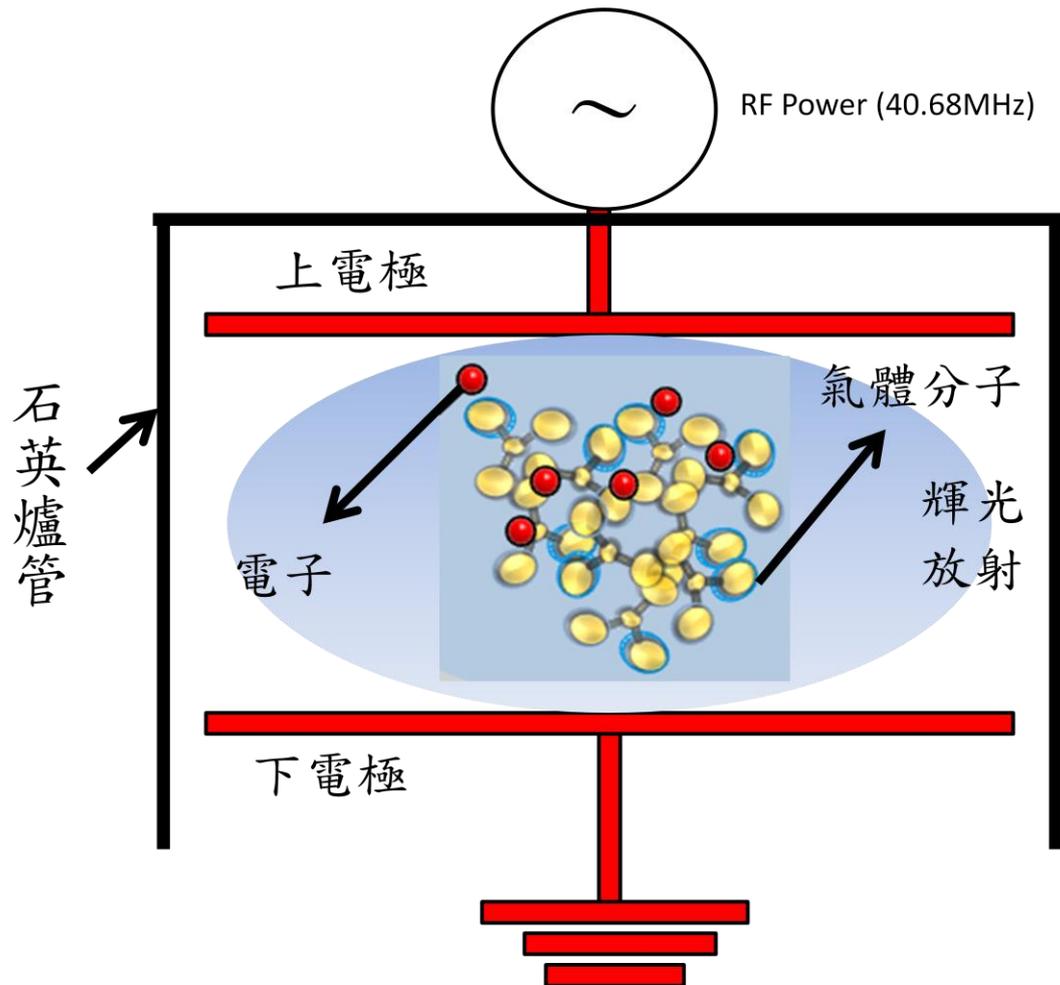


圖2-1 電容耦合式電漿系統示意圖[13]。

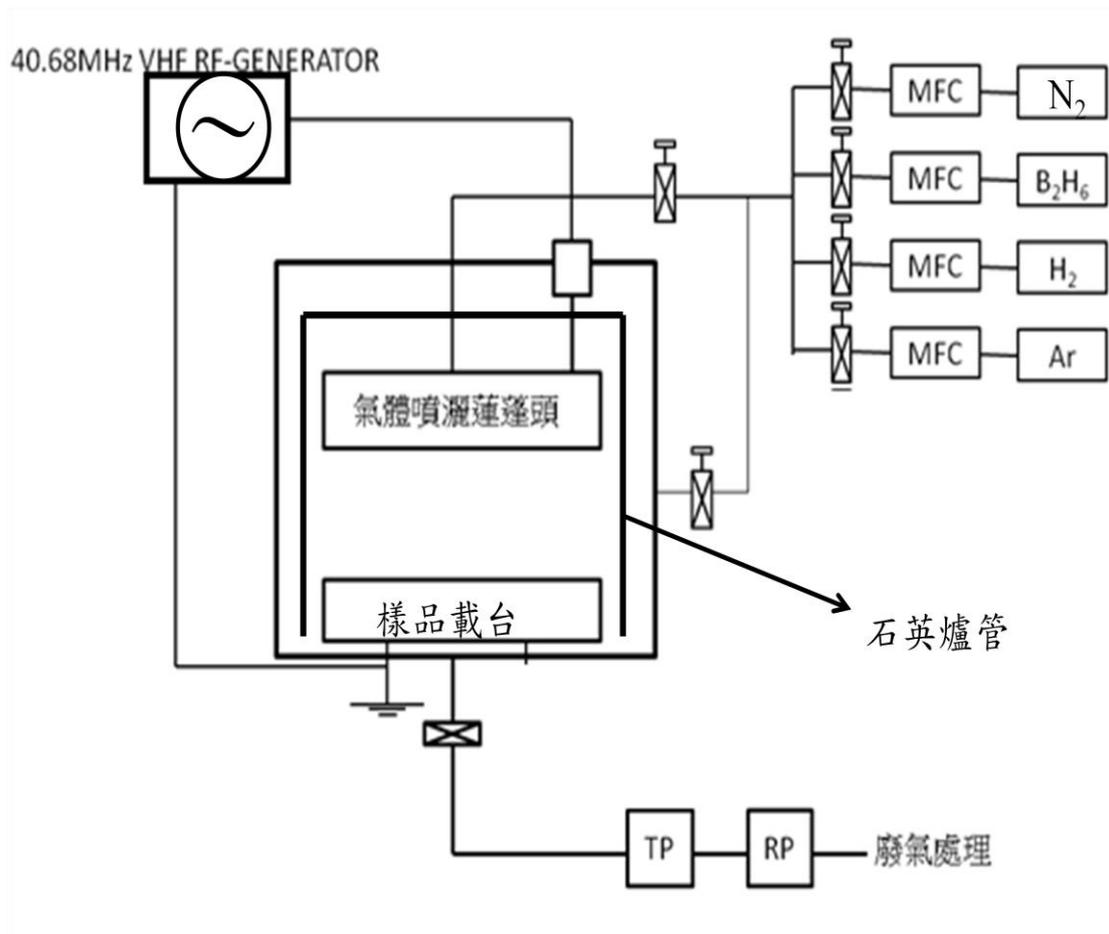


圖 2-2 電漿輔助化學氣相沉積系統示意圖[14]。

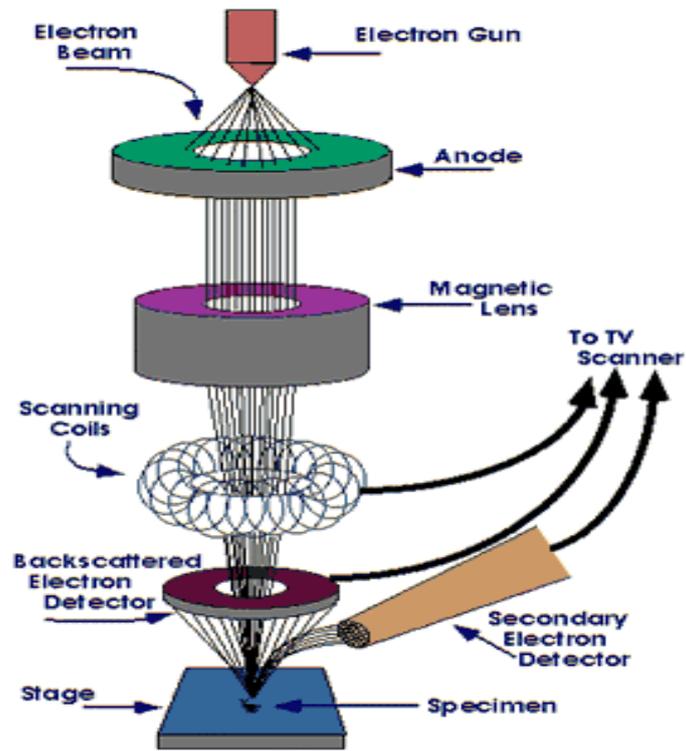


圖 2-3 SEM 主要構造示意圖。

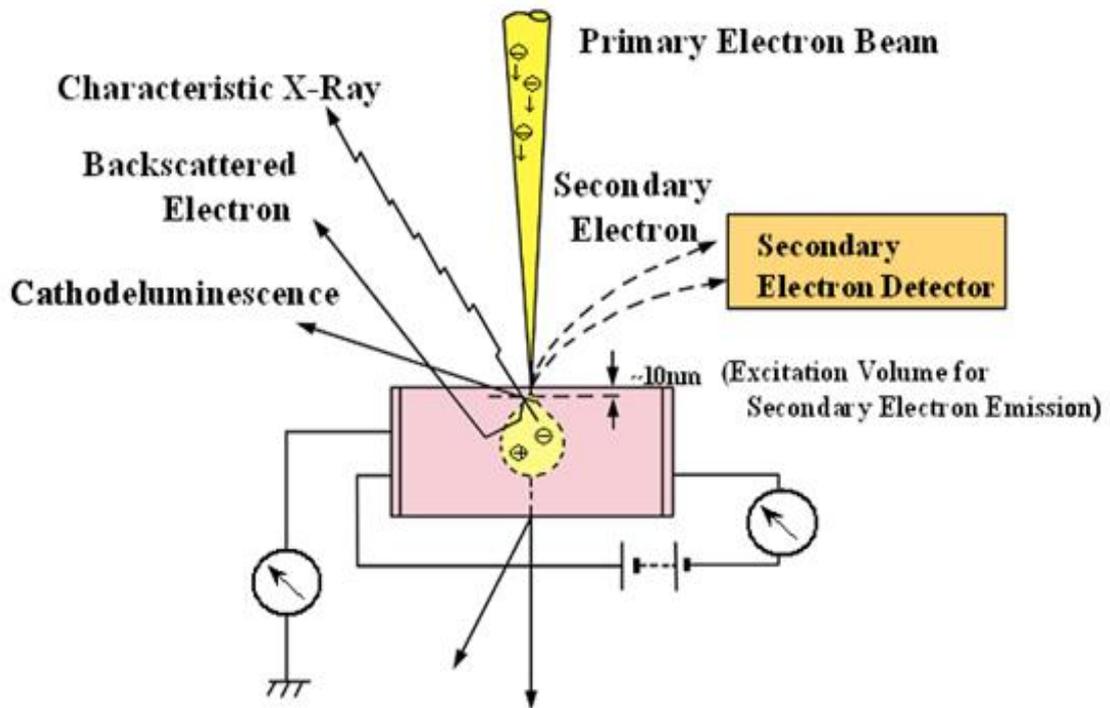


圖2-4 電子束與試片之作用。



圖2-5 熱場發射掃描式電子顯微鏡硬體圖。

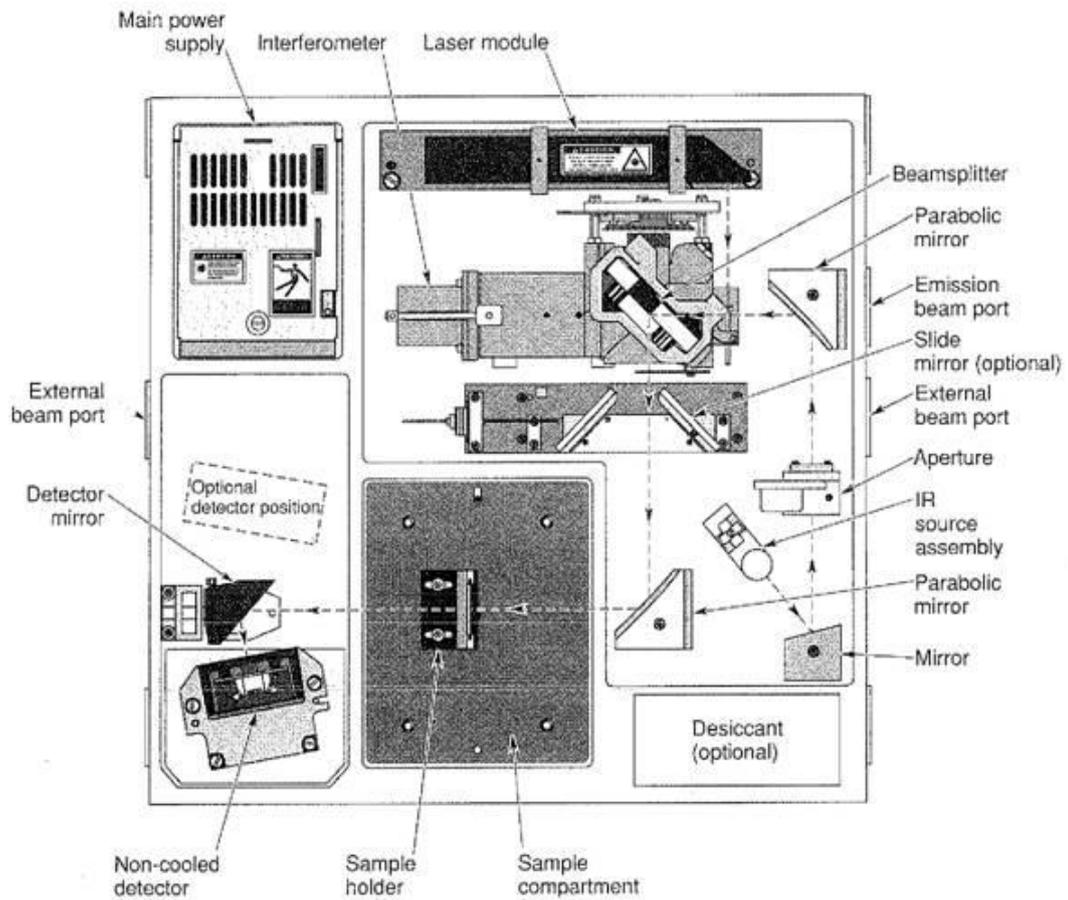


圖 2-6 本研究所用的傅立葉轉換紅外線光譜儀結構圖。

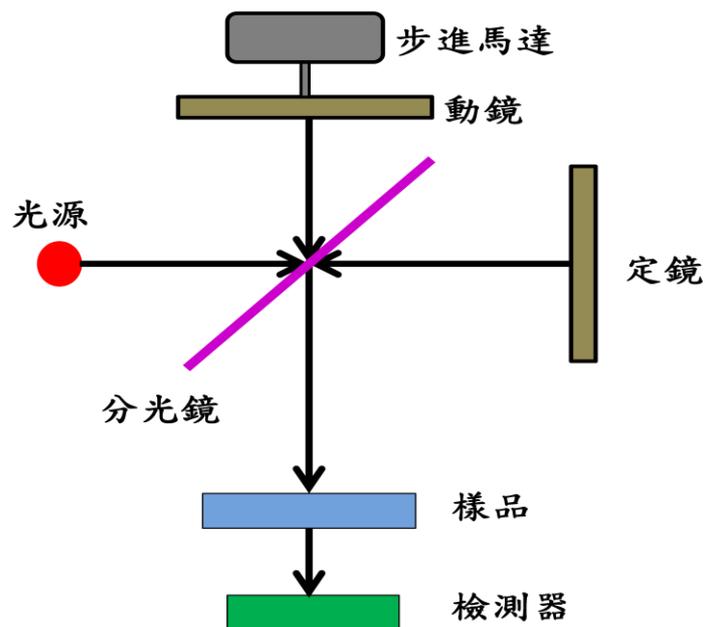


圖 2-7 干涉儀示意圖。

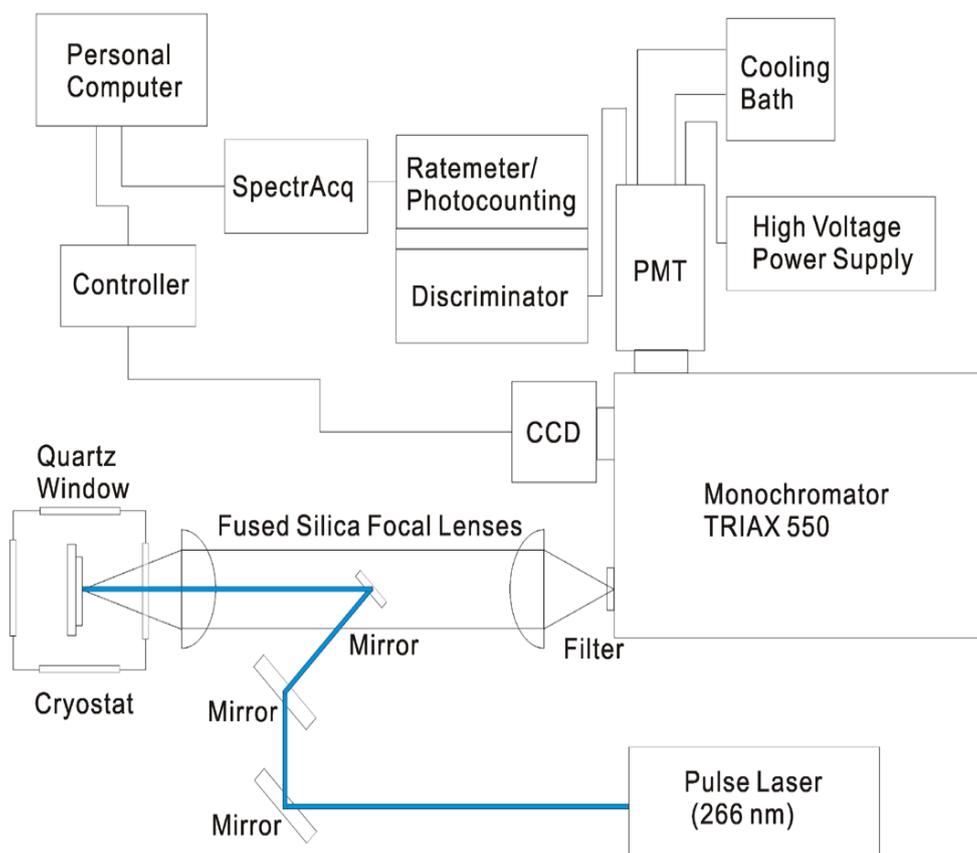


圖 2-8 光激發螢光光譜儀系統示意圖。

第三章

實驗方法與步驟

3-1 實驗流程

實驗流程如圖3-1實驗流程圖。在清洗樣品方面我們先選擇晶格方向(100)的單面拋光Si wafer先依序經過丙酮(Acetone)、異丙醇(Isopropylalcohol, IPA)、去離子水(Deionized water, DI Water)在超音波震盪器分別震十分鐘，再將機板用氮氣吹乾，最後用氫氟酸(Hydrogen Fluoride, HF)清洗至不沾水，用氮氣吹乾。

3-2 實驗設備設計

我們利用實驗室既有的PECVD系統裝置及真空原件，做些許的改良成超高射頻電漿化學氣相沉積系統(VHF PECVD)如圖3-2。系統中以氣導流噴頭(shower head)為上電極，不鏽鋼載台(hold)為下電極；氣體管路銜接於氣體導流噴頭，製程氣體由此通入真空腔體內之上、下電極間。不鏽鋼載台為下電極，樣品置放於此。圖3-3為系統實體圖。

為了侷限電漿在上下電極間的範圍；於上下電極外圍加裝一支石英管，此石英爐管將上、下電極環罩，氣體在兩電極間被解離產生電漿，電漿被石英爐管侷限在兩電極之間，如圖3-2。上電極石英爐管開口處，以鐵氟龍塊材加工製成的管蓋封住，下電極與石英爐管間以陶瓷墊片確保氣體流出的氣孔，另外腔體真空抽氣開口設計於下電極正下方，加強單一氣流方向效果。

3-3 實驗方向

設計規劃以超高射頻電漿化學氣相沉積系統(VHF PECVD)，調變射頻功率、電極距離、製程壓力、氣體流量以及製程時間。依據過去的實驗結果推斷，製程氣體流量及製程時間應該差異不大，至於壓力部分，因為真空計裝置於腔體抽氣口端，並非裝置於石英爐管內，所以我們認為壓力讀值與實際石英爐管內之壓力值會有差異。為了確認可行的製程壓力，及依據製程系統性質考量，決定先固定製程氣體的流量、製程時間及功率，改變超高射頻電漿化學氣相沉積系統(VHF PECVD)的製程壓力與電極距離開始調變參數如表3-1，當有一定參考資料再做相關調變，希望可以成功利用超高射頻電漿化學氣相沉積系統 (VHF PECVD)合成六方晶系氮化硼奈米片，再用最佳參數來改變製程時間來觀察六方晶系氮化硼奈米片成長的狀況，來分析六方晶系氮化硼奈米片成長機制。

3-4 實驗步驟流程

將清洗過的基板放置於超高射頻電漿化學氣相沉積系統內之下電極上，先以機械幫浦將腔體內壓力由大氣壓抽至 1×10^{-3} torr，再啟動渦輪分子幫浦將腔體內壓力由 1×10^{-3} torr 抽至 4×10^{-8} torr 大約三小時。腔體壓力達製程壓力，射頻功率供應器開啟電源暖機 30 分鐘，以確認射頻功率供應器穩定。然後先通入氫氣 100sccm 並調壓至 1torr，用 60W 射頻功率點起電漿清潔樣品表面 10 分鐘希望將樣品表面氧化物反應並且帶走，之後降掉射頻功率關閉氫氣將殘留的氫氣抽離約 20 分鐘，再分別通入 50sccm 的氫氣跟氮氣等壓力穩定再通入二硼烷 50sccm，等壓力再次穩定再用 150W 射頻功率點起電漿開始製程，實驗步驟流程的時間對溫度圖如圖 3-4 所示。

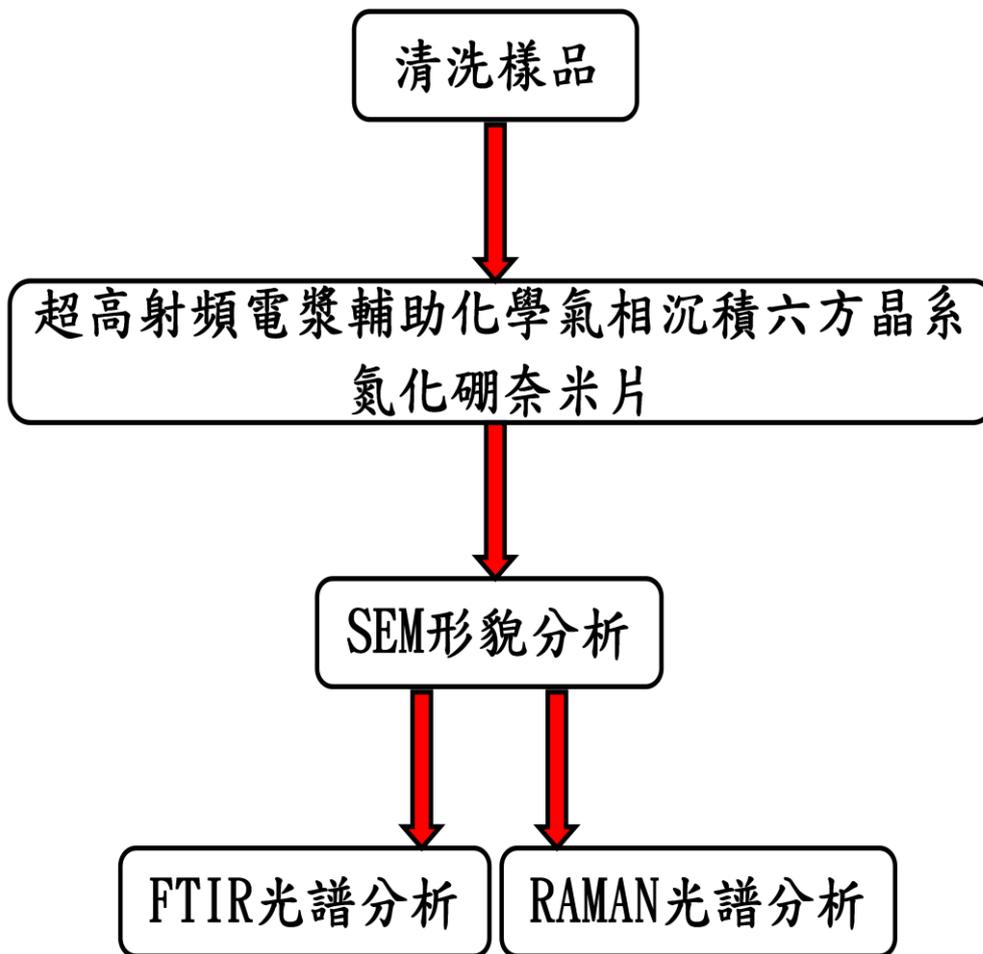


圖 3-1 實驗流程圖。

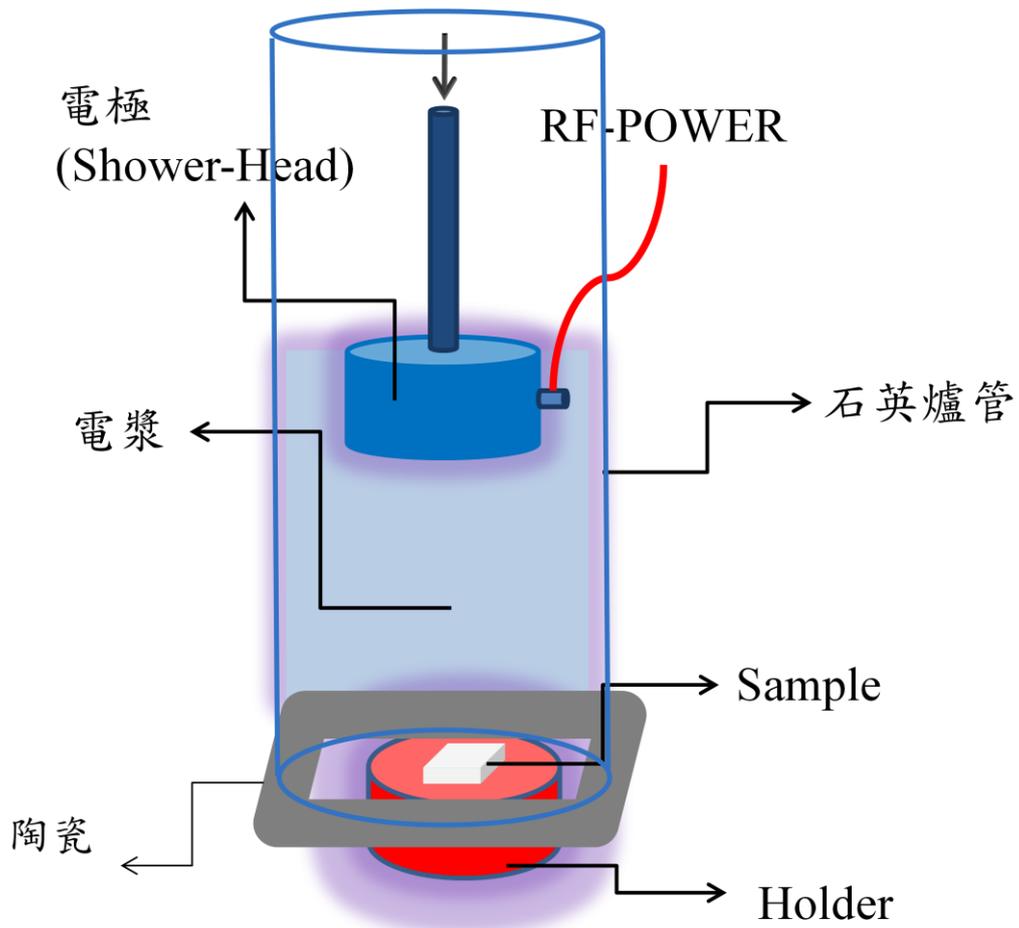


圖 3-2 VHF PECVD 系統示意圖。



圖 3-3 VHF PECVD 系統實體圖。

固定參數					
氫氣	氮氣	二硼烷	製程溫度	製程時間	射頻功率
50sccm	50sccm	50sccm	不加溫	30 分鐘	150 瓦
調變參數					
製程壓力			電極距離		
1、0.5、0.3torr			1、1.5、2、2.5、3、4cm		

表 3-1 實驗製程條件參數。

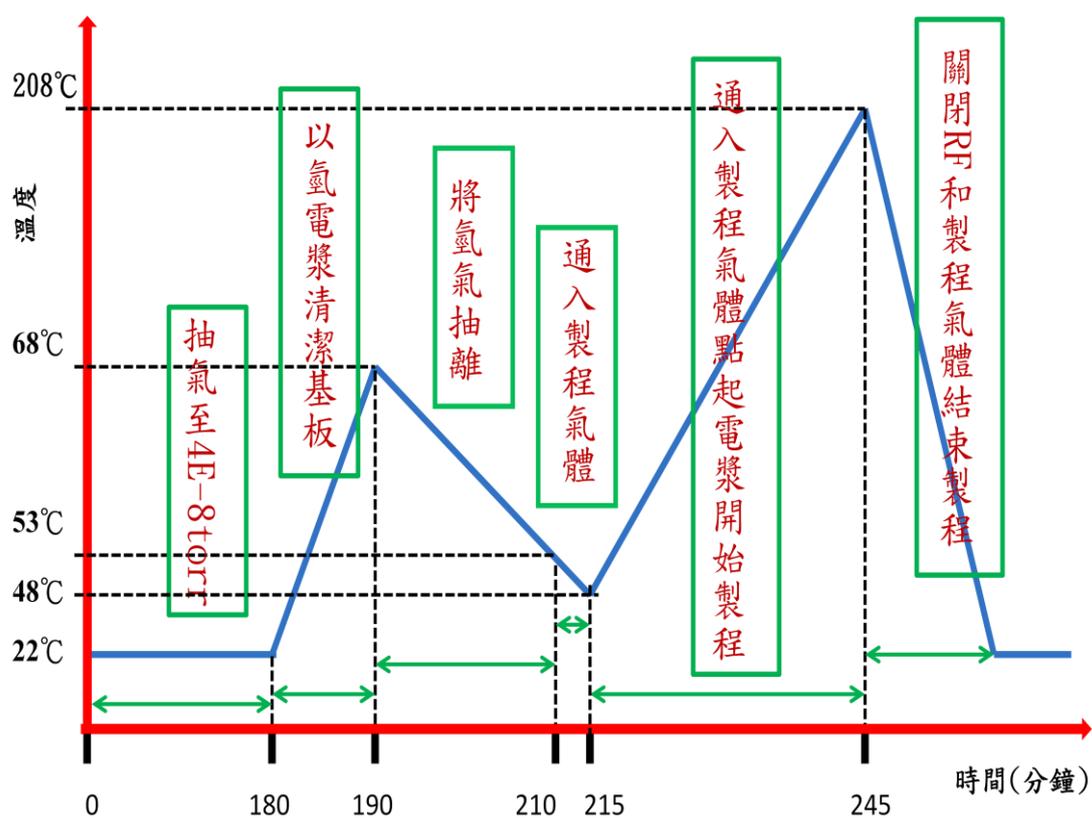


圖 3-4 實驗步驟流程的時間對溫度圖。

第四章

結果與討論

4-1 電極距離對 h-BN 奈米片的樣貌影響

首先我們先改變上下電極間的距離觀察電極距離對奈米片的樣貌有何影響，之所以選擇改變電極距離是因為在不加溫的條件下氣體反應所需的能量就只能靠電漿離子的動能及所產生的熱能來裂解，故我們猜測需將電漿集中才能提供足夠的能量給氣體反應，以之前學長的經驗調變上下電極的距離會影響到電漿的狀態，故我們決定先調變電極距離參數。圖 4-1,2 為電極距離對 h-BN 奈米片的樣貌影響。

由 SEM 圖我們可以看出只有在電極距離 1cm 及 1.5cm 的樣品有成功合成出六方系氮化硼奈米片，而其他的樣品只有成膜的現象，此結果我們推測電極距離越遠其能量會因此而分散，造成六方系氮化硼奈米片不易形成。

將樣品用 FTIR 分析圖 4-3,4，看是否跟 SEM 觀察到的結果一樣以電極距離 1cm 及 1.5cm 樣品的 h-BN 訊號為最強結構最好。由 FTIR 的光譜圖上可以看出在 810 cm^{-1} 和 1370 cm^{-1} h-BN 訊號位子處以電極距離 1cm 及 1.5cm 的樣品的訊號峰值為最強烈，也跟 SEM 的觀察結果符合，故電漿能量越集中其合成出的六方系氮化硼奈米片結構較好。

為了再次確認我們將樣品用 Raman 光譜分析圖 4-5，樣品是否真的以電極距離 1cm 及 1.5cm 的樣品有較好的 h-BN 的結構及含量。從拉曼光譜圖依然可以看出在 1370 cm^{-1} 的 h-BN 訊號位子是以電極距離 1cm 及 1.5cm 的樣品的訊號峰值為最強烈，此結果跟 FTIR 及 SEM 分析

結果完全對應，從SEM圖、 FTIR 、 Raman光譜分析結果發現樣品樣貌越趨向片狀其對應的FTIR 、 Raman光譜訊號峰值越強因此我們可以論斷SEM圖顯示奈米片越大其h-BN結構越好，電極距離1cm樣品樣貌及結構都較電極距離1.5cm差，推測原因可能是電極距離過近造成離子轟擊六方系氮化硼奈米片所造成的。因為電極距離1.5cm時所成長的氮化硼奈米片有最好的h-BN結構及片狀樣貌，所以之後的實驗就將電極距離固定在電極距離1.5cm。

4-2 製程壓力對h-BN奈米片的樣貌影響

我們將電極距離固定在 1.5cm 然後改變製程壓力觀察分析製程壓力對 h-BN 奈米片的樣貌及結構影響，之所以選擇改變製程壓力是因為壓力計的位子並非在石英管內，又加上之前實驗經驗知道因為氣導的影響造成爐管內外的壓力有所不同，管內壓力會比管外來的大，而電漿的離子動能會因平均自由徑的大小影響，而壓力是主影響平均自由徑的因素，所以我們選擇降低製程壓力來觀察分析對樣品的樣貌及結構的改變。圖 4-6,7 為製程壓力對 h-BN 奈米片的樣貌影響。

由SEM圖我們可以看出製程壓力0.5torr明顯較其他樣品更為片狀樣貌，推測原因是製程壓力降低使平均自由徑變大，間接的使電漿離子動能增加，提升了六方晶系氮化硼奈米片的沉積，但是0.3torr的製程壓力樣品片狀形貌卻沒有因為壓力降低而變大，原因可能是製程氣體濃度變稀薄導致六方晶系氮化硼奈米片的沉積下降，另外因為電漿離子動能增加也提升了轟擊效果造成這樣的結果。

由FTIR光譜分析再次確認製程壓力0.5torr的樣品是否也具有較佳的h-BN結構及含量，如圖4-8,9。從FTIR光譜圖看來樣品沒有很明顯的差異尤其製程壓力0.5torr和0.3torr幾乎一樣沒甚麼差異度，可以

知道由製程壓力0.5torr降低至0.3torr只單純對奈米片形貌造成影響對六方晶系氮化硼的結構影響不明顯。

因為FTIR光譜圖0.5torr製程壓力和0.3torr製程壓力分別不出差異度，我們再用Raman光譜分析看是否跟FTIR光譜一樣有對應性。如圖4-10。由SEM圖分析結果發現樣品0.5torr的製程壓力有最顯的片狀形貌其FTIR光譜、Raman光譜分析方面h-BN的訊號較1torr製程壓力樣品強，卻跟製程壓力0.3torr沒有明顯的差異度，雖然0.3torr的製程壓力樣品在FTIR光譜、Raman光譜分析跟製程壓力0.5torr樣品差異度不大，但以SEM圖的樣貌而論製程壓力0.5torr較製程壓力0.3torr更為片狀，所以我們之後的實驗將固定製程壓力為0.5torr的參數來製程。

4-3 調變製程時間觀察奈米片成長狀況

成功在低溫下合成出六方晶系氮化硼奈米片之後，我們調變製程時間來觀察奈米片成長過程，以了解六方晶系氮化硼奈米片機制。如下圖4-11,12。

從SEM圖可以看出在製程時間7.5分鐘時才有微微的片狀結構出現，而製程時間1分鐘及5分鐘則完全看不出片狀結構，只有看出沉積出島狀的薄膜確不能確定是否有細小的片狀結構，依SEM圖看來在製程時間7.5分鐘前機板上還未沉積出六方晶系氮化硼奈米片，只單純沉積氮化硼薄膜而以製程時間7.5分鐘後才逐漸在薄膜上沉積出細微的片狀結構，因此我們從SEM圖推測六方晶系氮化硼奈米片得成長過程應該先在基板上沉積薄膜再慢慢成核成長出奈米片的。

我們再由FTIR的光譜分析圖4-13,14觀察是否在製程時間5分鐘之前的樣品是否沒有六方晶系氮化硼的訊號，如果製程時間5分鐘前的樣品沒有六方晶系氮化硼的光譜訊號極有可能表示5分鐘製程時間

前所沉積的薄膜只是非晶矽的氮化硼薄膜，5分鐘製程時間之後才逐漸再非晶薄膜上成核成長為六方晶系氮化硼奈米片。從FTIR光譜分析上可以看出在製程時間5分鐘前就已有六方晶系氮化硼的訊號出現然後逐漸增強，因此在製程時間5分鐘前就極有可能開始沉積六方晶系氮化硼但可能還未成核為奈米片故SEM圖下觀察不到片狀形貌，或者是已經成核為奈米片但因為其片狀形貌太過於細小導致SEM圖上觀察不到。而製程時間1分鐘的樣品則沒有六方晶系氮化硼的訊號卻有薄膜的形貌，故可能是非晶氮化硼薄膜或者因為薄膜厚度太薄以至於訊號太弱偵測不到。

我們再次用Raman光譜分析做為與FTIR光譜做比對，觀察其結果是否有一致性。如圖4-15。由Raman光譜分析也得到相同的結果，在製程時間5分鐘的樣品也同樣有發現六方晶系氮化硼的訊號，即表示在製程時間5分鐘前已有六方晶系氮化硼的沉積只是在SEM下觀察不到而已。但製程時間1分鐘的樣品依然沒有無六方晶系氮化硼的訊號。

4-4 分析樣品的發光特性及合成於鋁箔可撓式基板上

圖4-16 為成長在矽基板的六方晶系氮化硼奈米片PL光譜分析，由結果看出在波長305nm-395nm有激發螢光訊號，其峰值約在355nm的位子，由文獻知道六方晶系氮化硼結構越好其光激發螢光光譜的在215nm，如果結構不好其峰值位子會橫移，所以由圖4-16，可以知道本研究所合成的六方晶系氮化硼奈米片其結構還需要改善。

最後我們嘗試在鋁箔可撓式基板沉積氮化硼奈米片，觀察是否能夠在低溫環境下沉積出一樣的六方晶系氮化硼奈米片，如圖4-17 在鋁箔可撓式基板沉積六方晶系氮化硼奈米片，圖4-18 相同實驗條件在單晶矽基板上沉積六方晶系氮化硼奈米片。由圖4-17 和圖4-18 比

較單晶矽基板上沉積六方晶系氮化硼奈米片及鋁箔可撓式基板沉積六方晶系氮化硼奈米片，明顯的前者的片狀樣貌來的明顯大片許多，原因可能是單晶基板比較有利於六方晶系氮化硼奈米片的沉積。

Ar:50sccm RF power:150W
N₂:50sccm 製程壓力:1torr
B₂H₆:50sccm 製程時間:30分鐘

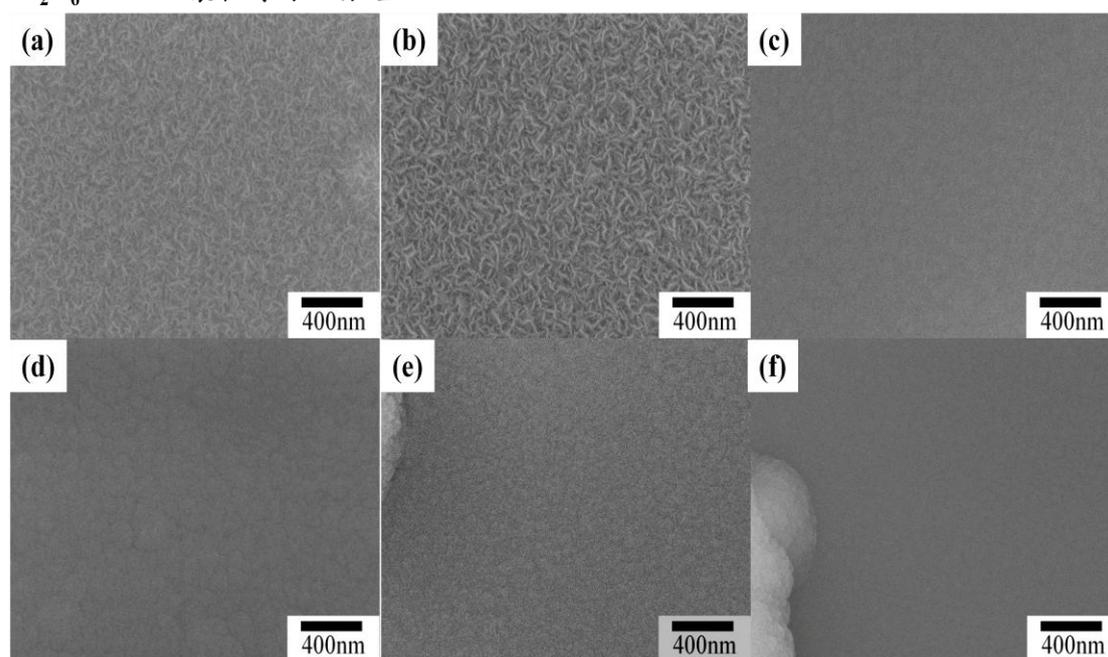


圖 4-1 電極距離對 h-BN 奈米片的樣貌影響(低倍率下的 SEM 圖)(a)為電極距離 1cm 的樣品、(b)為電極距離 1.5cm 的樣品、(c)為電極距離 2cm 的樣品、(d)為電極距離 2.5cm 的樣品、(e)為電極距離 3cm 的樣品、(f)為電極距離 4cm 的樣品。

Ar:50sccm RF power:150W
N₂:50sccm 製程壓力:1torr
B₂H₆:50sccm 製程時間:30分鐘

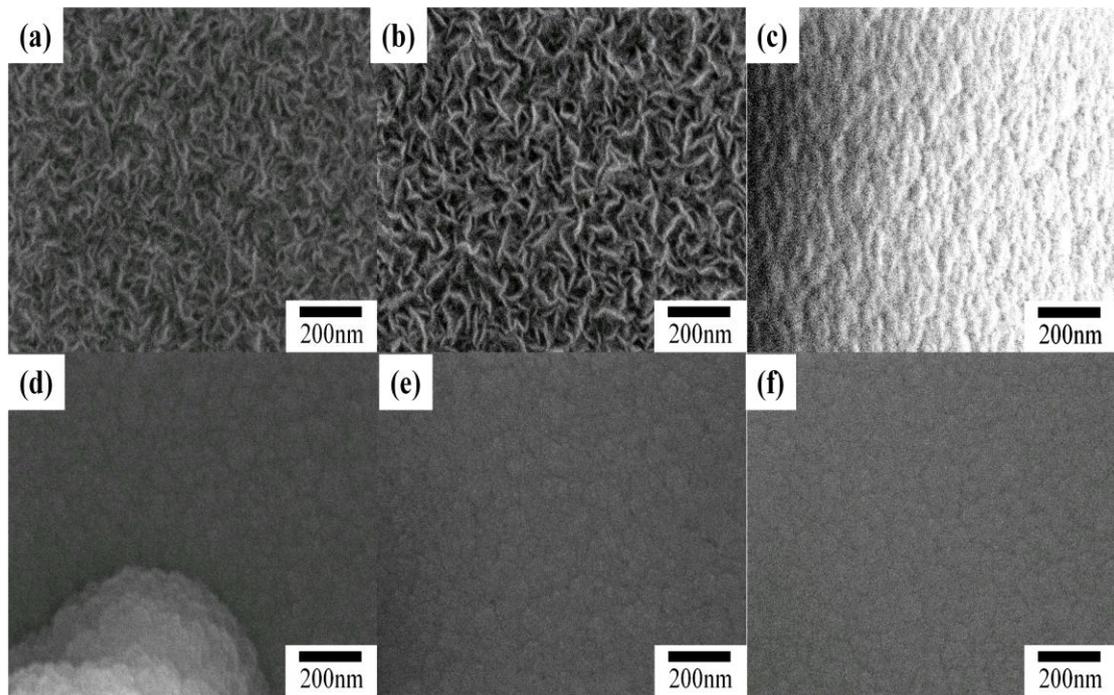


圖 4-2 電極距離對 h-BN 奈米片的樣貌影響(高倍率下的 SEM 圖) (a) 為電極距離 1cm 的樣品、(b)為電極距離 1.5cm 的樣品、(c) 為電極距離 2cm 的樣品、(d)為電極距離 2.5cm 的樣品、(e)為電極距離 3cm 的樣品、(f)為電極距離 4cm 的樣品。

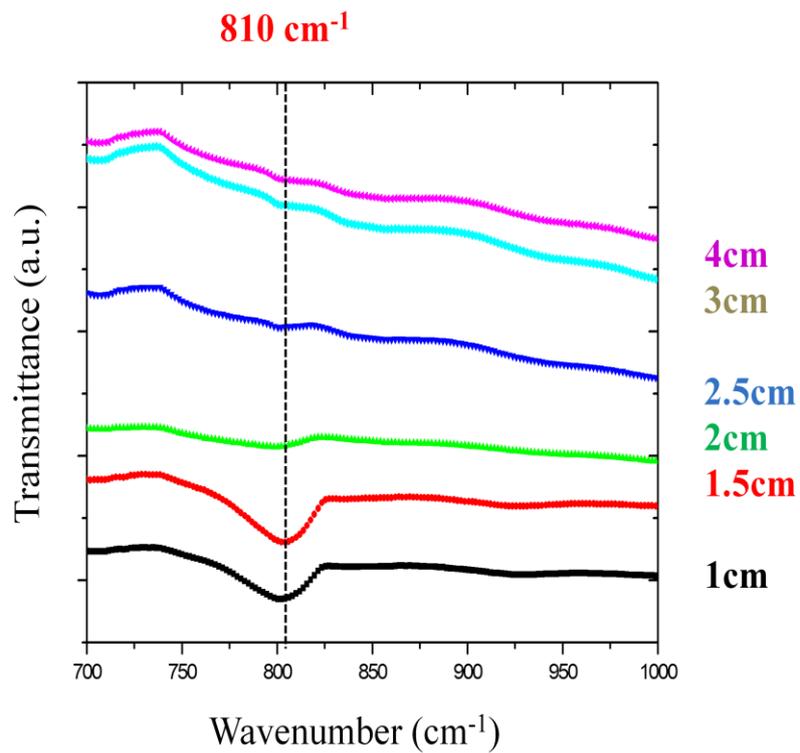


圖 4-3 改變電極距樣品系列的 FTIR 分析(700~1000cm⁻¹)。

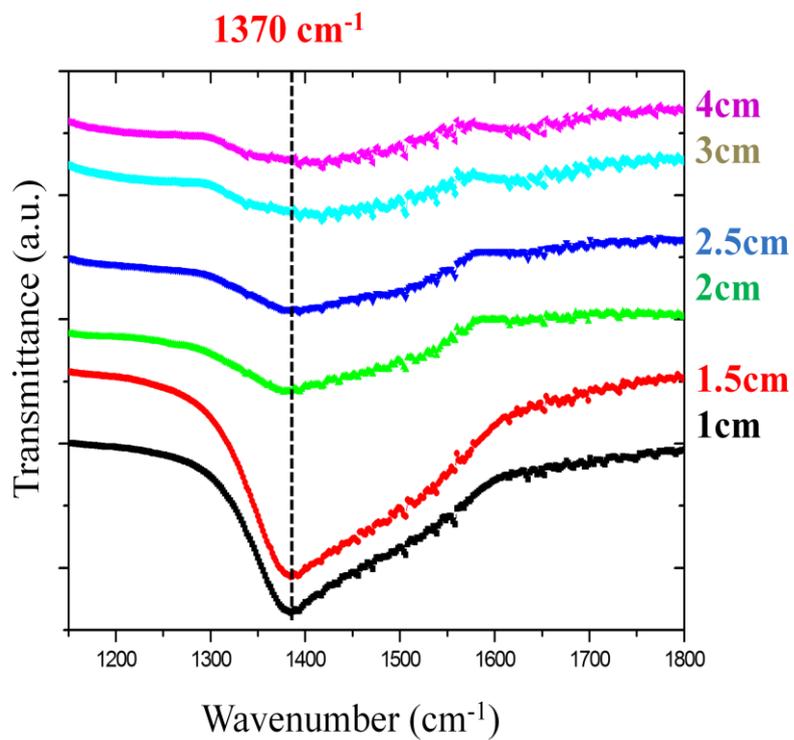


圖4-4 改變電極距樣品系列的FTIR分析(1150~1800cm⁻¹)。

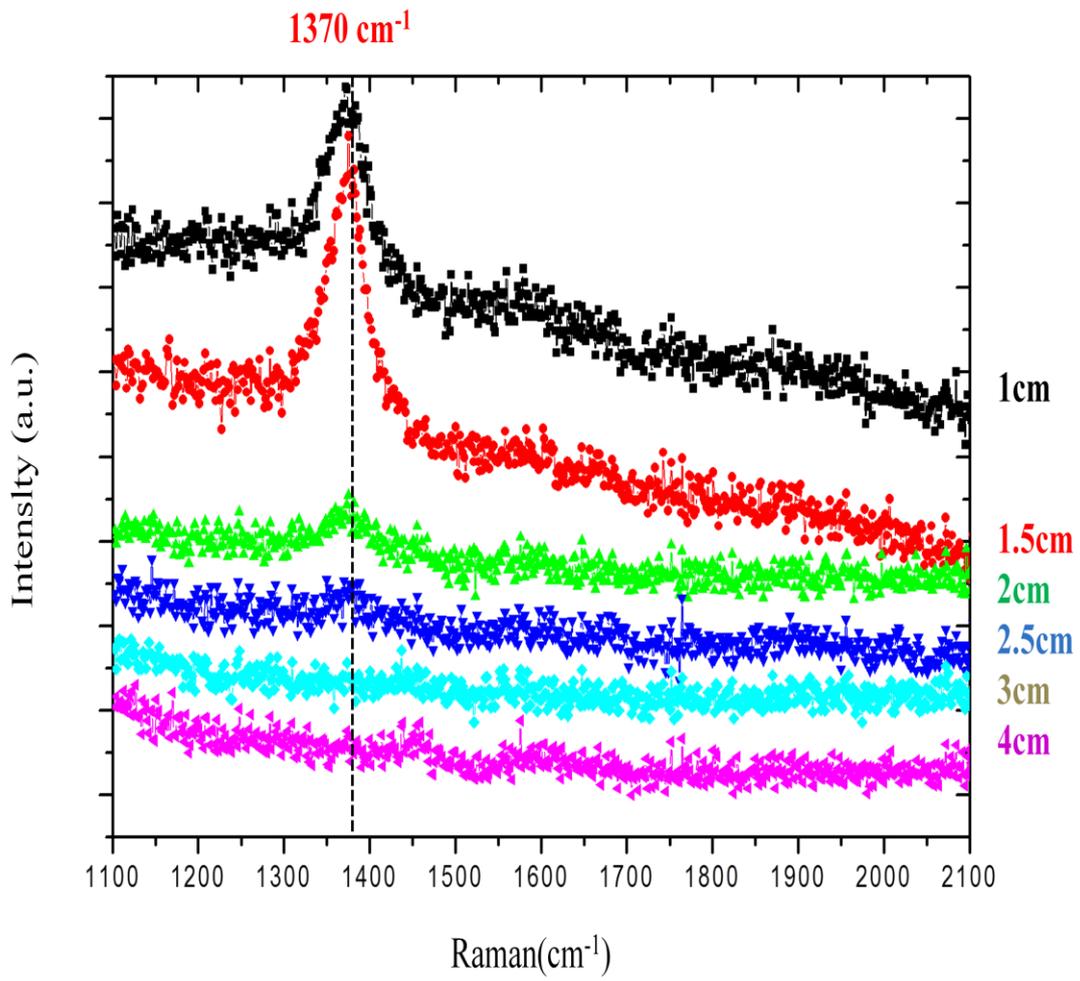


圖4-5 改變電極距樣品系列的Raman分析($1100\sim 2100\text{cm}^{-1}$)。

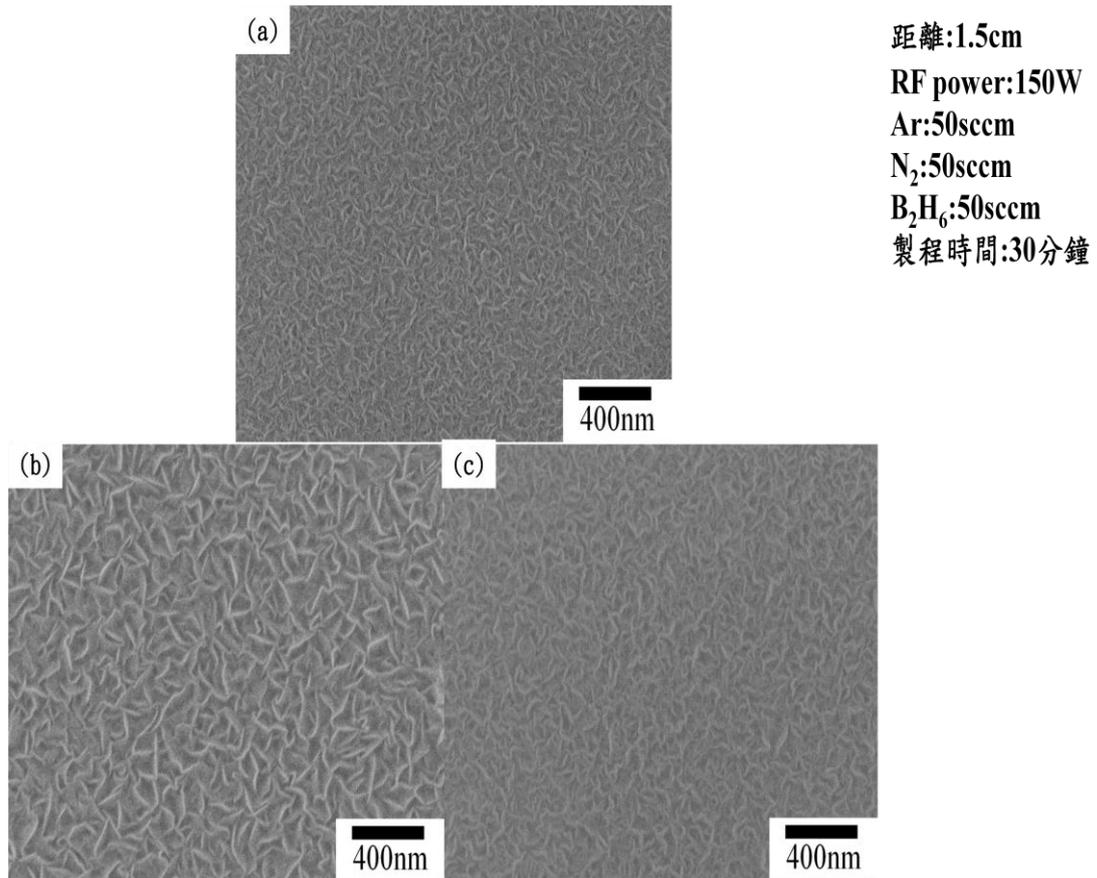


圖4-6 為製程壓力對h-BN奈米片的樣貌影響(低倍率下的SEM圖)(a)為製程壓力1torr的樣品、(b)為製程壓力0.5torr的樣品、(c)為製程壓力0.3torr的樣品。

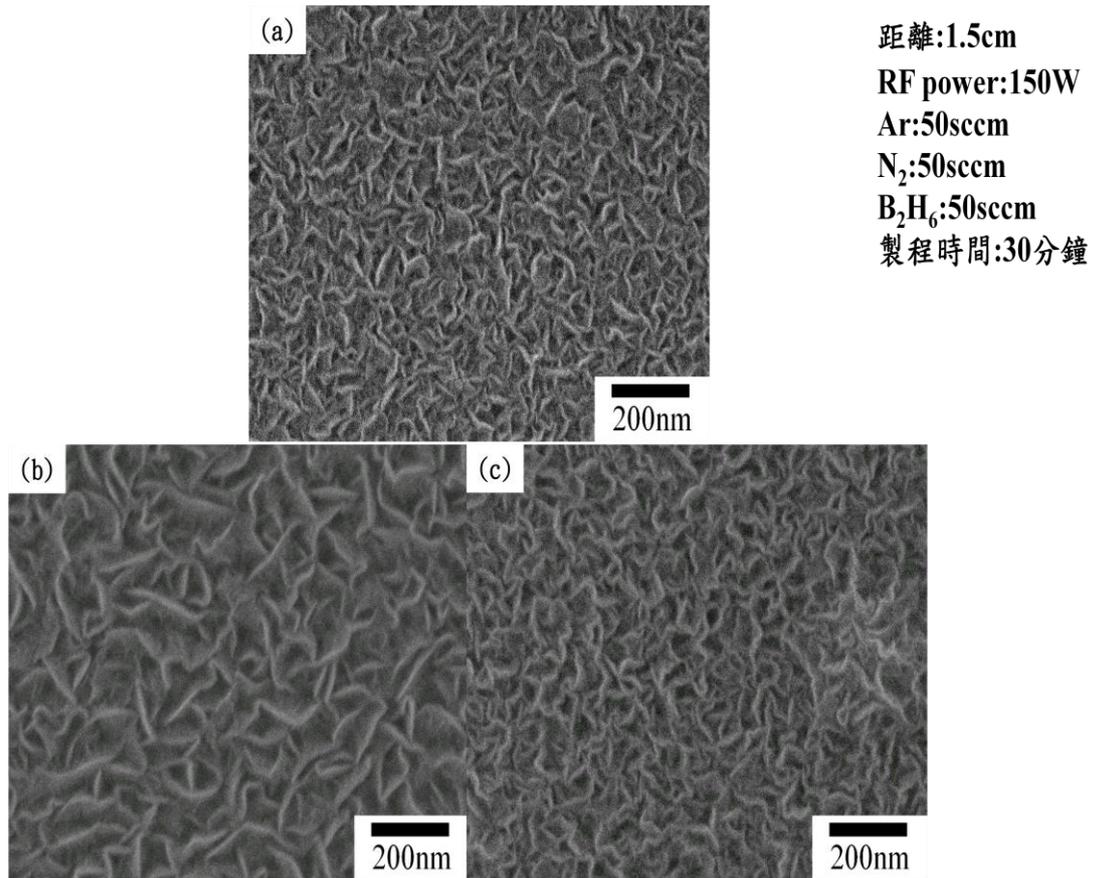


圖4-7 為製程壓力對h-BN奈米片的樣貌影響(高倍率下的SEM圖)(a)為製程壓力1torr的樣品、(b)為製程壓力0.5torr的樣品、(c)為製程壓力0.3torr的樣品。

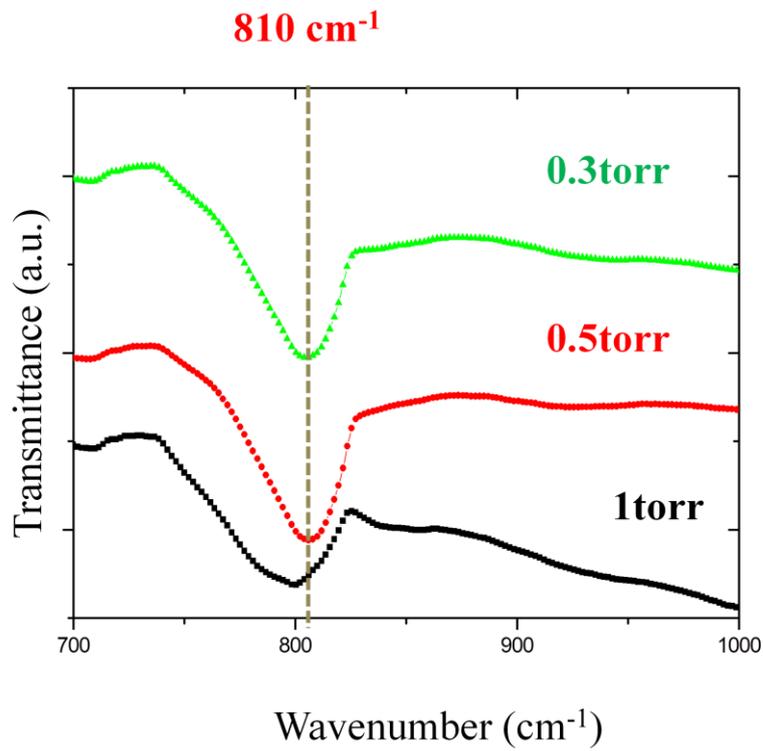


圖4-8 改變製程壓力樣品系列的FTIR分析(700~1000cm⁻¹)。

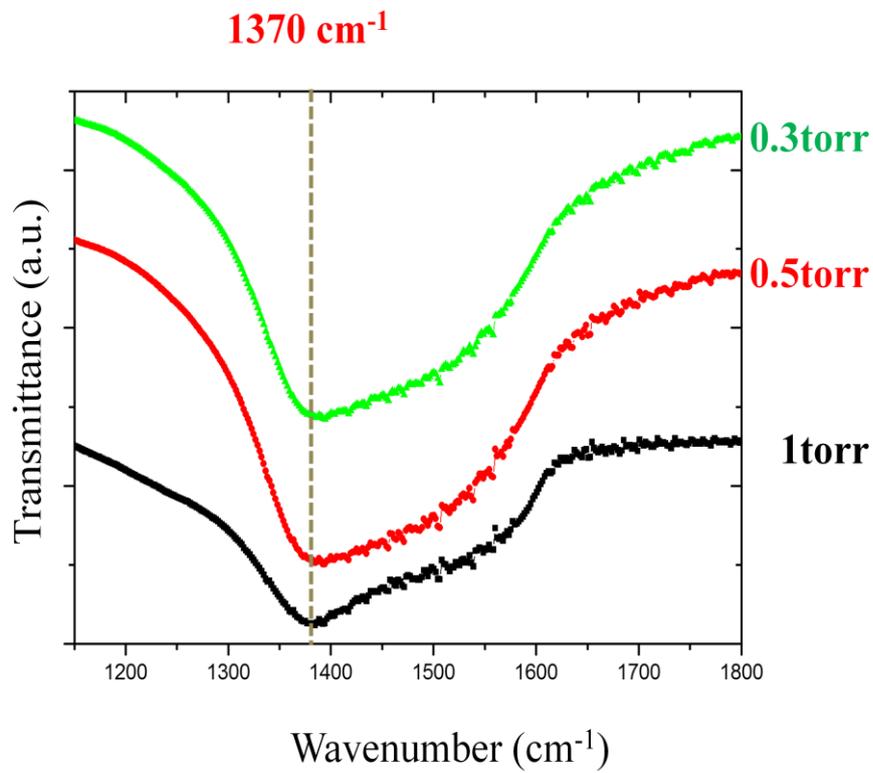


圖 4-9 改變製程壓力樣品系列的 FTIR 分析(1150~1800cm⁻¹)。

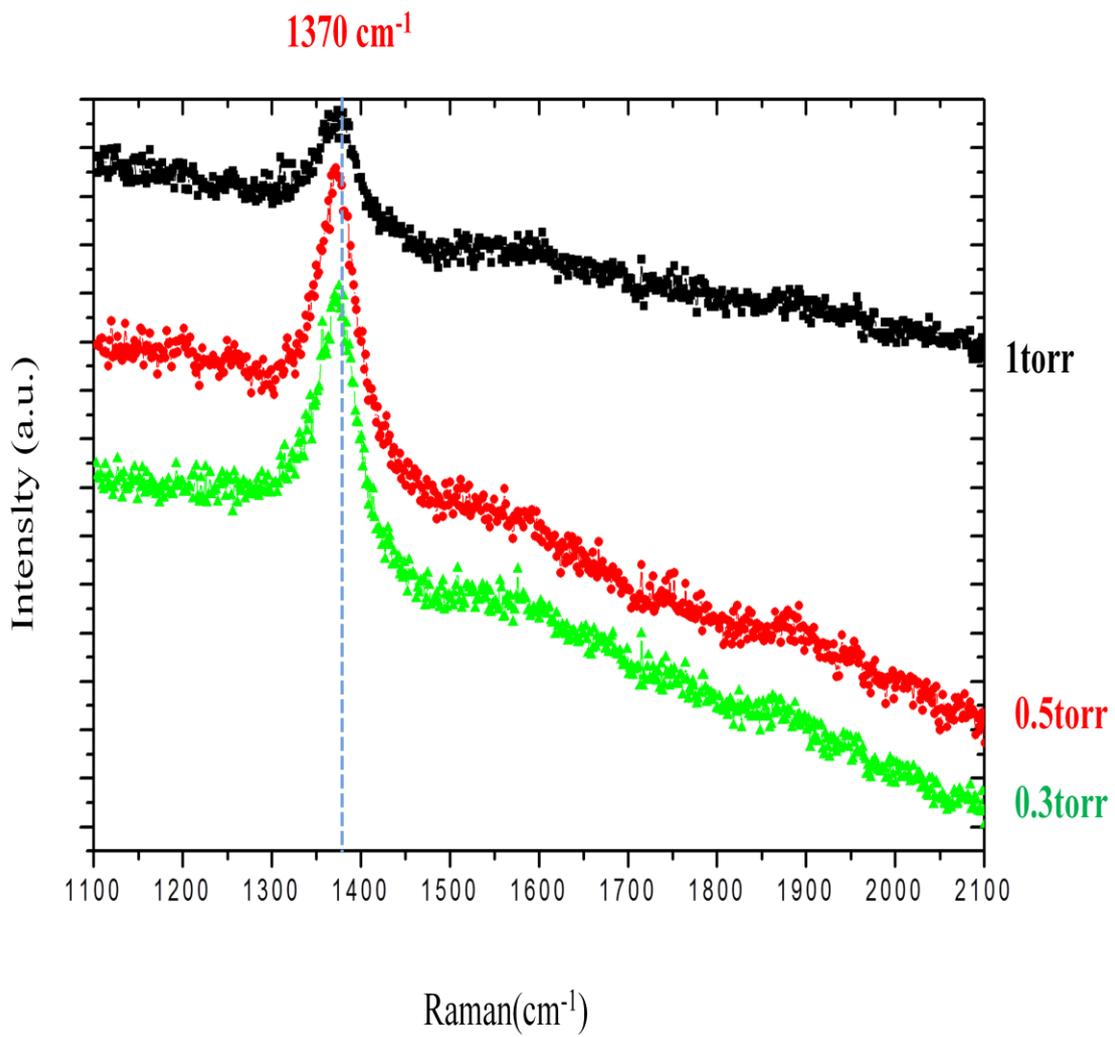


圖4-10 改變製程壓力樣品系列的Raman分析($1100\sim 2100\text{cm}^{-1}$)。

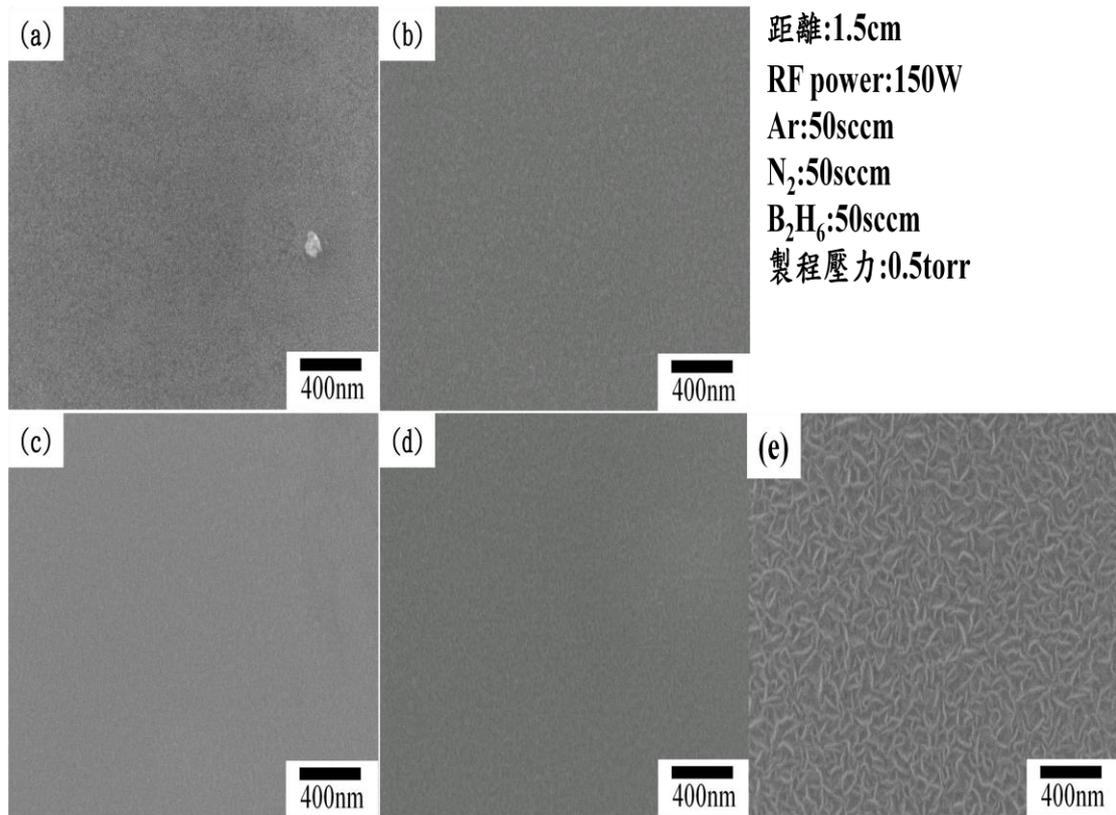


圖4-11 調變製程時間觀察奈米片成長狀況(低倍率的SEM圖) (a)為製程時間1分鐘的樣品、(b)為製程時間5分鐘的樣品、(c)為製程時間7.5分鐘的樣品、(d)為製程時間10分鐘的樣品、(e)為製程時間30分鐘的樣品。

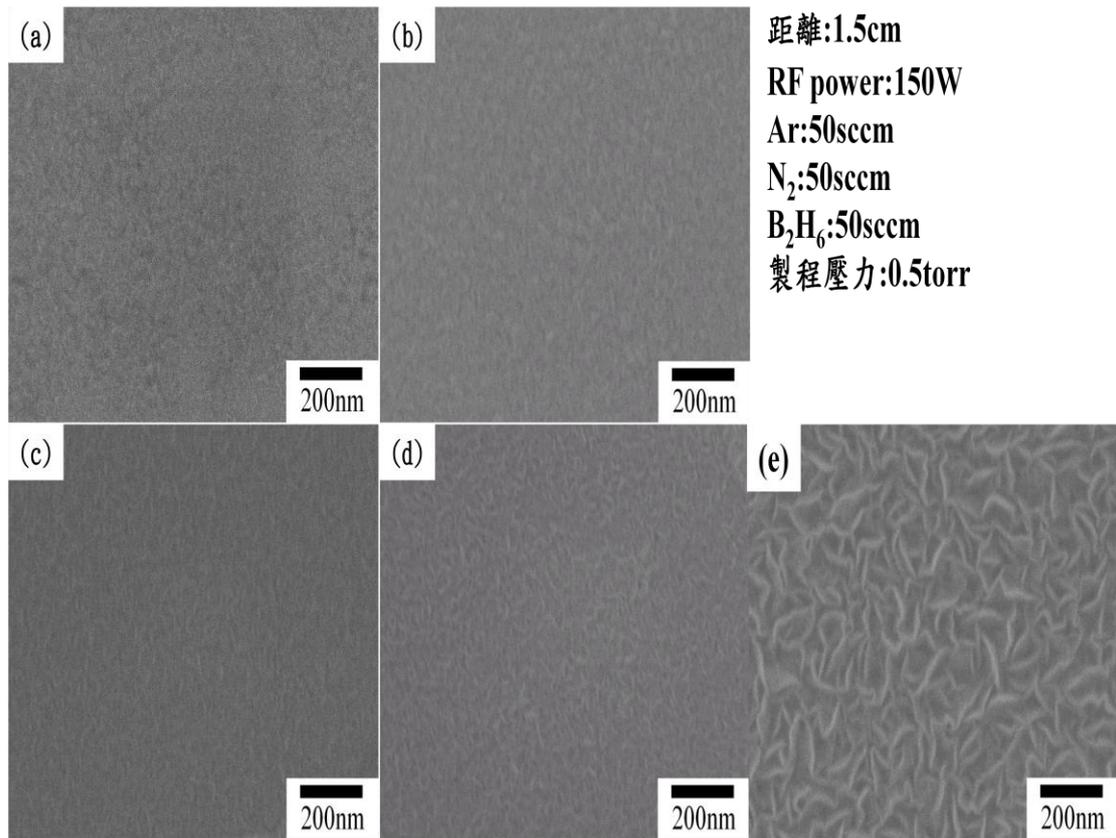


圖4-12 調變製程時間觀察奈米片成長狀況(高倍率的SEM圖) (a)為製程時間1分鐘的樣品、(b)為製程時間5分鐘的樣品、(c)為製程時間7.5分鐘的樣品、(d)為製程時間10分鐘的樣品、(e)為製程時間30分鐘的樣品。

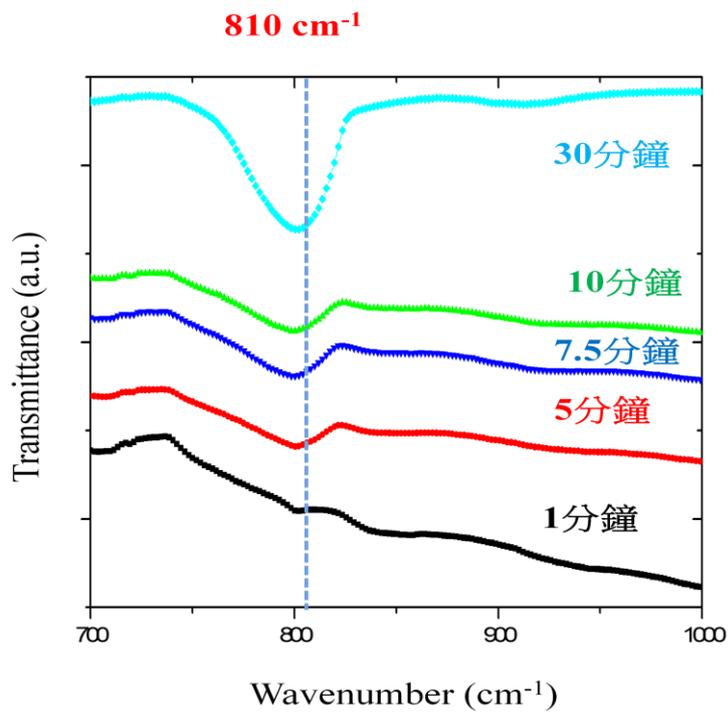


圖4-13 調變製程時間樣品系列的FTIR分析($700\sim 1000\text{cm}^{-1}$)。

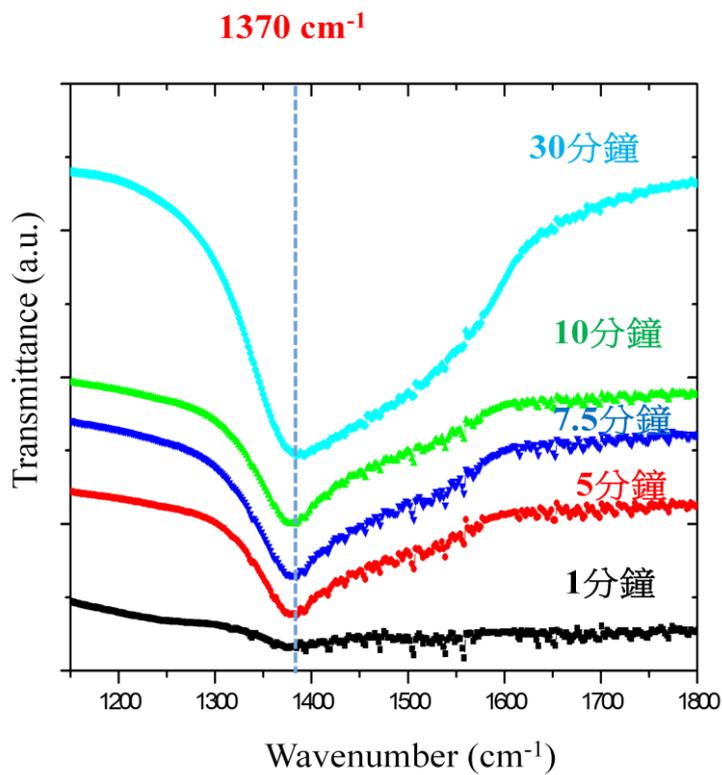


圖4-14 調變製程時間樣品系列的FTIR分析($1150\sim 1800\text{cm}^{-1}$)。

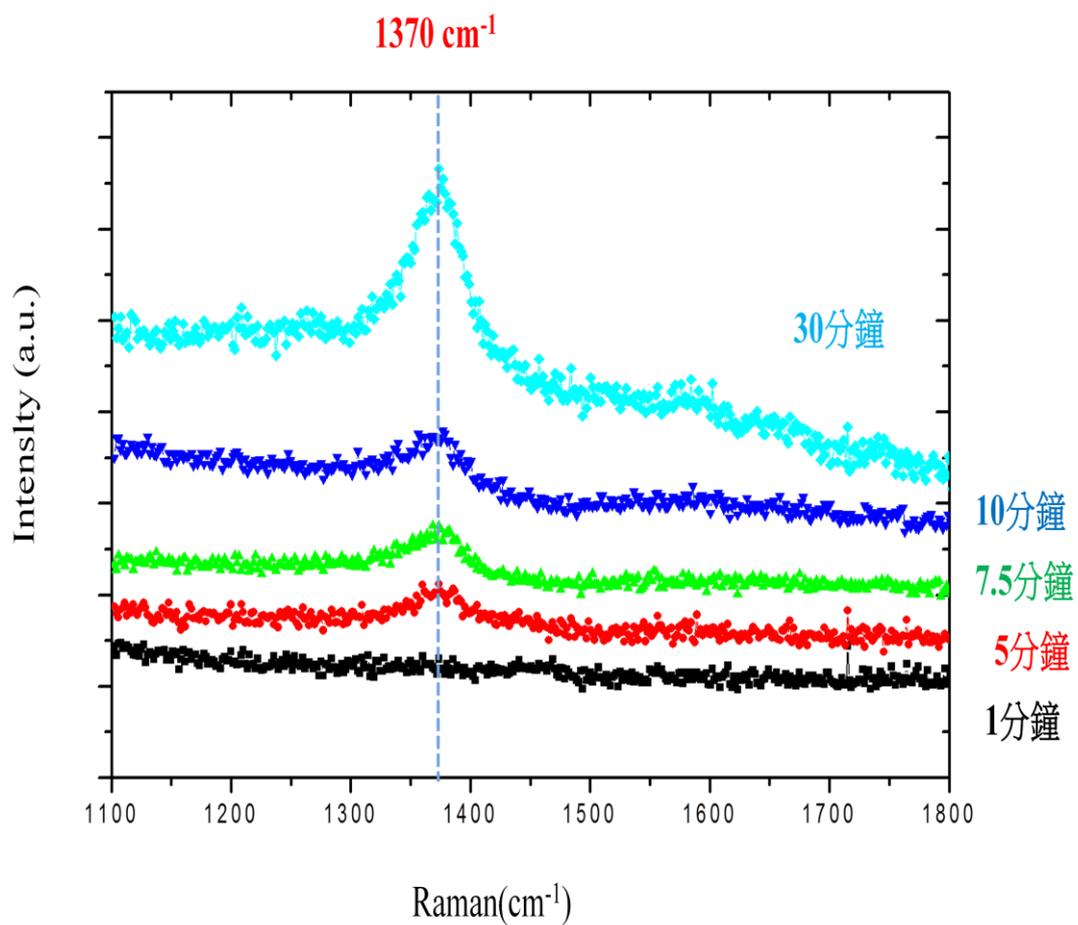


圖4-15 調變製程時間樣品系列的Raman分析($1100\sim 2100\text{cm}^{-1}$)。

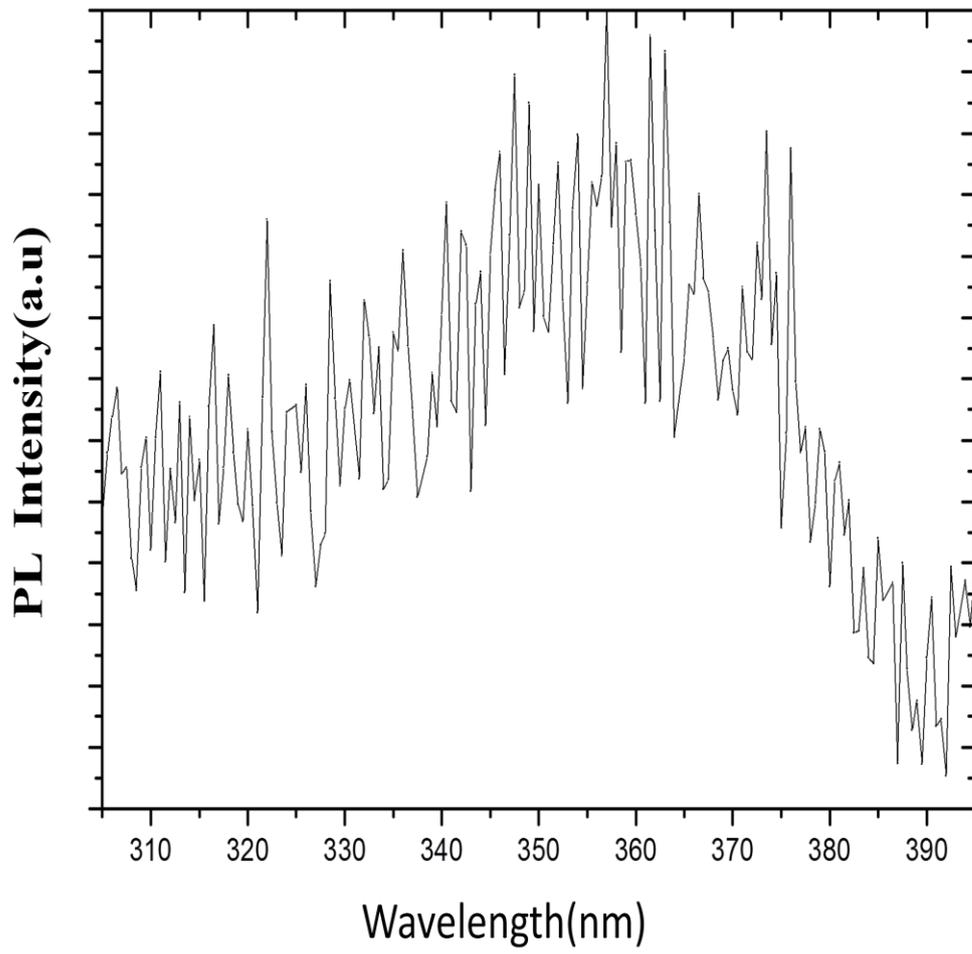


圖4-16 六方晶系氮化硼奈米片PL光譜分析。

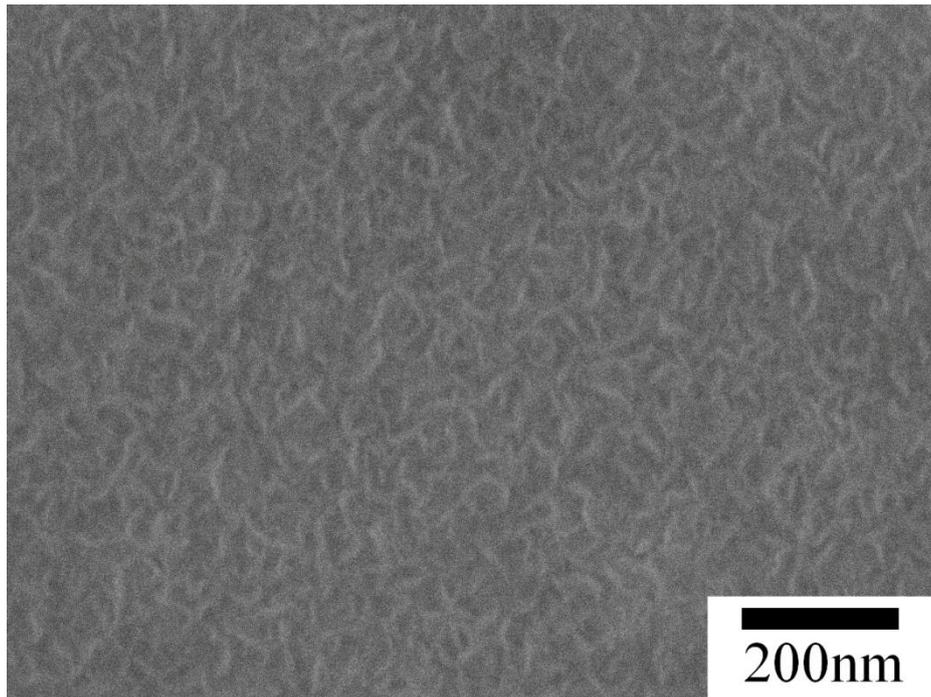


圖4-17 在鋁箔可撓式基板沉積六方晶系氮化硼奈米片。

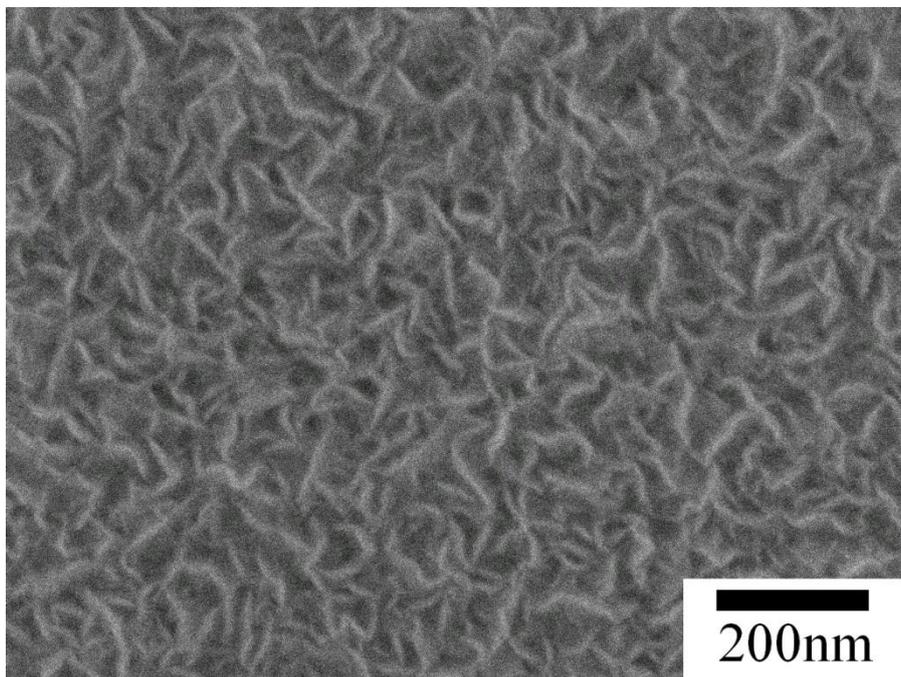


圖4-18 在單晶矽基板上沉積六方晶系氮化硼奈米片。

第五章

結論

本研究成功以超高射頻電漿輔助化學氣相沉積系統在低溫環境下合成出六方晶系氮化硼奈米片。其中選擇的最佳條件為：氣體流量氫氣:50sccm、氮氣:50sccm、二硼烷:50sccm；RF射頻功率為 瓦數：150瓦、成長壓力：0.5 torr、上下電極距離距離1.5公分。六方晶系氮化硼奈米片在SEM圖越趨向片狀形貌其在FTIR光譜分析及Raman光譜分析上六方晶系氮化硼的訊號也就越強烈，可推測SEM圖顯示奈米片越大其h-BN結構越好，並且發現h-BN奈米片成長情況並不是從基板表面就開始成長，而是先沉積氮化硼薄膜然後逐漸在薄膜上成核成長出氮化硼奈米片。將合成在單晶矽基板上的六方晶系氮化硼奈米片，透過光激發螢光光譜儀分析，發現在305nm-395nm的紫外光區有發光特性，但並不是高純度六方晶系氮化硼光激發螢光光譜的位子，極有可能是其結構缺陷造成的結果，顯示了其製程方式還需要改良繼續提高其奈米片之結構。本實驗也成功在鋁箔可撓式基板上沉積出六方晶系氮化硼奈米片，但是其樣貌及結構卻沒有如單晶矽基板一樣，可見此方式合成出六方晶系氮化硼奈米片依然會受基板結構影響，因此要如何能夠沉積出相同的樣貌及結構的六方晶系氮化硼奈米片並且有良好的紫外光特性將是之後工作的首要條件。

參考文獻

- [1] S. Cho, Appl. Phys. Lett, 75, 2761-2763 (1999).
- [2] Kenji Watanabe, Nature, 3, 404-409(2004).
- [3] Yoichi Kubota, Science 317, 932(2007).
- [4] Ellen Y, J. Am. Ceram, 80, 3, 609-14 (1997).
- [5] 成會明, 奈米碳管 Carbon naotube 初版,五南出版社(2004).
- [6] D. Golberg, Diamond and Related Materials, 12, 1269–1274 (2003).
- [7] T. Hirano. Diamond and Related Materials, 9, 625–628(2000).
- [8] Jie Yu, ACS NANO, 4, 1, 414–422(2010).
- [9] 李姿青, 東海大學物理學系,碩士論文(2003).
- [10] T Kitamurat, Sci. Technol, 2, 40-45(1993).
- [11] Mineo Hiramatsu, Masaru Hori, Carbon Nanowalls Synthesis and Emerging Applications, SpringerWienNewYork, (2010).
- [12] A. Zunger, Phys, 13, 12, 5560(1976).
- [13]王英儒, 東海大學物理學系, 碩士論文(2011).
- [14]沈冠瑜, 東海大學物理學系, 碩士論文(2011).