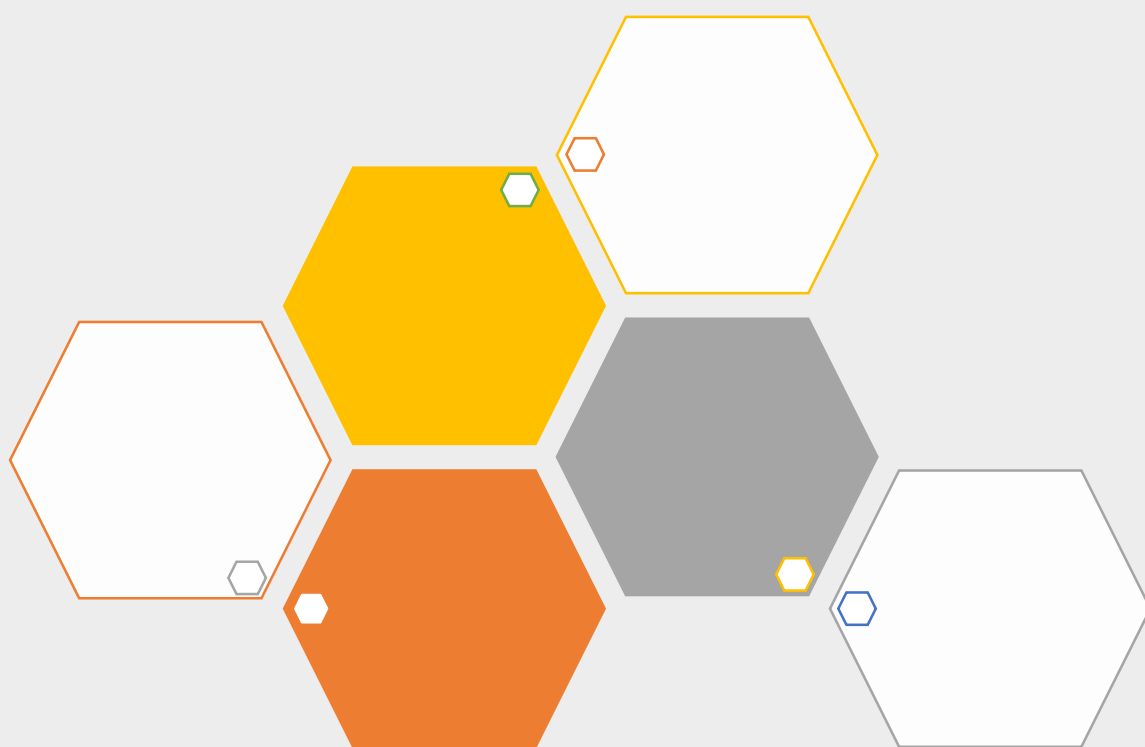


2019年 5月

學生專題研究 論文集



東海大學應用物理系

目錄

Fabrication and Characterization of Electrically Controllable Gratings using Interdigitated Electrodes with Bowl Structures	1
(日)物理三 S06210018 朱俐安 指導老師：黃家逸	
Fabrication and Characterization of Liquid Crystal Elastomers using Liquid Crystal and Polymer Composite Films.....	3
(日)材料四 S05211036 林宇軒 指導老師：黃家逸	
非監督式深度學習網路果蠅腦神經元型態分群	5
(日)物理三 S06210004 徐楷昕 指導老師：施奇廷	
使用卷積神經網路對果蠅腦神經細胞本體的偵測	7
(日)物理三 S06210010 謝獻賢 指導老師：施奇廷	
果蠅神經元特徵點之空間距離與路徑分析	9
(日)物理三 S06210011 李茂玄 指導老師：施奇廷	
隨機漫步(Random walk).....	11
(日)物理三 S06210013 程大榕 指導老師：吳桂光	
用卷積神經網路分析神經纖維的角度分布	13
(日)物理三 S06210024 黃品捷 指導老師：施奇廷	
機器學習在 Ising Model 中的熱相變	15
(日)材料四 S05211007 劉哲宇 指導老師：吳桂光	
以深度學習的技術預測神經元細胞本體的位置	17
(日)光電四 S05212013 黃關明 指導老師：施奇廷	
機器學習在 Ising Model 中四角晶格的熱相變	19
(日)光電四 S05212016 葉恩良 指導老師：吳桂光	

機器學習在 Ising Model 三角晶格的熱相變之探討	21
(日)光電四 S05212032 朱羿蓁 指導老師：吳桂光	
瓶中造粒(奈米微粒)	23
(日)物理三 S06210006 陳芊羽 指導老師：王昌仁	
Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ 多晶膜的結構及多鐵性之研究	25
(日)物理三 S06210008 陳柏鈺 指導老師：王昌仁、張晃暉	
濺鍍法製備 Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 薄膜於玻璃基板研究 其結構與鐵電性	27
(日)物理三 S06210017 曾庭郁 指導老師：王昌仁、張晃暉	
Ni₈₀Co₂₀ 合金薄膜磁性與異向性磁阻之研究	29
(日)物理三 S06210020 林維暘 指導老師：王昌仁、張晃暉	
Nb 與 Nb₃Al 奈米微粒的製作	31
(日)物理三 S06210028 張兆安 指導老師：王昌仁	
CoFe/MnN 薄膜磁性之研究	33
(日)物理三 S06210029 呂孟真 指導老師：王昌仁、張晃暉	
瓶中造粒(奈米微粒)	35
(日)物理三 S06210034 陳亮吟 指導老師：王昌仁	
以化學共沉法製造磁流體	37
(日)物理三 S06210041 林畊佑 指導老師：王昌仁	
Bi_{0.95}R_{0.05}FeO₃ 多晶薄膜結構及多鐵性之研究 (R=La, Pr, Nd, Sm, and Ho)	39
(日)物理三 S06210042 宋翌瑄 指導老師：王昌仁、張晃暉	
透過快速升溫退火爐製備高磁能積 Fe_xPt_{100-x} 薄膜 (x=60-66)	41
(日)物理三 S06210049 楊青如 指導老師：王昌仁、張晃暉	

在玻璃基板上鍍製 Co/MnPt 和 MnPt/Co 多晶薄膜結構及 交換偏壓之比較	43
(日)材料四 S05211012 賴郁茹 指導老師：王昌仁、張晁暉	
以脈衝雷射製備 ITO/(Bi,Nd)FeO₃ 薄膜於玻璃基板及 其結構與光伏性質之研究	45
(日)材料四 S05211013 喬昱智 指導老師：王昌仁、張晁暉	
Cu 頂層擴散提高 FePd 薄膜矯頑力之研究	47
(日)材料四 S05211018 林柏槐 指導老師：王昌仁、張晁暉	
以放電加工技術製造 FePd 奈米微粒.....	49
(日)材料四 S05211020 翁培峯 指導老師：王昌仁	
Co/NiMn 膜結構及磁性之研究	52
(日)材料四 S05211021 劉易昇 指導老師：王昌仁、張晁暉	
ZrO₂ 薄膜結構與鐵電性之研究.....	54
(日)材料四 S05211022 廖若涵 指導老師：王昌仁、張晁暉	
FePt 薄膜磁性及應力之研究	56
(日)材料四 S05211030 洪振瑜 指導老師：王昌仁、張晁暉	
Fe_{100-x}Si_x 薄膜晶體結構及磁性之研究.....	58
(日)材料四 S05211040 劉宇修 指導老師：王昌仁、張晁暉	
具優越磁-機械性質之定向凝固 Fe₈₁Al₁₉ 合金.....	60
(日)材料四 S05211042 廖昱勛 指導老師：王昌仁、張晁暉	
矽奈米線紙製作與特性分析	62
(日)材料四 S05211028 何英鉸 指導老師：蕭錫鍊	
碳化矽奈米管之合成與特性分析	64
(日)光電四 S05212007 王政歲 指導老師：蕭錫鍊	
全固態鋰離子電池之陰極薄膜製備研究	67
(日)光電四 S05212018 何名元 指導老師：蕭錫鍊	

全包覆矽奈米線三明治結構壓力感測器之研究	71
(日)光電四 S05212023 陳宥全 指導老師：蕭錫鍊	
全固態鋰離子電池陽極之研究	76
(日)光電四 S05212034 陳政遠 指導老師：蕭錫鍊	
以 DAQ 控制光學振鏡做圖像顯示	78
(日)物理三 S06210007 林鈺晟 指導老師：林宗欣	
石墨烯量子點動力學行為的探討	80
(日)物理三 S06210039 吳冠箴 指導老師：林宗欣	
近軸光學隱身數	82
(日)物理三 S06210044 謝芊芊 指導老師：林宗欣	
探討都普勒效應	84
(日)物理三 S06210050 林捷穎 指導老師：林宗欣	
光學切片(optical section)	86
(日)物理三 S06210057 高榮廷 指導老師：林宗欣	
利用光空間調製器製作數位全像	88
(日)物理三 S06210060 蕭育暉 指導老師：林宗欣	
利用反向製程製作高分子發光二極體	90
(日)光電四 S05211035 廖智煌 指導老師：黃家逸	
利用具有網格之液晶薄膜檢測有機溶液及氣體	92
(日)光電四 S05212001 李鼎燊 指導老師：黃家逸	
利用具有光阻網格垂直配向液晶樣本優化檢測 汞離子水溶液	94
(日)光電四 S05212002 劉原銘 指導老師：黃家逸	
具有網格之平面隱形眼鏡膜開發溼度感測器	96
(日)光電四 S05212031 王亭勻 指導老師：黃家逸	

具有碗狀結構的共平面切換電極之藍相液晶盒 99

(日)光電四 S05212036 馬翊宸 | 指導老師：黃家逸

Fabrication and Characterization of Electrically Controllable Gratings using Interdigitated Electrodes with Bowl Structures

朱俐安(s06210018)*

黃家逸副教授

*Email: qaz7895123852@gmail.com

摘要

利用黃光微影製程、薄膜沉積以及舉離法製做具有碗狀結構的指插銀電極。直流電源供應器對此電極施加電壓，並用光功率計量測 1 階繞射光的功率。當銀薄膜的厚度為 500 nm 時，1 階繞射光功率隨著電壓增加而單調降低。這個結果起因於指插銀電極上的靜電場造成結構改變，抑止光的繞射。當銀薄膜的厚度超過 500 nm 時，1 階繞射光功率隨著電壓增加而呈現阻尼振盪。具有碗狀結構的指插銀電極是一個電控光柵元件，可以應用於光束偏折器以及分光器。

簡介

光柵(Grating)為光學領域中重要的元件之一，可以應用於虛擬實境裝置(Virtual Reality Device)、抬頭顯示器(Head Up Display)以及人臉辨識系統(Face Recognition System) [1]。因此光柵的開發是很重要的。2016 年 Weng 等人利用模擬軟體設計出繞射效率接近 100% 的膽固醇液晶光柵，並且此元件兩個一階繞射光的角度達 120 度[2]。2017 年 Xiang 等人利用多層堆疊的液晶薄膜開發繞射效率接近 100% 的光柵元件，並且此元件兩個一階繞射光的角度達 84 度[3]。由此可知現今的光柵開發著重於高繞射效率以及大繞射角度。然而，在他們的研究中，光柵的繞射光強度都無法調控。這個缺點限制了光柵在虛擬實境裝置、抬頭顯示器以及人臉辨識系統的應用。

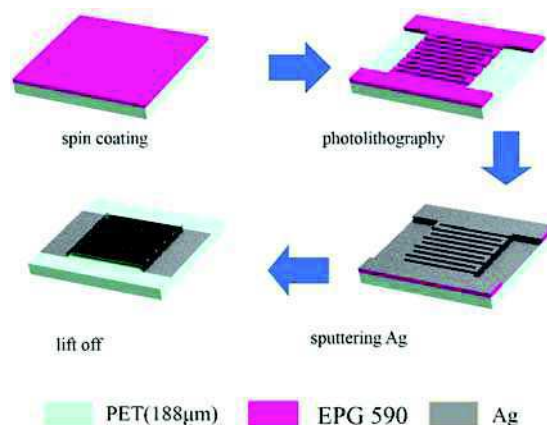
此實驗可以利用黃光微影技術做出具有碗狀結構的一維光柵元件。將直流電壓施加在碗狀結構上，由於靜電力吸引，使得碗狀結構上的側壁產生傾倒。因為光柵結構的改變，所以一階繞射光功率下降。當電壓釋放後，側壁回復至未加電壓時的狀態，因此一階繞射

光功率增加至初始值。如此的光柵可以用於開發電可控的繞射元件。

研究方法

利用厚膜正光阻(EPG 590, 永光化學)在塑膠基板上做出高度為 12 μm 的指插電極(Interdigitated electrode)光阻圖案。接著，在光阻圖案上沉積銀金屬薄膜。最後，利用舉離法製做出具有碗狀結構的指插銀電極，如圖一。

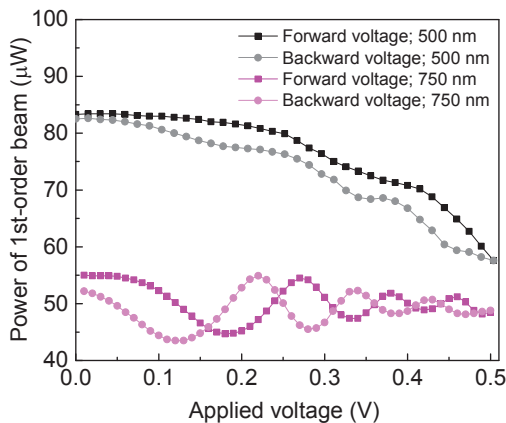
利用波長為 632.8 nm 的穩頻氦氖雷射光照射此電極，並且雷射光的偏振方向與銀電極的長邊垂直。使用直流電源供應器(2220-30-1, Keithley)對電極施加電壓，並且利用光功率計量測電極在不同電壓下的繞射光功率。



圖一：具有碗狀結構之光柵元件的製程。

結果與討論

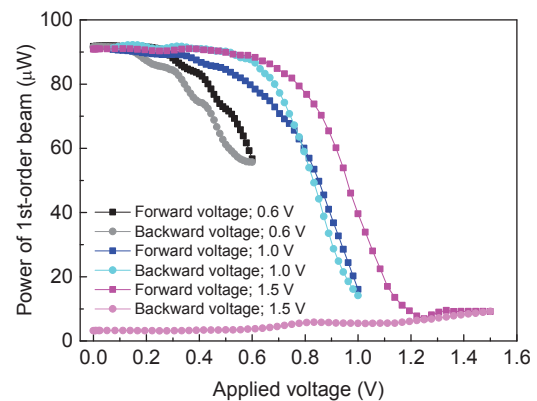
圖二顯示厚度為 500 nm 以及 750 nm 之銀薄膜的繞射光功率對電壓關係。實驗結果發現，當厚度為 750 nm 時，一階繞射光功率會隨著電壓的增加而產生阻尼震盪。這個結果起因於銀薄膜的太厚，導致碗狀結構上的側壁受到靜電力的作用後，又回彈至初始的位置，因此側壁在靜電力的作用下會產生擺動。當銀薄膜的厚度降低為 500 nm 時，一階繞射光功率會隨著電壓的增加而降低。這個結果起因於相鄰側壁在靜電力的作用下會逐漸接觸，使得所有側壁相連，導致光柵結構消失，因此繞射光功率隨電壓而減小。當電壓減少時，一階繞射光功率會增加，並且會回復到未加電壓時的光功率值。這個結果說明，具有碗狀結構的指插銀電極是一個電可控的光柵元件。與厚度為 750 nm 的銀薄膜相比，銀薄膜厚度為 500 nm 之光柵的一階效率變化最大，因此往後的實驗皆採用厚度為 500 nm 的銀薄膜製做具有碗狀結構的光柵元件。



圖二：銀薄膜厚度為 500 nm 以及 750 nm 之具有碗狀結構光柵元件的繞射光功率對電壓關係。

圖三為具有碗狀結構光柵元件的耐壓極限測試。對光柵元件施加電壓，由 0 V 上升至 0.6 V，接著由 0.6 V 降回 0 V。在這兩個 0 V 下，光柵元件具有相同的繞射光功率。接著持續對光柵元件施加電壓，由 0 V 上升至 1.0 V，接著由 1.0 V 降回 0 V。在這兩個 0 V 下，光

柵元件依然具有相同的繞射光功率。因此，這些結果指出光柵元件在 0.6 V 以及 1.0 V 的電壓下，具有可回復的特性。當電壓由 0 V 上升至 1.5 V，接著由 1.5 V 降回 0 V。在這個降電壓的過程中可以發現，繞射光功率幾乎沒有變化。這個結果起因於高電壓導致具有碗狀結構之指插銀電極的側壁倒塌，使得一階繞射光消失。因此，當電壓高達 1.5 V 時，光柵會因為電壓過高而造成不可回復。



圖三：具有碗狀結構光柵元件的耐壓測試。

結論

實驗結果顯示具有碗狀結構的指插銀電極是一個電可控的光柵元件，可以用於開發虛擬實境裝置、抬頭顯示器以及人臉辨識系統。此電極的耐壓極限介於 1.0 V 至 1.5 V 之間。若施加的電壓高於耐壓極限，碗狀結構的側壁倒塌，造成 1 階光功率消失，並且電極失去可調控的特性。

參考文獻

- [1] C. Palmer, *Diffraction grating handbook*, (Richardson Grating Laboratory, 2014).
- [2] Y. Weng, D. Xu, Y. Zhang, X. Li, and S. T. Wu, "Polarization volume grating with high efficiency and large diffraction angle," *Optics Express* 24(16), 17746 (2016).
- [3] X. Xiang, J. Kim, R. Komanduri, and M. J. Escuti, "Nanoscale liquid crystal polymer Bragg polarization gratings," *Optics Express* 25(16), 19298 (2017).

Fabrication and Characterization of Liquid Crystal Elastomers using Liquid Crystal and Polymer Composite Films

林宇軒(s05211036)*

黃家逸副教授

*s05211036@thu.edu.tw

摘要

液晶彈性體是一種獨特的材料，它具有彈性體的特性。我們將利用丙酮，使液晶彈性體產生大且可逆的形變。經過配向的液晶在接觸丙酮的時候會產生排列方向的改變，液晶的方向改變帶動彈性體產生塑形形變。當塑形形變的彈性體再次接觸丙酮的時候，液晶分子的排序再次被打亂，彈性體會恢復成原始平直的狀態。通過實驗我們知道液晶彈性體的捲曲速度和與丙酮的接觸時間成正比關係，同時液晶彈性體接觸丙酮次數越多捲曲速度越快。依此特性我所使用的液晶彈性體可以作為對丙酮的有機溶劑檢測器。由於液晶彈性體的捲曲形變量很大，也可以以此為基礎，延伸通過捲曲提供動力的傳動裝置。

簡介

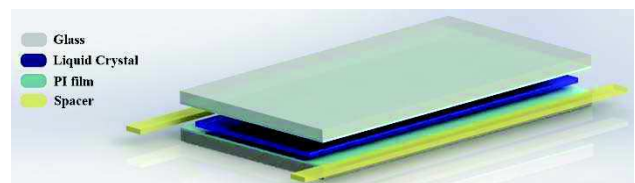
M. Yamada 等人將液晶彈性薄膜做成履帶並包覆在軸承上，用以開發光驅動引擎[1]。當紫外光照射在小承軸上時，履帶會收縮。接著，利用可見光照射大承軸，履帶伸張。在伸縮的作動下，承軸開始轉動。這種轉動是將光能直接轉變為動能，所以能量的轉換效率很高。因此，液晶彈性體可以用來開發光引擎。

光驅動引擎所需的光源是使用電力公司的電能，所以依然是電能與機械能的轉換，而且穩定的紫外光源在現實生活中並不常見。實驗結果發現，液晶彈性體接觸丙酮後，丙酮的揮發會造成液晶彈性體產生彎曲。當液晶彈性體再次接觸丙酮時，液晶彈性體會伸直。因此，液晶彈性體可以開發為化學溶劑驅動引擎。由於液晶彈性體是一個可控的機械結構，因此有潛力用於開發新型動力裝置。

研究方法

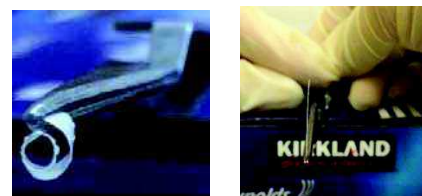
液晶彈性體前驅物由單體分子 Trimethylolpropane triacrylate (TMPTA, 景明化工)和向列型液晶(HTW114200-100, 江蘇

合成)、光起始劑 IRG 184, 景明化工)組成。將前驅物灌入具有配向膜(Polyimide, PI)空盒中，再將其放入溫度控制器，如圖一。當溫度降低至前驅物的相變點時，利 UV 光使其聚合成彈性體。最後拆盒，取出液晶彈性體。



圖一：灌入液晶的液晶盒。

用鑷子固定其中一端，浸入丙酮中，使用錄影機和量角器記錄彈性體浸入丙酮前後的變化，如圖二



(a)

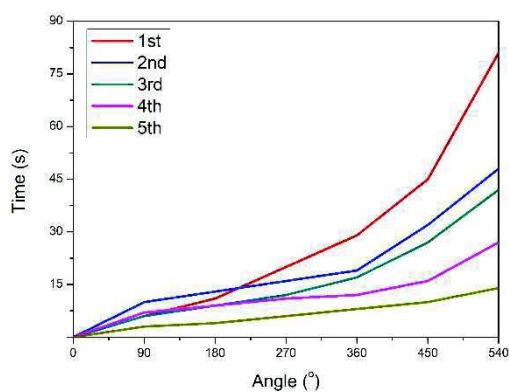
(b)

圖二：(a) 接觸丙酮後，液晶彈性體捲曲的照片。(b)丙酮揮發前，液晶彈性體伸直的照片。

結果與討論

反應次數與捲曲速度的關係

選取長邊垂直配向方向，短邊沿配向方向的長方形液晶彈性體。用鑷子夾住固定一端，浸入丙酮中 5 秒後取出靜置，彈性體逐漸捲曲，用錄影機和量角器記錄彈性體彎曲角度和所需時間。待彈性體不再形變後靜置一小時，再浸入丙酮，此時捲曲的液彈性體因為與丙酮反應會伸展成平直的形狀，浸泡 5 秒後取出靜置，離開丙酮後彈性體再次開始捲曲，同樣使用錄影機和量角器記錄彈性體彎曲角度和所需時間。重複以上步驟共五次，並將所得數據整理製圖。



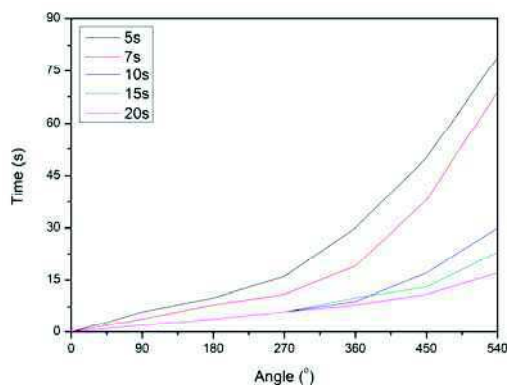
圖三：與丙酮反應不同次數的對比。

由圖三可以明顯看出隨著彈性體浸丙酮的次數增加，彈性體的捲曲速度變快。需要注意的是在液晶彈性體剛從丙酮中取出時由於彈性體上殘留有部分丙酮，所以在丙酮完全揮發前彈性體持續與殘留的丙酮反應，彈性體會保持平直一小段時間，圖三為忽略丙酮揮發前無變化階段(即從液晶彈性體開始彎曲時計時)的角度-時間關係圖。

反應時長與捲曲速度的關係

選取新的一組液晶彈性體。用鑷子固定一端，浸入丙酮中 5 秒後取出靜置，用錄影機和量角器記錄彈性體彎曲角度和所需時間。再取新的一片彈性體重複以上步驟，依次更改浸

泡時間為 7 秒、10 秒、15 秒、20 秒，並將所得數據整理製圖。



圖四：與丙酮反應不同時間對比圖。

由圖(4)可以看出隨著彈性體浸丙酮的時間增加，彈性體彎曲所需的時間逐漸變短。在接觸時間大於 10 秒後，小角度變化速度近似，但彎曲到大角度的時間依然符合接觸越久形變越快的推論。圖(4)也是忽略僵直時間的角度-時間關係圖。

結論

由圖表數據可看出液晶彈性體在殘留丙酮揮發後，彎曲能力由強漸弱，最後定型，但再次接觸丙酮時液晶高分子薄膜會再次恢復平直形態，待丙酮揮發後再次開始彎曲。由此可看出液晶彈性體是具有可重複利用性的丙酮檢測器。我們可以利用液晶彈性體的這種彎曲、伸直的重複動作作為小型軸承運轉的動力，以此驅動機械的運作。

參考文獻

- [1] M. Yamada, M. Kondo, J. I. Mamiya, Y. Yu, M. Kinoshita, C. J. Barrett, and T. Ikeda, "Photomobile polymer materials: Towards light-driven Plastic motors," *Angew. Chem. Int. Ed.* 47, 4986 (2008).

非監督式深度學習網路果蠅腦神經元型態分群

徐楷昕(S06210004)

指導老師:施奇廷 *Email: kc8711213@gmail.com

摘要

人工智能開發日新月異，影像辨識就是其中一環，腦科學領域中原本必須人工辨識進行分類的腦神經元種類，也有了新的方向，透過人工智能的協助判定，可以減少人工分群中不客觀的個人主觀意識，使未來腦科學研究更為嚴謹且準確。本研究採用非監督式深度學習網路來進行演算法的訓練，透過非監督式的學習，或許能比監督式學習更能找出整體數據中最關鍵的特徵值，得以建構最準確的型態分類演算法。研究進展至數據前處理完成，將所得數據繪製成直方圖比對其差異。

簡介

人工智能在這幾年可謂蔚為風潮，應用層面也從紙上談兵到如今各行各業都有涉略，並且使得語音辨識、影像辨識都有了很大的突破，生物科技領域也基於此基礎進行新層面的研發。神經元種類和其功能有很大關聯，然而縱使台灣擁有引領全球的FlyCircuit果蠅大腦神經元影像庫，但人工分類神經元種類相對不客觀，會影響諸多生物研究進展，因此迫於開發一套能自動且客觀分類的程式來改善這些狀況

影像分類對於人類肉眼觀看，分類的依據不外乎就是型態，然而事實上有許多型態相似，卻群體完全不同的案例存在，針對這點，可以想到或許構成此神經元的物理數據對分類來說是相對重要的依據，然而大量的神經元難以人工進行運算，過於耗時耗力，本研究利用非監督式深度學習網路進行自動化分類演算法編寫，希望能寫出足夠客觀並且高效率的自動分類之人工智能

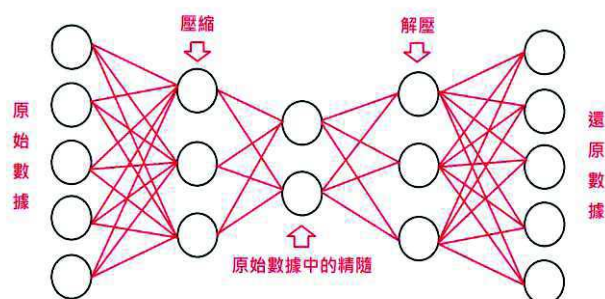
研究方法

使用清華大學的FlyCircuit果蠅大腦神經元影像庫，並且運用國網中心陳南佑博士開發的程式 FAST(Fast Automatic Structure Tracing)，中文可稱為快速自動結構追蹤，將三維空間影像解析出它的骨骼數據，例如本研究中所使用到的，長度、體積、神經元連接之截面積、神經元分叉點到分叉點間的直線距離...等，將四種特徵值分佈作直方圖，尋找直方圖間是否有關聯性，將這些大量的物理特徵作為矩陣，利用 autoencoder 將數據

降成 2 維，得出最後兩個特徵值，理應他們就是分類的最精隨的特徵值，以這兩特徵值為依據進行型態分類，比對人工分類出來的已知答案，得出分類準確率高低。

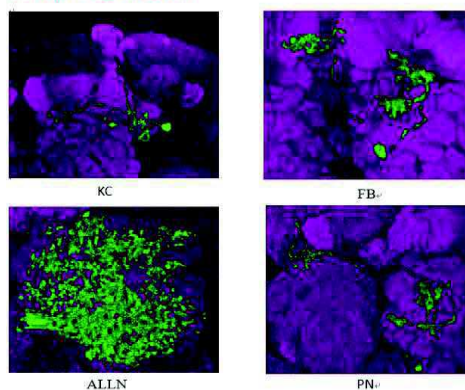
Autoencoder 中文可稱為自編碼器：

簡易來說是將原始數據進行降維運算，得出數據中最能代表總數據的特徵，再利用此特徵進行解壓還原成原本數據，並且比對原始數據，端看還原程度，還原越好，表示提取的特徵越能準確的代表整體數據



圖(一)Autoencoder 示意圖

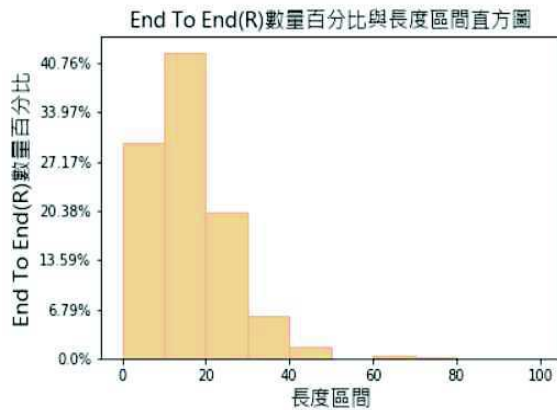
果蠅腦神經四種型態



圖(二)果蠅腦神經四種型態示意圖

進度報告與討論

將從 FAST 中得到的長度(Length)、體積(vol)、神經元連接之截面積(Ave.Area)、神經元轉折點到轉折點間的直線距離(End To End)...等，將四種特徵值作直方圖例如:End To End 直方圖如下



圖(三)End To End 直方圖

作圖的概念是希望畫出在單位區間長度內的 End To End 個數占總 End To End 數量的百分比，將每個神經元的 End To End 的分布畫出直方圖比對後，比較是否同種類型的神經元，它的分布會是一樣的，而目前只完成四種特徵值直方圖的程式碼架構，還沒有統一大量做出足夠多組數據圖進行人工分析。

結論

目前的研究進度還沒開始進展真正的主題，也就是神經元種類的分析，未來預計的目標是先將人工分析圖形分布狀況做為一參考紀錄，再將長度(Length)、體積(vol)、神經元連接之截面積(Ave.Area)、神經元轉折點到轉折點間的直線距離(End To End)...等，四種特徵值的數據串成數據矩陣，使用 Autoencoder 進行降維找尋最重點的特徵量，再以此為依據進行型態分類，再下一步，則是組合新的特徵量，利用現有四種物理特徵量，可以再組合出很多種物理量，曲度、轉動慣量...等，再使用 Autoencoder 進行降維，同樣的找尋最重點的特徵量，並再次進行型態分類比較，以上為目前的概況和未來預計進行之項目。

參考文獻

- [1] Fly Circuit (<http://www.flycircuit.tw/>)
- [2] Chi-Tin Shih, Nan-Yow Chen, Ting-Yuan Wang, Guan-Wei He, Ting-Kuo Lee, & Ann-Shyn Chiang. NeuroRetriever: Automatic neuron segmentation for connectome assembly. under preparation, 2019
- [3] Goodfellow I, Bengio Y, Courville A, et al. Deep learning[M]. Cambridge: MIT press, 2016.
- [4] Zeng, H., Sanes, J. Neuronal cell-type classification: challenges, opportunities and the path forward. *Nat Rev Neurosci* 18, 530–546, 2017

使用卷積神經網路對果蠅腦神經細胞本體的偵測

S06210010, 謝獻賢

指導老師: 施奇廷

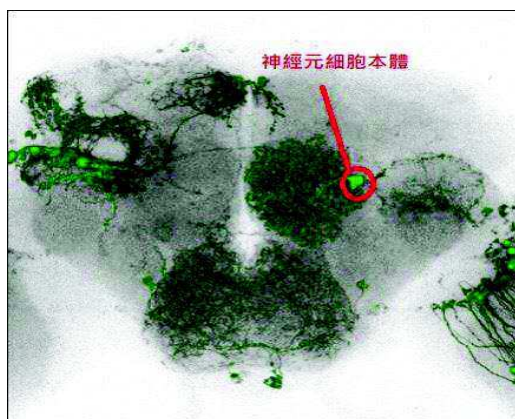
*Email: jjes11257@gmail.com

摘要

人工智慧是近幾年來社會發展的重點，深度學習的技術更是突飛猛進，使得近幾年來在電腦在影像辨識上有很大的突破。台灣有全世界最豐富的果蠅腦 3D 立體影像，早期使用人工分辨神經細胞本體，耗費太多人力與時間成本，且台灣的同步輻射研究中心之先進光源對大腦組織取得之 X 光微斷層掃描影像，將更快速的取得大量神經元的影像，為了減少人力與時間成本，所以打算以深度學習的方法去開發自動分析神經影像的方法，有效萃取出細胞本體的位置。

簡介

台灣擁有全世界最豐富的果蠅腦神經元影像，資料庫 FlyCircuit.com。早期使用人工分辨神經細胞本體，耗費太多人力與時間成本，為了減少人力與時間成本，而開發自動分析神經影像的演算法成則成為當前腦科學領域的當務之急。



神經元原始影像資料示意圖

在現代生活中人工智慧功能的身影已經充斥在我們的生活，舉凡交通、娛樂、醫療等。人工智慧是指人類製造出來的機器所表現出來的智慧，其討論研究的範圍很廣，包括：演繹、推理和解決問題、知識表示法、規劃與學習、自然語言處理、機器感知、機器社交、創造力等，而我們常常聽到的「機器學習」是屬於人工智慧的一部分，「深度學習」又屬於機器學習的另一部分。

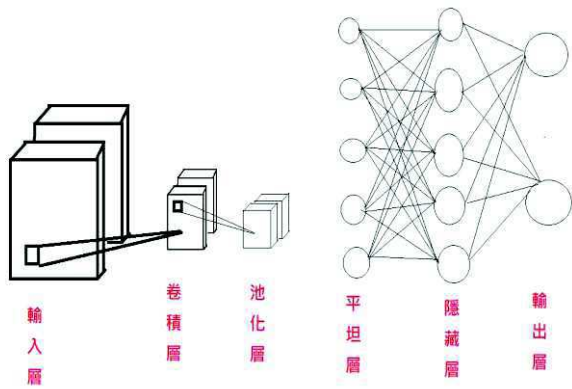
深度學習則是按照手邊的資料類型和研究問題，選擇使用特定的學習模型來訓練演算法。在深度學習中又包含監督式學習與非監督式學習。

在監督式學習模型裡，演算法使用有標記的資料集進行學習，提供答案讓演算法可用於評估運用這些資料進行訓練的準確性。相較之下，非監督式學習模型則是提供無標記的資料，演算法要試著自行從中找出特徵和模式來梳理脈絡。而在此研究中我想使用的是監督式學習。

在過去中曾經有人使用過機器學習做過神經影像分析，現在我們想要使用深度學習來做神經影像分析。

在神經科學的領域中，3 維神經影像建構與重建對於研究神經的功能與大腦如何運作極為重要的。

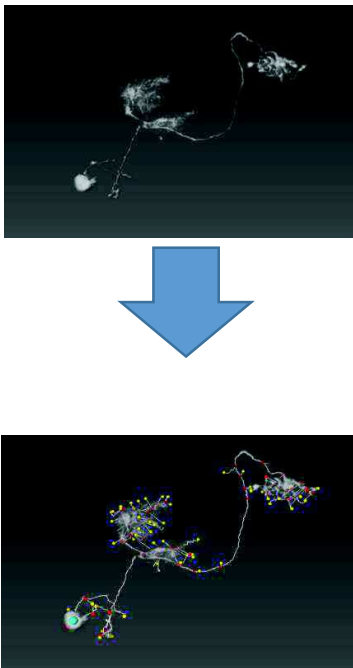
而我們嘗試使用深度學習中的卷積神經網路，是因為卷積神經網路在輸入影像時能維持其是三維的形狀，且與其他深度學習結構相比，卷積神經網路在圖像和語音辨識方面能夠給出更好的結果。這一模型也可以使用反向傳播演算法進行訓練。相比較其他，卷積神經網路需要考量的參數少，所以本次實驗主要以卷積神經網路為主要架構去搭建模型。



3D 卷積神經網路示意圖

研究方法

此實驗我們的用來訓練與測試的資料來自果蠅大腦神經元影像資料庫 FlyCircuit 這些資料將使用國家網路中心陳南佑博士所開發的 FAST(Fast Automatic Structural Tracing)影像追蹤法來描繪出神經元骨架，並將骨架的端點，節點標示出來。



FAST 示意圖

1. 先將第一神經元之影像向量化得到它的特徵點。
2. 之後返回去找擷取對應的節點，標記後當作訓練資料。

3. 編排模型:建立卷積層、池化層、平坦層輸出層

4. 建立完模型之後定義訓練方式與輸入影像:

TrainingData:

500Neurons:500(Ture)50000(Flase)

Validation Data:

100 Neurons:100(Ture)10000(Flase)

Optimizer: Adam

Loss function: categorical cross entropy

訓練完之後評估模型的準確性，如有 80%以上開始進行預測並計算結果。

如果模型的準確性低於 80%，我會將預測錯的影像再放回模型中調整參數再進行訓練。

進度報告

目前進度已到達建立完模型之後定義訓練方式與輸入影像。

結論

在做完此實驗過後，我會繼續優化此模型，讓此模型的準確率更加提升。並且活用此次的經驗，讓我對於使用之後實驗打下更深的基礎。

參考文獻

- [1] Yann LeCun, Leon Bottou, Yoshua Bengio, and Patrick Haffner. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition,1998。
- [2] Fly Circuit(<http://www.flycircuit.tw/>)。
- [3] Chi-Tin Shih, Nan-Yow Chen, Ting-Yuan Wang, Guan-Wei He, Ting-Kuo Lee, & AnnShyn Chiang. NeuroRetriever: Automatic neuron segmentation for connectome assembly. under preparation,2019。
- [4] He GW, Wang TY, Chiang AS, Ching YT,Soma Detection in 3D Images of Neurons using Machine Learning Technique,2018。

果蠅神經元特徵點之空間距離與路徑分析

指導老師:施奇廷

*Email: jjes11257@gmail.com

李茂玄(S06210011)

摘要

研究是利用 Fly Circui 資料庫中的果蠅腦細胞影像作為基本素材，使用 FAST 追跡程式 (Fast Automatic Structure Tracing, 快速自動結構追蹤) 將其神經細胞簡化成細胞枝幹，再將枝幹上的轉折點與端點座標提取出來，利用這些提取出來的座標去進行距離計算。實驗目前還在資料預處理，還未正式進入距離計算的部分，但預期其結果可以幫助神經元分類。如果可以在果蠅上專精其神經元分類，也許就可以依照相似的特徵或功能去推測其他生物的腦神經細胞功能。

簡介

人腦一直都是科學研究的重點，但在研究過程中，其最大的困難在於人腦有大約 1 千億個神經元，神經元彼此有無數個神經突觸互相連結，形成極其複雜的網路。由於研究人腦需處理的資訊量太大，遂退而求其次從果蠅的腦細胞開始研究起。果蠅的腦雖然只有約 13 萬顆神經細胞，但已足夠複雜到可以表現出睡眠、學習、求偶、記憶等複雜行為。

而人類在研究果蠅腦細胞有深厚的基礎，近年來更是因為網路的發展使研究快速的進展。目前已經可從實驗中取得清楚的果蠅腦細胞影像，利用這些影像資訊嘗試去將細胞進行分類，如果其可以建立一完善分類系統，將可以在之後進行更大的哺乳類腦；比如說鼠腦的研究時派上用場，因為站在生物演化的角度上，基礎的或重要的細胞會以某種型態保存下來。

研究方法

2011 年，國立清華大學腦科學研究中心發表了果蠅腦神經元影像資料庫 Fly Circuit¹，而我們實驗中的數都是由其中取得的。

而本實驗是主要分為兩項目，一為計算細胞本體 (soma) 到 EP (Ending Point, 端點) 的歐式距離還有其路徑距離。二是計算 EP 到 EP 的歐式距離跟路徑距離。利用計算兩者距離。除了 EP 之外，本實驗也計算 BP (Branch Point, 分支點) 到細胞核的距離。

在計算其路徑距離時，我們先將 Fly circuit 中的原始資料經過 FAST 轉換成線段資訊，如圖 (一) 中深灰色部份所示。



圖(一) 三維神經細胞影像經由 FAST 轉換成線段資訊示意圖

進度報告

實驗目前還停留在把 BP 從經 FAST 處理的資料中提取出來。

參考文獻

1. Fly Circuit (<http://www.flycircuit.tw/>)
2. Chi-Tin Shih, Nan-Yow Chen, Ting-Yuan Wang, Guan-Wei He, Ting-Kuo Lee, & AnnShyn Chiang. NeuroRetriever: Automatic neuron segmentation for connectome assembly. under preparation, 2019

隨機漫步 (Random walk)

作者：程大榕(S06210013)

指導老師：吳桂光

Email: s06210013@thu.edu.tw

摘要

利用二維正方晶格為限制條件，對單一粒子的運動行為進行模擬，由於其運動模式是隨機的，其前往各個方向的機率便是相等的，利用這個精神去進行模擬，最後得出了粒子的移動距離隨著步數增加而增加，擴散程度則是隨之增加而減少。

簡介

隨機漫步 (Random walk) 四個字，或許是我們目前能對於微觀世界中，用來描述粒子行為最貼切的用詞。

無論是在空氣中，鄰家小路每逢傍晚，讓人口水直流的氣體分子，還是在物理材料上，在未施加特殊變因的同時，晶格間電子的遊走等……現象，皆是我們無法預測的行為，其中在物理學裡頭，布朗動正是一個極為貼切的實例，在觀測時，油滴的運動，如同失了魂的小蟲，永遠無法知道它下一步，究竟會前往何處。

第一步若直接加入環境影響因素進行討論，其粒子行為自然是難以去設計的，但若先以簡單的一維晶格或是二維晶格為基礎來著手，固然能減少運算量上的困難，同時也方便尋找粒子隨機漫步時的蛛絲馬跡。

現在以粒子在二維正方晶格中的遊走行為來推論隨機漫步的特性，將一個粒子放在作標原點上，限定該粒子每次行走皆只能走動一個晶格，且不會有停頓的情況發生，此時設定 N 為該粒子所走的步數。

隨著走的步數越多，自然而然將以一個無法預測的狀態遠離座標原點，但遠離的程度或者說是遠離的距離很明顯跟 N 是相關的，因此推論走 N 步後距原點的距離 R 為行走步數 N 的函數。

而這部分模擬在[1]Physical Principles in Biology 這本書裡 Random walks in two dimensions 的內容中，有一步步推導出一個如先前推論 R 和 N 是有的關係的證實，結果如下列關係式(1)(註：已套用於當前模擬的條件下。)(R_{rms} 為取 M 筆資料，對其 R^2 相加取平均再開根號的結果。)

$$R_{rms} = \sqrt{N} \quad (1)$$

這部分在研究的過程中，將藉由模擬隨機漫步，去進一步驗證關係式(1)是否正確。

提到距離自然就會聯想到擴散，近期將進一步去證實下列粒子在時間內的擴散程度關係式(2)[2]

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \nabla^2 c \quad (2)$$

其中 c ：在一個固定範圍內，時間 t 下，所擁有的粒子數。 D 為擴散常數。

研究方法

利用 Fortran 90 去進行模擬隨機漫步。

為了更容易地去安置 Fortran 90 的環境，所以使用了 VirtualBox 去產生一個虛擬主機，在虛擬主機上安裝 Ubuntu(Linux)系統，直接在 Ubuntu 上安裝 Fortran 90 會相比於直接在電腦上安裝容易且使用上也方便許多，若需額外的軟件輔助，也可以直接透過 Ubuntu 終端機去下載配件。

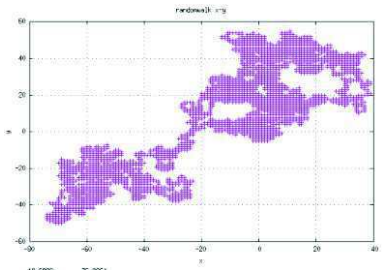
在開始正是寫程式前，基本的 Linux 語法也就成了重要的一部分，好比如開一個資料夾(mkdir)、移動檔案(mv)、刪除檔案(rm)、書寫資料(vi or vim)等……簡單指令若不能駕輕就熟，在寫程式時必然會降低效率！

而使用 Fortran 90 當作編譯器時，有幾個需要注意的地方，第一個就是確切的命名，也就跟我們算物理習題時，時常會需要假設一些參數一樣，不過在 Fortran 90 上更為細分，該是實數就是實數，該是整數便是整數，不可胡亂假設，否則程式可能永遠跑不出來；第二個就是寫入初始值，好比如原點便是 $x=0, y=0$ 如果一開始沒有將值寫入，可能會發生一些值亂跳的情況發生，為避免該現象，這一步便不可或缺。

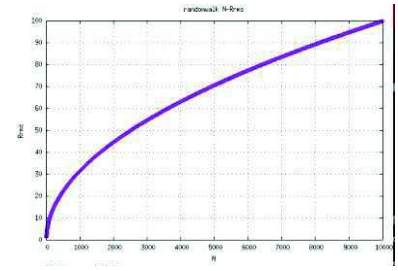
之後便是模擬隨機漫步。正方晶格的隨機漫步，其每個焦點擁有四個方向，簡單來說當粒子要前往下一個晶格點時，它有四條路可以走，而這步分別為 $x+1, x-1, y+1, y-1$ ，在隨機的情況下，上方四種可能其機率絕對是相等的且四者機率相加必為一，若不是，便無法滿足隨機這二字了。

既然知道了有四種可能，且四種機率相加為一，那麼便可以利用 rand() 跑出亂數（皆為大於零小於一的小數），透過限制條件，分別讓亂數小於 0.25 的走 $x+1$ ，亂數大於 0.25 且小於 0.5 的走 $x-1$ ，依此類推，最後再利用一個迴圈加入設定的步數，便可產生二維正方晶格的隨機漫步了。

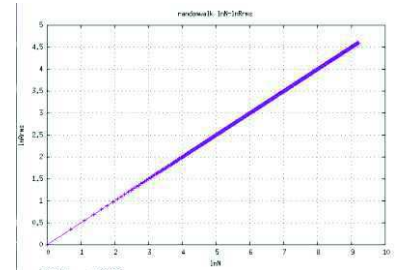
進度報告



圖一：粒子在正方晶格隨機漫步 10000 步位置分佈圖。



圖二：模擬完二維正方晶格下，單粒子 10000 步的隨機漫步後，對其 N 和 R_{rms} 作圖，取了每一共 $N=10000$ 筆資料對其 R 的平方取平均開根號，發現其曲線趨勢如同關係式(1)，不過光看趨勢並不靠普，這部分無法真正確認關係式(1)是正確的。



圖三：將關係式(1)等號兩邊分別取對數，會得出其乃一條斜率為 0.5 的斜直線，再對照本圖，便足以證實關係式(1)式正確的。

結論

關係式(1)被證實了其正確性，也就是說，當一個粒子動的次數深深影響了其移動的距離，當移動次數越多時，距離初始位置也會漸漸變遠，不過擴散的程度也漸漸地變小了（圖二 曲線斜率隨不數增加而減少。）。

接下來將要對其擴散進行模擬，觀察其是否滿足關係式(2)所提及的式子，也觀察其結果是否能與關係式(1)得出之結論呼應。

參考文獻

[1] Physical Principles in Biology (David P. Goldenberg University of Utah) Chapter 3 .
 [2] Computational Physics: An Introduction to Monte Carlo Simulations of Matrix Field Theory(Badis Ydri) p76.

用卷積神經網路分析神經纖維的角度分布

S06210024 黃品捷*

指導老師 施奇廷

*Email: S06210024@thu.edu.tw

摘要

本專題研究主要著重於神經元的類型辨識，藉由讀取神經元資料中每一個分支的起點與終點的座標，算出這個分支所指的向量，再藉由公式將直角坐標轉為球座標，由此統計一顆神經元所有神經纖維 θ 與 ϕ 的角度分布，將其化為角度熱圖，最後使用卷積神經網路來分析每個神經元的圖片，用 4 種已知類型的神經元，對處理後約 234 顆神經細胞的資料集作訓練，希望完成後可以在輸入一未知的神經元進去程式碼後，可以給出此神經元是 4 種類型中的哪一種。

簡介

以果蠅作為神經研究的模式生物已有將近一百年的歷史，果蠅的大腦結構與人類相似，一樣具有各式各樣處理不同訊息的腦區，但相對於哺乳類動物，果蠅的大腦及神經系統就顯得簡化許多，近年的研究發現果蠅嗅覺神經系統的區域中介神經元具有高度的神經差異性，所以利用果蠅的嗅覺神經迴路來探討神經差異性的起源及其分子機制，是一個絕佳的切入點，而因為神經元型態與其功能有很密切的關係，所以我藉由統計每個神經元的神經纖維角度在空間中的分布，將其畫成角度熱圖，並利用卷積神經網路對其做分類，希望使用機器學習的方法觀察並分析神經元的形狀，探討其之間的差異性。

研究方法

實驗所使用的資料來自提供果蠅腦神經資訊資料庫的網站 FlyCircuit，讀取這些已經經過 FAST (Fast Automatic Structure Tracing，快速自動結構追蹤) 追跡的資料。首先提取每一個分支的起點與終點的座標，計算這些起點與終點的座標所指的向量，統計一顆神經元所有神經纖維 θ 與 ϕ 的角度空間分布，再

依據其在每個角度區間出現的次數做成矩陣，並畫成角度熱圖。

完成資料的準備後便使用卷積神經網路做機器學習。將 ALLN、FB、KC、PN 四種神經元細胞的角度熱圖輸入網路模型訓練，期望能將該模型訓練成能夠分辨 4 種神經元的分類器。

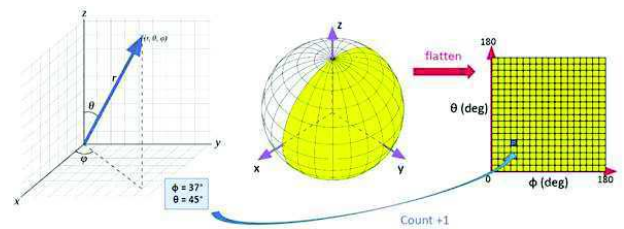


圖 (一) 神經纖維 θ 與 ϕ 的角度分布化為角度熱圖的示意圖。

結果與討論

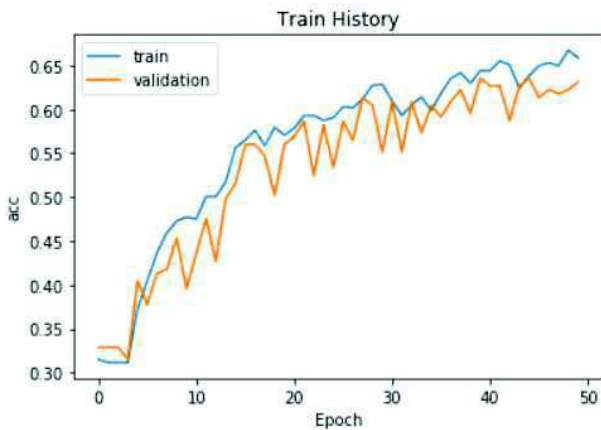
在完成卷積神經網路模型架構後，輸入資料做完訓練與測試，但最後得到的結果有待改善，同時發現中間在做資料處理的方式也許有些許問題，以下是這次結果：

訓練過程中，訓練準確率與測試準確率變化如圖 (二) 所示，無論訓練與驗證，其準確率越來越高，準確率可達 63.5%。

由表 (一) 混淆矩陣的對角線可看到四種已知類型的神經元預測正確的數量，並於其

他數據看出預測錯誤的結果，藉此比對準確率找出問題所在。從本次結果可以看到 PN 神經元被誤判為 FB 神經元的機率很高。由圖（三）與圖（四）做比較，可以看出該兩類的神經元角度熱圖有相似之處。

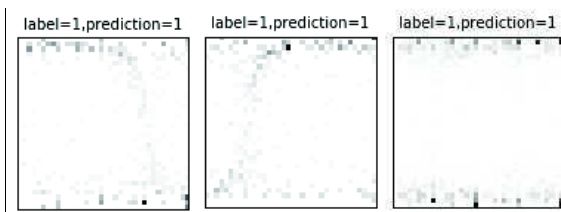
由圖（五）比較可看出兩者都有明顯的叢集以及單根相對長的軸突，結構接近。就算轉換成角度熱圖做機器學習也有可能較難判別差異，造成上述結果。



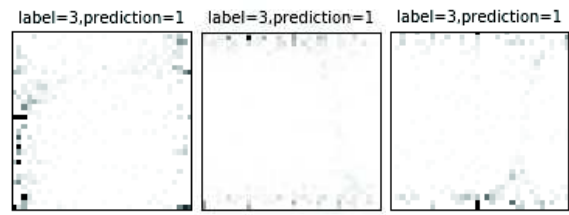
圖（二）準確率變化圖。訓練週期為 50。訓練的準確率為藍，測試的準確率為橘。

預測	ALLN	FB	KC	PN
答案				
ALLN	77	8	3	2
FB	3	52	14	5
KC	1	15	36	0
PN	13	28	10	13

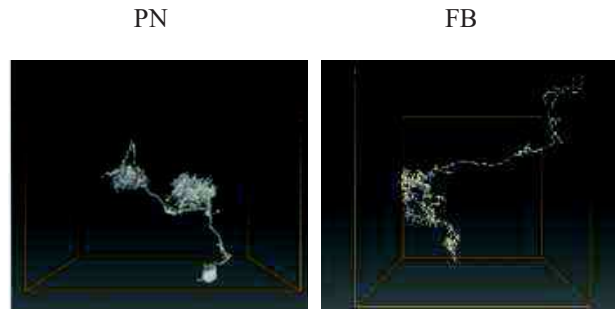
表（一）預測結果與答案的混淆矩陣，其中的 ALLN、FB、KC、PN 為四種已知類型的神經元名稱。



圖（三）部分 FB 神經元預測結果，label 為答案，prediction 為預測值，數字 1 代表 FB 類神經元。



圖（四）部分 PN 神經元被錯誤預測為 FB 神經元的結果，數字 3 代表 PN 類神經元。



圖（五）FB 與 PN 神經細胞的三維影像

結論

由上述結果可看出模型仍不夠完善，接下來的目標是藉由改變角度處理方式或以不同的訓練方法，以提高其準確率。

參考文獻

- [1] Fly Circuit (<http://www.flycircuit.tw/>)
- [2] Chi-Tin Shih, Nan-Yow Chen, Ting-Yuan Wang, Guan-Wei He, Ting-Kuo Lee, & Ann-Shyn Chiang. NeuroRetriever: Automatic neuron segmentation for connectome assembly. under preparation, 2019
- [3] Yann LeCun, Leon Bottou, Yoshua Bengio, Patrick Haffner, Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition, 1998
- [4] Zeng, H., Sanes, J. Neuronal cell-type classification: challenges, opportunities and the path forward. Nat Rev, 2017

機器學習在 ising model 中的熱相變

劉哲宇(S05211007)

指導教授:吳桂光 副教授

Email:S05211007@thu.edu.tw

摘要

本實驗主要利用二維方晶格的 ising model 數據來當作機器學習的數據，利用這些數據來訓練神經網路，在 ising model 中在臨界溫度時會產生相變，而本實驗透過改變二維方晶格的大小來探討臨界溫度是否會有所變化

簡介

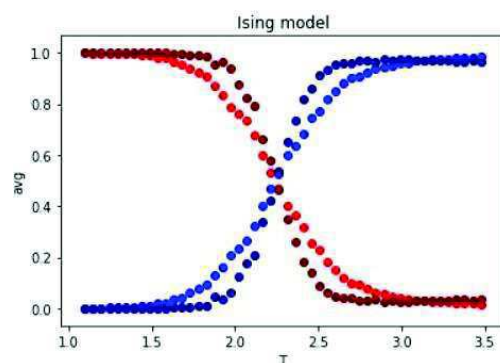
在現代物理學當中相變是一個非常重要的問題，在許多的問題上都起到了重要的腳色，而 ising model 則是在描述鐵磁性材料相變中最具代表性的模型，而機器學習在在應對大量的數據模擬上表現出色，且可以大大的節省時間，因此本實驗透過 keras 建立一個多層感知器模型，並利用監督式學習，透過使用晶格小的數據來做訓練，再利用晶格大的數據來做預測，使程式利用磁化強度來判定其高溫及低溫磁態的可能組合。

研究方法

先將數據分為訓練資料以及測試資料，我們取 1000 組數據做為訓練資料，並將其有序無序及自旋打亂時數據更為接近原始數據以獲得更高的準確率，而其餘的則做為測試資料，並且將 (20,20) 晶格大小的數據縮小成 (10,10) 以作為晶格較小的數據來與 (20,20) 晶格大小的數據做對比觀察其誤差。

結果與討論

LL = 10 與 LL = 20 的結果

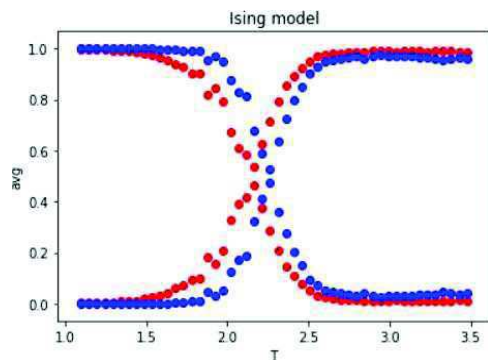


圖一：紅色為 LL=10 無序的機率，深紅色為 LL=10 有序的機率；藍色為 LL=20 無序的機率，深藍色為 LL=20 有序的機率。黑色虛線為紅點線與深紅點線之 T_c ；綠色虛線為藍點線與深藍點線之 T_c

結果	T_c
淺色(LL = 10)	2.249
深色(LL = 20)	2.246

發現當晶格大小改變，對 T_c 的影響並不大。

每四點取一個平均，平均後的值與隨機數做比較。



圖二：紅色為縮小LL=20 的有序無序機率；藍色為訓練資料與測試資料皆為LL=20 的有序無序機率。黑色虛線為紅點線之 T_c ；綠色虛線為藍點線之 T_c

結果	T_c
紅(改變大小)	2.137
藍(基本)	2.254

誤差值：5.19 %

結論

在這次實驗中，花費了大量的時間在處理數據上面，在實驗初期數據皆未經處理時訓練後的，測結果皆不如預期的高，因此後來在測試過許多種不同的數據處理方式，像將有序及無序明顯的點抓取出來後去做訓練資料，但效果都不明顯，後來就採用縮小晶格點的方式，來觀察臨界溫度的改變，下一階段希望能嘗試用不同形狀的晶格點分別當作訓練資料以及測試資料。

參考文獻

[1] Juan Carrasquilla and Roger G. Melko: Machine learning phases of

matter(2017)

[2] Arsenault, L. -F. , Lopez-Bezanilla, A., von Lilienfeld, O. A. & Millis, A. J. Machine learning for many-body physics: the case of the Anderson impurity model. Phys. Rev. B 90, 155136(2014).

[3] Kalinin, S. V., Sumpter, B. G. & Archibald, R. K. Big-deep-smart data in imaging for guiding materials design. Nat. Mater. 14, 973 - 980(2015).

以深度學習的技術預測神經元細胞本體的位置

黃關明(S05212013)*

指導老師:施奇廷

*Email: s05212013@thu.edu.tw

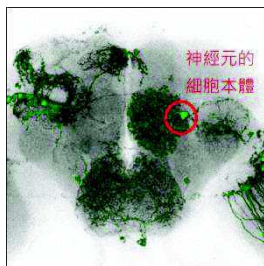
摘要

台灣擁有領先全球的 FlyCircuit 果蠅大腦神經元影像庫，早期使以人工對原始三維螢光影像逐層進行圈選來尋找神經元之細胞本體，此方法需要較久的時間及較多的步驟。此外，利用台灣的同步輻射研究中心之先進光源對大腦組織取得之 X 光微斷層掃描影像，將更快速的取得大量神經元的影像，故急需開發自動化的影像分析演算法，才能有效萃取出影像中的資訊。本文將以深度學習技術為基礎，開發自動辨別果蠅腦神經細胞本體位置的演算法，以加速神經影像分析，減少人力成本。

簡介

神經影像分析的第一步是判別影像中神經元細胞本體的位置，由於在實際的原始影像資料中充滿雜訊，如圖(一)。

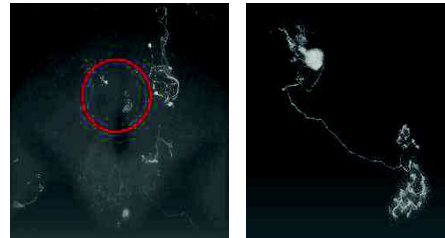
卷積神經網路 (convolution neural network: CNN)，通常使用於影像辨識。相較於類神經網路，卷積神經網路在輸入影像時能維持其是三維的形狀。所以卷積神經網路在影像辨識，視訊分析，自然語言處理，都有不錯的成果。所以本計畫預計以卷積神經網路為主要的研究方法。



圖(一)為示意圖

研究方法

本次做為訓練與測試的腦神經 3D 立體影像，是來自真實的果蠅大腦以基因工程的方式，使部分腦神經發出螢光，研究人員在逐層切片，再由研究人員切割出單一神經元後而來。如圖(二)和圖(三)。



圖(二)

圖(三)

其中圖(二)為真實影像，圖(三)為切割出單一神經元的影像。

資料前處理:

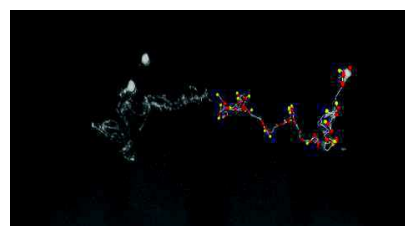
1. 先將單一神經影像骨架化:

使用國家網路中心陳南佑博士所開發的 FAST(Fast Automatic Structural Tracing)影像追跡演算法來完成。



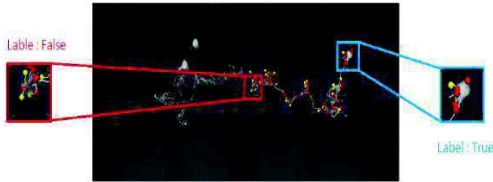
圖(四)

2. 將骨架化後的資訊對應到原始影像



圖(五)

3. 將事先標記好為神經元細胞本體位置的周圍($\leq 25\text{pixel}$)的點標記為 True，其餘則標記為 False。並將所有標記後的點為中心並以 X:Y:Z 為 51:51:13 的大小剪下來作為訓練資料。



圖(六)

訓練模型:

Training Data:

500 Neurons, 16705(True):663303(False)

因為 False Data 太多所以刪減至 50000 筆。

Validation Data:

100 Neurons, 3015(True):120812(False)

因為 False Data 太多所以刪減至 5000 筆。

Optimizer: Adam

Loss function: Binary cross entropy

結果與討論

Test Data:

總共有 87 張圖片其中包含 109 顆神經元。在 FAST 後一共有 1008085 個特徵點。其中有 2168 個特徵點在細胞本體周圍。而其他的 1005917 個點則標記為 False。我們以混淆矩陣作為衡量的標準。

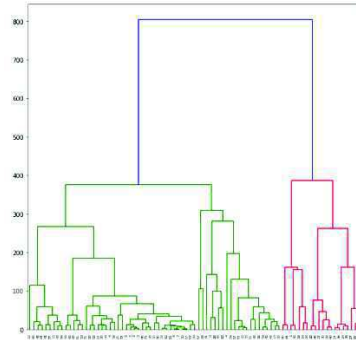
Confusion Matrix:

Pred \ Real	True	False
Positive	2148 99.07%	322819 32%
Negative	20 0.93%	683098 68%

而其中 109 顆神經元只有 2 顆神經元沒有被正確偵測到(神經元本體附近的點沒有被預

測為 True)(98%)，而發現 False Positive rate 太高(32%)，為了可以使神經元的細胞本體更容易被找到，所以我們決定在每一張圖使用分群的方法來減少被標記為 True 的點的數量。

我們使用 Hierarchical Clustering 來進行分群，如圖(七)



圖(七)

分群後新生成 2920 群，而將這些群的中心點靠近細胞本體的共有 104 個。所以在分群後雖然 True 點減少，但是整體神經元預測力也會稍微下降(98%→95%)，所以我們接下來會對分群結果做進一步的檢視及觀察。

結論

除了對分群結果的檢視，而對於模型的編排及參數的調整，也是接下來作為研究的方向之一，甚至是將 Test Data 預測錯的點放回模型中再進行訓練，並檢視結果也是進行中的方向之一。

參考文獻

[1] G.-W. He et al., Neuroinformatics 2017

[2] L. Liu, et al., "The Treasure beneath Convolutional Layers-Cross-convolutionallayer Pooling for Image Classification," CVPR, 2015.

[3] Yann LeCun, Leon Bottou, Yoshua Bengio, and Patrick Haffner. Gradient-based learning ' applied to document recognition, 1998

機器學習在 Ising Model 中四角晶格的熱相變

葉恩良(S05212016)

指導教授:吳桂光 副教授

Email:S05212016@thu.edu.tw

摘要

本實驗主要利用二維四方晶格的 Ising Model 數據來當作機器學習的數據，利用這些數據來訓練神經網路，在 Ising Model 中在 T_c 時會產生相變，而本實驗透過改變二維四方晶格的大小來探討 T_c 是否會有所變化

簡介

凝聚體物理學是研究物質凝聚相的物理性質[1,2]，特定的物質在低溫條件下的超導相、與自旋有關的鐵磁相和反鐵磁相等，對凝聚相的研究，有透過實驗測定物體的一些特質，或是依靠理論方法得出的數學模型來研究這些物體的物理行為。近幾年機器學習已經有了傑出的識別、分類的能力技術，本實驗利用機器學習的方法，使用全連接網路，可以辨識各種凝聚態哈密頓量的相與相變[3]，因此透過 keras 建立一個多層感知器模型，並利用監督式學習，透過使用晶格小的數據來做訓練，再利用晶格大的數據來做預測，來分析高溫及低溫磁態的可能組合。

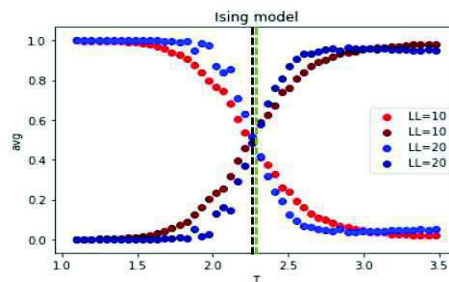
研究方法

先將數據分為訓練資料與測試資料，取一千筆數據做為訓練資料，並將其自旋分佈與溫度打亂，這樣數據更為接近原始數據以獲得更高的準確率，測試資料有十萬筆，並且將(20,20)晶格大小的數據縮小成(10,10)以作為晶格較小的數據來與(20,20)晶格大小的

數據做對比觀察其誤差。

結果與討論

LL = 10 與 LL = 20 的結果



圖一：紅色與深紅色為 LL=10 無序的機率與有序的機率；藍色與深藍色為 LL=20 無序的機率與有序的機率。黑色虛線為紅點線與深紅點線之 T_c ；綠色虛線為藍點線與深藍點線之 T_c

結果	T_c
LL = 10	2.249
LL = 20	2.246

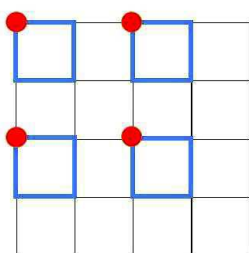
表一：發現當晶格大小改變，對 T_c 的影響並不大。

理論值	誤差
2.266±0.002	0.66%
	0.80%

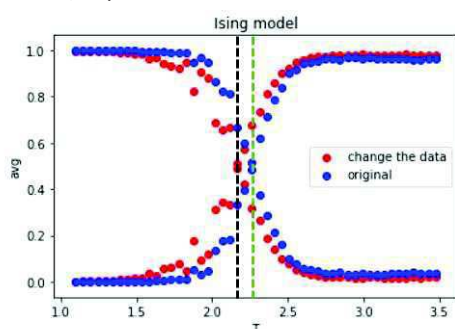
表二：兩者 T_c 與理論值差異不大

每個溫度對於晶格排列是不是有序的機率與無序的機率，兩線相交的點大約是在晶格排列有序及無序機率各為0.5時，此點為 T_c ，由蒙地卡羅得出二維方晶格的 Ising Model 數據，使用它的 T_c 理論值來與實驗結果的 T_c 來做比較，因實驗數據量較少，精確度上可能會有些差強人意，不過還是可以算出誤差值都在1%內，由此可看出，改變晶格大小(LL)，不會影響 T_c ，可以推測其他晶格大小的 T_c 都會在這點上。

縮小數據後，與原本數據比較



圖二：縮小方法為晶格中相鄰四格取左上方的點



圖三：紅色為縮小 $LL=20$ 的有序無序機率；藍色為訓練與測試資料都為 $LL=20$ 的有無序機率。黑色虛線為紅點線之 T_c ；綠色虛線為藍點線之 T_c

結果	T_c
紅(改變大小)	2.147
藍(基本)	2.259

誤差值：4.95%

由實驗所得出的結果，此點與原始 T_c 比較，圖三可看出， T_c 下降了許多，圖型與原始圖型有明顯的偏移，這種處理數據的方式，對於需要精確數據的實驗還是差距過大，但對於一些數據較大且不需要精確數據的實驗來說，此方式確實可以減少許多時間。

結論

在這次實驗中，比較可惜的地方，就是數據量不夠多，導致在精確值方面不夠準確，在發現此結果之前，電腦跑晶格較大的或是數據較多的程式，都會在訓練跟預測時等待許久，此結果在預測自旋的有序無序並沒有太差，經過這次的研究，成功發現可以把較小的數據訓練後，再放入較大的數據，可以省下不少的時間。

下一階段，希望能夠套用在 Ising Model 以外的物理實驗，可以把複雜、耗時的實驗給簡化和減少等待的時間，對於許多耗費時間和心力的物理研究，這或許是一種更好的方法。

參考文獻

- [1] Juan Carrasquilla and Roger G. Melko: Machine learning phases of matter(2017)
- [2] Avella, A. & Mancini, F. Strongly Correlated Systems: Numerical Methods(Springer Series in Solid-State Sciences, 2013)
- [3] Arsenault, L.-F. ,Lopez-Bezanilla, A., von Lilienfeld, O. A. & Millis, A. J. Machine learning for many-body physics: the case of the Anderson impurity model. Phys. Rev. B 90,155136(2014).

機器學習在 Ising Model 三角晶格的熱相變之探討

朱羿蓁(S05212032)

指導老師：吳桂光 副教授

Email：S05212032@thu.edu.tw

摘要

本實驗運用 Ising Model 來描述物質的鐵磁性，使用蒙地卡洛方法得出的二維三角晶格模型數據來訓練，高溫的順磁相和低溫的鐵磁相間在溫度 T_c 處有明顯的相變，探討改變三角晶格大小後 T_c 是否有改變，接著使用較小的四角晶格進行訓練，再放入較大的三角晶格數據當作測試資料，由此預測 T_c 是否有變化，探討以不同圖形的晶格數據當成測試數據放入後，是否會影響實驗結果的準確率。

簡介

凝聚態物理學這門學問是研究物質凝聚相的物理性質，常見的凝聚相有固相及液相，還包括一些特定物質在低溫條件下的超導相、與自旋有關的鐵磁相及反鐵磁相等凝聚相 [1,2]。凝聚體的研究有通過實驗測驗物質的各種性質，以及使用理論方法推展出的數學模型來研究物質的物理行為。

目前機器學習已有了卓越的學習能力、分類及識別的技術，本實驗便運用機器學習的方法，利用全連接網路識別各種凝聚態哈密頓相與相變，透過 Keras 建立一個多層感知器模型，對已處理過的數據進行監督式學習，使用較小的四角晶格數據做訓練，再將較大的三角晶格數據用來做預測，分析高溫及低溫磁態的可能組合。

研究方法

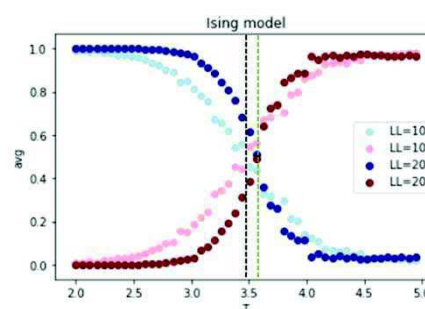
將數據分為訓練資料與測試資料，訓練資料有一千筆，使用的是四角晶格數據，測試資料則有十萬筆，使用的是三角晶格數據，訓練資料與測試資料都包含溫度、有序及無序、在晶格上面的自旋分布，並將數據打亂，使數據分布均勻更接近原始數據以提升準確率。

設定四角晶格數據(LL=10、20)當作訓練資料，三角晶格數據(LL=10、20)當作測試資

料。訓練資料進行訓練後，再把測試資料放入訓練模型，將結果做圖並得出 T_c 值，並與 T_c 的理論值做比較。接著，將(20x20)的三角晶格大小之測試數據縮小成(10x10)的晶格大小，縮小後的數據當測試資料，與原本用(20x20)三角晶格大小當訓練資料的結果做對比觀察是否有誤差。

結果與討論

LL = 10 與 LL = 20 的結果



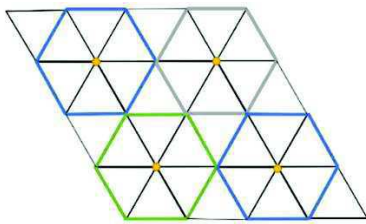
圖二：淺藍色與粉紅色為 LL=10 無序與有序之個別機率，；深藍色與深紅色為 LL=20 無序與有序之個別機率，黑色虛線為 LL=10 兩線之交點對應溫度 T_c ，綠色虛線為 LL=20 兩線之交點對應溫度 T_c 。

結果	T_c 實驗值	誤差
LL=10	3.47	4.93%
LL=20	3.58	1.92%

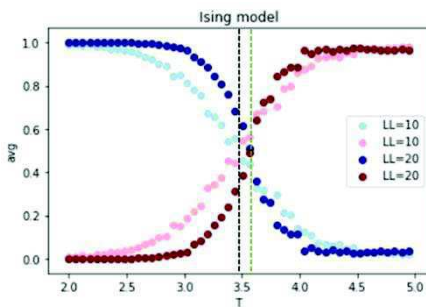
表一： T_c 理論值為 3.65 ± 0.01 ，晶格較小時，因

測試資料數據較少造成誤差較大，晶格較大時，因測試資料數據增加，而使誤差縮小很多。

Tc 稱為臨界溫度，晶格因溫度影響所產生一些排列的變化，在無序及有序的機率各為 0.5 時，交點為 Tc。由蒙地卡羅得出三角晶格的 Ising Model 數據，使用它的 Tc 理論值與實驗結果的 Tc 做比較，晶格較小時，因測試資料的數據量較少，Tc 實驗值與理論值誤差值較大，晶格較大時，因測試資料數據量增加非常多，Tc 實驗值與理論值誤差值就降低許多，由此可看出，改變晶格大小，Tc 會有些微的改變，測試資料數據量增加可以提升 Tc 實驗值的精準度，減少誤差值。縮小數據後，與原本數據比較



圖二：縮小方法為將三角晶格圍成一個六邊形，只取六邊形中心點



圖三：紅色為測試資料 LL=20 縮小成 LL=10 的有序無序機率；藍色為訓練資料與測試資料皆為 LL=20 的有序無序機率。黑色虛線為紅點線之 Tc；綠色虛線為藍點線之 Tc。

結果	Tc	誤差值
紅(改變大小)	3.422	3.74%
藍(基本)	3.555	

表二：改變晶格大小後，Tc 的變化與誤差。

由實驗所得出的 Tc 與原始 Tc 比較，圖三可發現會使用縮小的方式來進行實驗，縮小後所得出的 Tc 還是與原本的有些微誤差，對於需要運用精確數據的實驗來說，準確性還是不夠，以此結果預期通用性較小。但對於一些數據較大且不需要精確數據的實驗來說，此方式確實可以減少許多時間

結論

在這次實驗中發現，將較小的數據進行訓練後，再將較大的數據放入，可省下不少訓練與預測所花的時間，與發現取用四方晶格的訓練模型來測試三角晶格數據所得出的 Tc 實驗值，與使用三角晶格的訓練模型來測試三角晶格數據得出的 Tc 理論值並無誤差太大，由此可推測其他圖形的晶格數據也可放入四方晶格中進行訓練。

下一階段的研究，希望能夠套用在 Ising Model 以外的物理實驗，可以在複雜的實驗中減少在實驗過程等待的時間，同時也可先預測出實驗結果，再與實際做完實驗後的結果作比對，這樣對於許多需要耗費時間和心力的物理研究，這或許是另一種好的方法。

參考文獻

- [1] Juan Carrasquilla and Roger G. Melko: Machine learning phases of matter(2017)
- [2] Avella, A. & Mancini, F. Strongly Correlated Systems: Numerical Methods(Springer Series in Solid-State Sciences, 2013)
- [3] Kalinin, S. V., Sumpter, B. G. & Archibald, R. K. Big-deep-smart data in imaging for guiding materials design. Nat. Mater. 14, 973 - 980(2015)

報告題目 瓶中造粒(奈米微粒)

陳芊羽*(S06210006), 陳亮吟(S06210034)

指導老師:王昌仁教授

Email: S06210006@thu.edu.tw

摘要

本學期的專題再利用本實驗室開發的新奈米製程來製作奈米微粒。此方法原為老師科教計畫所開發的演示實驗。在本實驗我們選用常見的明礬,其易溶於水卻不溶於酒精.藉由超聲波震盪奈米噴霧器(也可利用一般噴霧罐)將明礬水噴入酒精中,當液滴進入酒精時會被迅速地脫水使明礬析出。藉由控制霧滴大小與明礬水的濃度可以即時製作出奈米微粒,並藉由乳光的觀察可以直接偵測與驗證奈米微粒的形成。在下學期我們將嘗試利用相近的方法來製作磁性奈米微粒。

簡介

此實驗是與陳亮吟一同研究,目的是為了參加全國教具比賽之後擬再硬欲於其他樣品的製作。在生活中經常能觀察到當溶劑逐漸減少時溶質將逐漸析出、沉澱的過程,若能適當地控制其過程是可以製作出奈米級的微粒,只是通常蒸發的過程頗為冗長。在工業上也有利用噴霧乾燥法製作微粒的方法,藉由控制噴霧的液滴大小來達到控制產物的微粒尺寸。但此法製作出的成品在一般課堂並不容易收集,且仍不易立即觀察、分辨並加以說明奈米微粒的特性。因此我們希望能運用類似的過程直接在液體中製作奈米微粒,此時可藉由丁德爾效應直接觀察到微粒的產生過程。用簡單且即時的方法觀察奈米微粒的形成,並學習如何偵測奈米微粒是否存在。

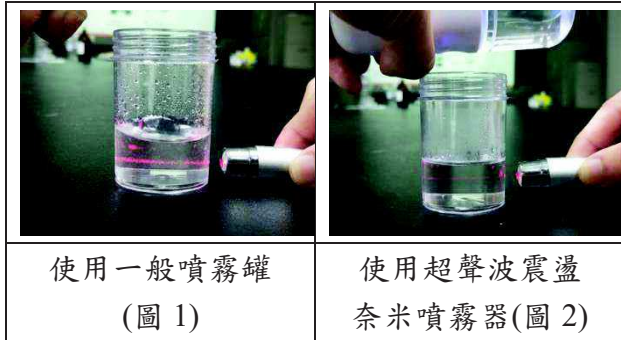
研究方法

物質在不同的溶劑當中常有差異很大的溶解度,在此演示中因此利用能溶於水不溶於酒精或能溶於酒精不溶於水等等這類對A,B兩種溶劑溶解度差異很大的溶質,且兩種溶劑是可以很容易彼此互溶的(例如水與乙醇)。因此當特定溶劑A的溶液滴進入另一

溶劑B時,因為溶質並不溶於所進入的溶劑B,但兩溶劑卻極易互溶。使得原液滴中的溶劑A很快地減少、即溶質將快速被析出。此時藉由一束進入液體中的雷射光,可預期會觀察到原本沒有乳光出現的純溶劑B中隨著含溶質的液滴進入而出現乳光的現象,藉此直接觀察到微粒的產生過程。我們也預期能藉由改變液滴大小來控制微粒尺寸,當液滴很大、應會析出肉眼可見的微粒並進而產生沉澱的現象。材料我們準備了:酒精、明礬、蒸餾水、透明瓶*2、一般噴霧罐、超聲波震盪奈米噴霧器。首先在兩個透明瓶內加入酒精,接著在兩種噴霧器內加入蒸餾水及明礬,並使其溶解,接著用雷射筆照A瓶中的純酒精,觀察有無乳光現象。再用一般噴霧罐噴在A瓶酒精瓶裡,慢慢噴並觀察其變化,噴了一、兩次後的效果不明顯,噴了數下後可觀察到明顯的乳光現象。再來用雷射筆照射B瓶中的純酒精,觀察可知沒有乳光的跡象,然後用超聲波震盪奈米噴霧器噴在B瓶酒精瓶裡,慢慢噴並觀察其變化,噴了一、兩下後的光尚不明顯,因為奈米噴霧罐的液滴較一般噴霧罐小,所以噴了七、八下,進入酒精的溶液量較少,析出的微粒較少,但仍可看到乳光,直到

噴了十下後才開始看見較清晰的乳光。此項實驗的優點為材料易於取得、且成本便宜、結果既明確操作又簡單。

結果與討論



從以上(圖 1)及(圖 2)可看出同樣都是使用噴霧，使用一般噴霧的乳光較粗且較明顯，而使用超聲波震盪奈米噴霧的乳光非常細且相當微弱，因此我們可以知道，乳光越是不明顯代表其噴霧顆粒越小，所以霧滴大小對實驗結果有著極大的影響。

結論

綜合以上結果，我們可以知道在本演示我們選用常見的明礬，其易溶於水卻不溶於酒精。藉由超聲波震盪奈米噴霧器(也可利用一般噴霧罐)將明礬水噴入酒精中，當液滴進入酒精時會被迅速地脫水使明礬析出。藉由控制霧滴大小與明礬水的濃度可以即時製作出奈米微粒，並藉由乳光的觀察可以直接偵測與驗證奈米微粒的形成。因此奈米微粒是可以利用非常簡單的做法做出，並且也非常容易觀察。

Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ 多晶膜的結構及多鐵性之研究

Effect of Pr substitution on the structure, nanomechanical and multiferroic characterizations of Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ polycrystalline films

作者:S06210008 陳柏鈺

指導老師:張晁暉、王昌仁

Email:S06210008@thu.edu.tw

本文研究了 Pr 摻雜對 Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ (BPFO) 薄膜的結構及多鐵性的影響。鈣鈦礦結構的 BPFO 膜通過脈衝雷射沉積 (PLD) 在 450 °C 的低溫下沉積在 Pt/玻璃基板上製備。XRD 分析結果顯示 BPFO 的結構從菱面體結構轉變為正交晶結構，相變化邊界在 $x = 0.15$ 附近。通過 SEM 和 AFM 觀察到的薄膜的結構形態表明，隨著 BPFO 中 Pr 含量的增加，晶粒尺寸和表面粗糙度降低。 $x = 0-0.15$ 樣品呈現出良好鐵電性，其殘餘極化量 ($2P_r$) 和矯頑場 (E_c)，分別 $25-125 \mu\text{C} / \text{cm}^2$ 和 $310-590 \text{ kV} / \text{cm}$ 。鐵電性能的增強可歸因於平坦的界面和精細的微觀結構。其飽和磁化強度為 $3.6-18.2 \text{ emu} / \text{cm}^3$ ，矯頑力為 $302-520 \text{ Oe}$ ，Pr 參雜導致磁化性能增強歸因於 Pr^{3+} 離子的磁矩和抑制的螺旋自旋結構。

一、簡介

在室溫 (RT) 下具有鐵電 (FE) 和反鐵磁性 (AF) 的多鐵性 BiFeO₃ (BFO) 同時為多態存儲元件和自旋電子學提供了一個很好的材料[1]。以薄膜形式而言 BFO 不僅表現出沿 BFO (111) 方向具有高殘餘極化量 ($2P_r \sim 200 \mu\text{C} / \text{cm}^2$) [2]，而且還顯示出光伏[3]和電阻切換等特性[4]。我們專注於對摻 Pr 的 Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ 多晶薄膜的多鐵性之研究。

二、研究方法

Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ (BPFO) 薄膜以脈衝雷射沉積 (PLD) 在玻璃的 Pt (111) 底層上製備。首先，在 10 mTorr 的 Ar 壓力和 60 W 的功率下在室溫下製備 20 nm 厚的 Pt 底部電極。在 Pt (111) 緩衝層上生長 200 nm 厚的 BPFO 膜。在基板溫度為 450°C 且 O₂ 壓力為 50 mTorr 的情況下進行，其中使用波長為 355 nm 的固態 Nd:YAG 雷射，雷射重複頻率為 5 Hz。以 XRD 分析晶體結構。採用原子力顯微鏡 (AFM) 和掃描電子顯微鏡 (SEM) 觀察表面形貌，並分析平均晶粒尺寸。使用 TF-2000 分析儀量測其鐵電性能和漏電流。使用振動樣品磁力計

(VSM) 測量磁滯曲線。

三、結果與討論

圖一 (左) 顯示 x 為 0 至 0.15 的 Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ 薄膜的 XRD 圖。根據先前的文獻指出，對於不含 Pr 的薄膜發現了一個屬於 Bi₂O₃ 雜相且微弱的繞射峰。顯然，Bi₂O₃ 相被 Pr 取代所抑制。隨著 Pr 含量 (x) 的增加，發現 $x = 0-0.10$ 的菱面體結構和 $x = 0.10-0.15$ 的斜方相共存。估算 XRD 圖中繞射峰的面積進行分析結果顯示，對於 $x = 0$ 的樣品，觀察到 BFO (001)。隨著 Pr 含量的增加 ($x = 0-0.15$)，(001) 和 (110) 繞射峰向較高的角度移動，此揭示了 Pr 離子進入鈣鈦礦結構並在 A 位取代 Bi 離子，因為 Pr 離子半徑較小於 Bi [5]。由圖一 (右) 可知，所沉積的薄膜表現出良好的結晶微結構以及平坦的表面。表面形貌和晶粒尺寸隨 x 的變化可能與織構和結構變化密切相關。 $x = 0-0.05$ 的薄膜具有較大晶粒尺寸。表面形態可能與優先取向從 (001) 到 (110) 的轉變有關。

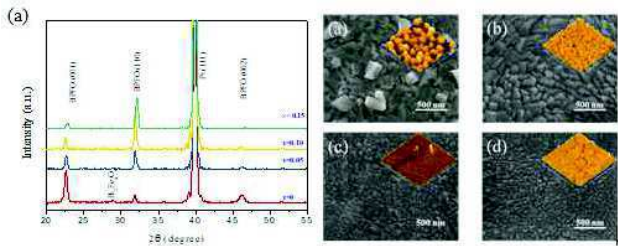
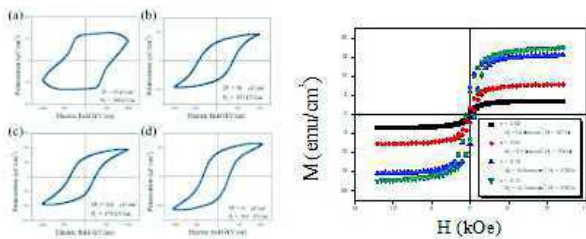


圖 1. (左)Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ 薄膜的 XRD 圖 (右) Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ 膜的 SEM 圖像和 AFM 圖

由圖二(左)可知 BPFO 薄膜呈現了良好的鐵電性，殘餘極化強度 ($2P_r$) 在 25-125 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 的範圍內，矯頑場 (E_c) 在 310-590 kV/cm 的範圍內。對於不含 Pr 的薄膜，該薄膜的鐵電曲線較圓，但含有 Pr 樣品的曲線卻是較方的。圖二(右)顯示出所研究的 Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ 薄膜具有良好鐵磁行為。隨著 Pr 含量從 0 增加到 0.15，飽和磁化強度從 3.6 增加到 18.2 emu/cm^3 ，矯頑力從 302 Oe 增加到 490 Oe。磁特性的提高可能由於 A 取代引起的 Fe-O-Fe 鍵角改變有關，從而影響了 Fe-O-Fe 交換路徑以及 Pr³⁺ 離子的磁矩。



圖二 (左)Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ 膜 P-E 迴路圖.(右) Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ 薄膜的 M-H 曲線

圖三為其 J-E 曲線圖，由於雜相的出現和 Pt / BFO 之間較粗糙的界面，而 BFO 膜有相對較大的漏電流，導致鐵電迴路較圓，且具有較低的 $2P_r$ 。相反地，對於 Pr 替代 Bi 之漏電流逐漸減少。抑制漏電流與微觀結構（在 Pt / BPFO 間具有較平坦的界面）有關，使較圓之電滯曲線變為方正，且提高其鐵電性。

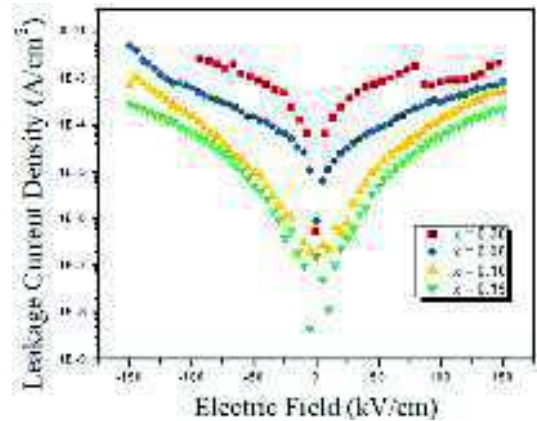


圖 3. Bi_{1-x}Pr_xFeO₃ 薄膜的 J-E 曲線

四、結論

結構分析表明， $x = 0.00-0.15$ 的 BPFO 薄膜中存在純鈣鈦礦結構。隨著 Pr 含量的增加，BPFO 薄膜的晶粒尺寸和表面粗糙度會降低。對於 $x = 0.05-0.15$ 的 BPFO 薄膜，其剩餘極化強度 ($2P_r$) 為 56-125 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ，矯頑場 (E_c) 為 310-453 kV/cm 。增強鐵電性可歸因於較平坦的介面，抑制漏電流。BPFO 薄膜的飽和磁化量增強 (8-18 emu/cm^3) 與 Fe-O-Fe 鍵角改變和 Pr³⁺ 離子的磁矩有關。

五、參考文獻

- [1] N.A. Spaldin, M. Fiebig, Science 309 (2005) 391.
- [2] J. Wua and J. Wang, J. Appl. Phys. 106 (2009) 104111.
- [3] S. Y. Yang, L. W. Martin, S. J. Byrnes, T. E. Conry, S. R. Basu, Appl. Phys. Lett. 95 (2009) 062909.
- [4] K. Yin, M. Li, Y. Liu, C. He, F. Zhuge, B. Chen, W. Lu, X. Pan, R.-W. Li, Appl. Phys. Lett. 97 (2010) 042101.
- [5] R. D. Shannon. Acta Cryst. 32 (1976) 7513.

濺鍍法製備 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 薄膜於玻璃基板研究其結構與鐵電性

Structure and ferroelectric properties of sputtered $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ films on glass substrates

T.Y. Tseng 曾庭郁(S06210017)*

指導老師 C.R. Wang(王昌仁)¹, H.W. Chang(張晃暉)^{2*}

*Email: Kcf300046@gmail.com

摘要

本研究以濺鍍法製備 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ (HZO) 薄膜於鍍製在玻璃基板的 Pt 底層上，探究不同退火溫度及 HZO 薄膜製程參數對 HZO 薄膜的結構與鐵電性之影響。在純 Ar 工作氣體下以 70 mTorr 工作壓力、100 W 的濺鍍功率沉積 10 nm 的 HZO 薄膜於玻璃基板上，而後在通氧狀態下進行 500 °C 到 650 °C 後退火。在 600 °C 下退火的 HZO 薄膜，擁有較高的正交相(111)/四方相(011)相比率。實驗結果發現，在濺鍍功率 100 W，退火溫度為 600 °C 可獲得最好的鐵電性及高的殘餘極化量 $62 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ，此比目前已知發表研究中最高的殘餘極化量為 $50 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ [3] 佳。

簡介

近幾年研究發現，當 HfO_2 參雜不同元素後，僅 10 nm 的膜厚就出現良好的鐵電性[1] 且經過理論計算後，與 Si、Y、Al、Sr 相比，參雜 Zr 後的薄膜有相對較高之殘餘極化量、低結晶溫度。由於 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ (HZO) 高鐵電性所以可應用於鐵電記憶體(FeRAM)。比起早期主要的銦鈦酸鉛，此材料能減少對環境的污染，及克服尺寸效應。

目前大部分研究方式都使用原子層沉積法(atomic layer deposition, ALD)[2] 與化學氣相沉積法(chemical vapor deposition, CVD) 來製備 $\text{Hf}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_2$ 薄膜，這些製程方式都容易含化學物污染，例如：C 及 N_2 ... 等，且有研究顯示這兩種元素會影響薄膜性質，且較慢的沉積速率所沉積的緻密薄膜會促進非鐵電穩定態單斜相之形成。在底電極的使用上，一般使用 TiN，但在通氧鍍製或後退火的過程中容易形成非鐵電之介電層。本研究選擇業界常用的磁控射頻濺鍍法，於玻璃基板上之 Pt 底層上鍍製 HZO 薄膜。此種沉積方式不僅可以提高生長速率，還能避免樣品污染，且成本也低

很多；而為降低成本以利於應用性故本篇研究採用玻璃基板，不同於大部分報導所使用的單晶矽基板。本研究透過不同工作功率且經不同退火溫度最佳化 HZO 膜，並探討其結構和鐵電性。

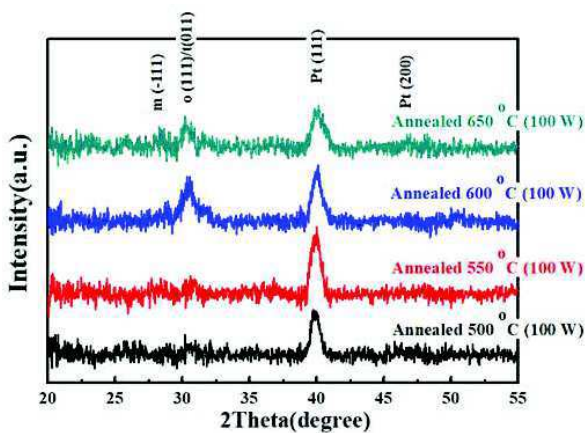
研究方法

首先以直流濺鍍法鍍製厚度約 20 nm 的 Pt 在玻璃基板上以作為底電極；接著以射頻磁控濺鍍法沉積厚 10 nm 的 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ (HZO) 在底電極上，隨後以通氧的狀態下進行退火程序，之後以厚度 50 nm 的 Pt 以作為頂電極。鍍製過程中，Pt 和 HZO 的背景壓力皆為 5.0×10^{-7} Torr，以避免樣品污染；由於 HZO 為陶瓷靶材，所以使用射頻濺鍍法製備。濺鍍時工作氣壓為 7.0×10^{-3} Torr 且工作功率參數使用 80 W 至 120 W 且為室溫純氬狀態下。進行退火的程序中通以純氧以減少氧空缺產生，以退火溫度 500 °C 至 650 °C 持續十分鐘。本實驗對鐵電特性分析使用鐵電壓分析儀(TF Analyzer)，測量在 1 kHz 頻率下的電滯曲線

(polarization-electric field, P-E)；以 X 光繞射儀(X-ray diffractometer, XRD)分析晶體結構，以入射角 0.6° 的方式測量 HZO 薄膜。這是為避免 XRD 使用 normal 的方式時會因本實驗的 HZO 薄膜太薄導致繞射峰訊號被 Pt 層繞射峰訊號覆蓋以及玻璃基板訊號混淆，故使用低角繞射來量測訊號，利用一個小角度入射至表面使 X-ray 盡量僅到達 HZO 膜層，以達到不被其他膜層訊號干擾之效果。

結果與討論

(圖一)為 100 W 之 HZO 薄膜於 500°C 至 650°C 後退火十分鐘之 XRD 圖。圖中顯示，隨溫度之上升至 600°C 出現較強的正交相(o-phase)/四方相(t-phase)且伴隨較弱之單斜相(m-phase)繞射峰出現，溫度上升到 650°C 時，正交相/四方相之繞射峰強度下降而單斜相增強。這顯示以濺鍍法製備出富含鐵電相 HZO 薄膜在玻璃基板上是可行的。

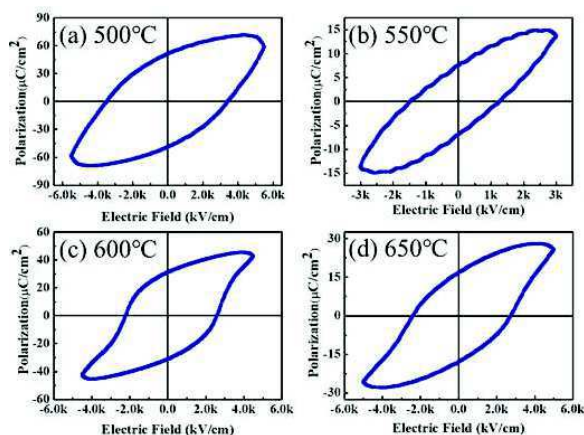


(圖一) 功率 100 W 之 HZO 薄膜於不同溫度後退火之 XRD 圖

(圖二) 為功率 100 W 之 HZO 薄膜於不同溫度後退火 (500°C 、 550°C 、 600°C 、 650°C) 之電滯曲線圖。可以觀察到當溫度 600°C 時，其電滯曲線呈現出最好之鐵電性，這和正交相/四方相出現呈正相關性，其擁有較高的殘餘極化量 $62\ \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ；當單斜相出現越明顯時所展現出來的順電性就越強，以 550°C 的

電滯曲線來說其出現最明顯順電性，而此溫度在 XRD 圖中的單斜相繞射峰是裡面較為明顯的，且正交相/四方相繞射峰強度十分微弱。

綜上所述，發現不同後退火溫度所導致相變化使其改變 HZO 薄膜的特性，若要獲得鐵電性強的 HZO 薄膜，除了要得到較強的正交相/四方相繞射峰，還要避免單斜相的出現。



(圖二) 功率 100 W 之 HZO 薄膜於不同溫度後退火之電滯曲線圖

結論

本實驗顯示 HZO 薄膜生長之條件及後續的熱處理條件都能夠有效的控制 HZO 薄膜結構組成，進而調整其鐵電性。並且驗證了使用射頻磁控濺鍍法製備 HZO 薄膜在 Pt/玻璃基板上具有高達 $62\ \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 的殘餘極化量比目前所知研究發表中最高的殘餘極化量的 $50\ \mu\text{C}/\text{cm}^2$ [3] 還要高。未來將嘗試藉由調整 Pt 底層之生長條件來穩定 HZO 薄膜的正交相以期獲得更佳之鐵電性。

參考文獻

- [1] Böске et al., Appl. Phys. Lett. 99, 102903.(2011).
- [2] Wei, Y., Nukala, P., Salverda, M., Matzen, S., Zhao, H. J., Momand, J., ... Noheda, B. Nature Materials. doi:10.1038/s41563-018-0196-0(2018).
- [3] S.J. Kim et al., Appl. Phys. Lett. 112, 172902, (2018).

Ni₈₀Co₂₀ 合金薄膜磁性與異向性磁阻之研究

Magnetic properties and anisotropic magnetoresistance in Ni₈₀Co₂₀ thin films

作者: S06210020 林維暘

指導老師: 張晃暉、王昌仁

Email: S06210020@thu.edu.tw

摘要

在本實驗中，我們使用濺鍍系統在氮氣下於玻璃基板上鍍製 Ta/Ni₈₀Co₂₀ (100 nm)/Ta 薄膜並在不同溫度下進行場退火，得到了良好的磁性，即低矯頑場為 (58~146 Oe)，及高的異向性磁阻，其值為 3.65%。

簡介

“磁”對於我們生活上的影響一直無所不在，早在五千多年前古人就已知使用磁針製作指南針來辨識方向，而到了現在我們的生活用品中，如馬達、喇叭、變壓器等，都在磁的應用範圍內。在這資訊爆發的時代裡，人們對資料儲存容量提升的需求與日遽增，磁學的應用與發展也扮演了相當重要的角色。例如磁記錄材料、微型化的感測元件、讀寫頭、高密度記憶元件等[1,2]。Ni-Fe 合金與 Ni-Co 合金薄膜是目前最常見的異向性磁阻合金薄膜。而據相關研究文獻指出，NiCo 薄膜有著最大的異向性磁阻值 6%，但因其矯頑磁力較大而不利於發展磁感測元件[3,4]。而本實驗預期可以得到較高的異向性磁阻(AMR)和較低的矯頑場。

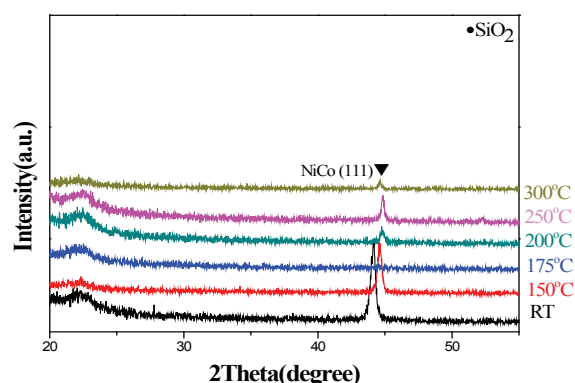
研究方法

本實驗使用 Ta 元素及 Ni₈₀Co₂₀ 合金兩種靶材以磁控濺鍍法製備 Ta/Ni₈₀Co₂₀ (100 nm)/Ta 多膜層結構。背景壓力為 5×10^{-7} torr，通氮氣下進行鍍製且固定膜層厚度，改變場退火溫度(RT~300°C)，並使用 XRD 來觀察晶

體結構、使用 AGM 來量測磁滯曲線、使用四點探針法來量測磁場下之片電阻。

結果與討論

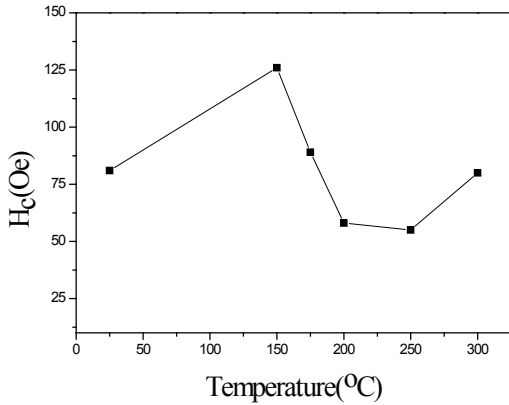
由(圖一)可看出 NiCo(111)繞射峰值隨退火溫度提高有往高角度偏移的趨勢。而此趨勢可能與隨著場退火溫度上升，膜層中於鍍製時的氮原子從 NiCo 晶格中擴散出去，因而導致晶格間距變小有關。



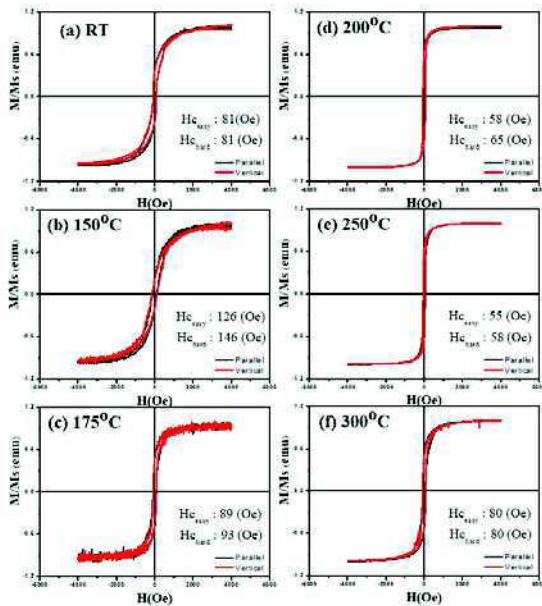
圖一: Ta/Ni₈₀Co₂₀ (100 nm)/Ta 膜 XRD 圖

由(圖二)及(圖三)可看出 NiCo 薄膜隨著場退火溫度上升，矯頑場有著先升後降且在達到最低值後上升的趨勢。我們可以從磁性去推測可能是因為在鍍製時氮原子跑入晶格

中導致晶面間距變大而有大的矯頑場，然後隨著場退火溫度的上升，氮原子漸漸從晶格中擴散出，使矯頑場回到初始狀態，但是在過了特定溫度後，矯頑力會隨著溫度上升而上升，推測是因介面擴散所導致。

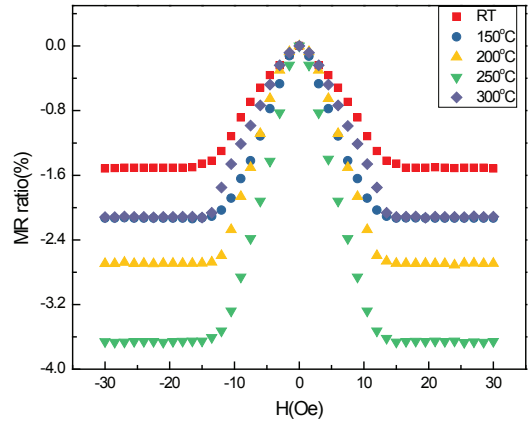


圖二: Ta/ Ni₈₀Co₂₀ (100 nm)/Ta 膜溫度對矯頑力比較圖



圖三: Ta/ Ni₈₀Co₂₀ (100 nm)/Ta 膜在不同溫度下的磁滯曲線

(圖四)為 Ta/ Ni₈₀Co₂₀ (100 nm)/Ta 膜在不同溫度下的 AMR 值，可看出隨著場退火溫度的上升，AMR 值有著先升後降的趨勢，而在退火溫度達 250°C 時達最大值，其值為 3.65%。



圖四: Ta/ Ni₈₀Co₂₀ (100 nm)/Ta 膜在不同溫度下的 AMR 值

結論

本實驗研究了在通氮氣下鍍製 NiCo(100 nm)在不同場退火溫度下的晶體結構以及磁性，NiCo(111)隨著場退火溫度提高往高角度偏移，猜測可能是因為氮原子從晶格中跑出導致晶面間距的縮減。透過磁滯曲線可以看出隨著場退火溫度的上升矯頑場有先升後降的趨勢，在場退火溫度較低的狀態下，推測可能是由於氮從晶格中跑出使得矯頑場下降。而 NiCo 之矯頑場在場退火溫度達 250 °C 時有上升，推測可能是由於介面擴散所導致，另外，在 AMR 的量測中如(圖四)所示 Ta/Ni₈₀Co₂₀ (100 nm)/Ta 在 250 °C 時可獲高 AMR 值為 3.65% 及低的矯頑力為 50 Oe。

參考文獻

- [1] Zhu J-G, Zheng Y and Prinz G A, J. Appl. Phys. 87, 6668 (2002).
- [2] Miller M M, Prinz G A, Cheng S-F and Bounnak S, Appl. Phys. Lett. 81, 2211 (2002).
- [3] Mcguire, T.R., Potter, R.I. IEEE Trans. Magn. 11, 1018 (1975).
- [4] T. Tanaka, T. Ataka, M. Kunii, M. Takahashi, and T. Wakiyama IEEE Trans. Magn. 6, 929 (1991).

Nb 與 Nb₃Al 奈米微粒的製作

張兆安(S06210028)

王昌仁老師

E-mail: s06210028@thu.edu.tw

摘要

過渡金屬鈮(Niobium)在低溫狀態下會呈現超導體性質。標準大氣壓下它的臨界溫度為 9.2K。而在奈米尺度下的鈮微粒中臨界溫度可能有所改變。鈮在高溫下(200°C)會在空氣中氧化,使得在製作未氧化的鈮微粒增加難度以致目前此方面的研究仍然稀少。本實驗擬利用放電加工法(Electrical discharge machining, EDM)及液中雷射燒蝕法(Laser ablation in liquid, LAL)製作 Nb 及 Nb₃Al 的奈米微粒,以丙酮為介質液,以防止過程中氧化,並利用不同工作參數控制,製作各種不同尺寸的奈米微粒,為觀察不同尺寸下超導臨界溫度的變化。此製程是我們實驗室發展的特殊製程,我們將比較兩種方法至德的微粒尺寸與型態。本學期因雷射送修故先以放電加工法來嘗試下學期再加入雷射製程。

後續使用棉膠包覆在蒸乾過程懸浮在介質液中的鈮奈米微粒,避免接觸空氣而氧化,為觀察奈米微粒的結構與大小以達到實驗目的。

簡介

鈮為一過渡金屬,它具有超導性質,臨界溫度為 9K,是元素中臨界溫度最高的元素[1]。

因為超導材料有臨界電流,通過的電流是有限的,如果超過這個限制,材料便會失去超導性,而臨界電流最大的超導材料便是鈮鈦合金[2]。

在微觀尺度下,其材料的化學與物理特性會改變,導致一些現象的出現,如表面效應、小尺寸效應、隧道效應、異質界面效應、透明效應、量子局限效應等等[3]。

此項研究是為了製作不同尺寸的鈮微粒,進一步可以測量其超導臨界溫度與尺寸的關係。

本實驗預期可做出未氧化的奈米級 Nb 與 Nb₃Al 微粒。

研究方法

一共有兩種做法,首先是 Nb 的奈米微粒以放電加工法製作,以 Nb 的塊材置入石英管中,金屬底座鎖緊並加入丙酮,放置陽極,鎢針放置陰極並鎖上,開始放電,施以高電壓使介電質崩潰而導通,高能電子對塊材衝擊,打上塊材產出微粒。

蒸乾懸浮在丙酮中的微粒並以棉膠包覆防止氧化。

Nb₃Al 塊材為使用電弧熔爐製作而得,相同地使用放電加工法製作微粒。

利用 X 光繞射儀得知 Nb 與 Nb₃Al 的晶體結構,和利用穿透式電子顯微鏡(TEM)得知其微粒大小。

第二種方法為液中雷射燒蝕法,因機器尚未維修好,故本人尚未得知其操作方法。

放電加工法其過程快速且鎢針熔點較高,比較沒有其他金屬雜質。

進度報告

目前實驗做了幾批使用 EDM 得出的 Nb 奈米微粒，但是以肉眼觀察為透明的懸浮液，得知其打出的微粒數量過少因此無法以 XRD 分析其結構與尺寸，目前尚待 TEM 修復後用 TEM 來分析其結果。目前正在嘗試其他工作參數。

結論

目前的觀察放電法製做此系列的效果並沒有很好，但預期用睡中雷射法應會有較好的產率。待得到不同 Nb 與 Nb₃Al 微粒的大

小，後續將會測出其微粒大小對超導臨界溫度影響與塊材 Nb 和 Nb₃Al 臨界溫度作一對比。

參考文獻

- [1] <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%93%8C>。
- [2] <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%B6%85%E5%AF%BC%E7%A3%81%E9%93%81>。
- [3] <https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/50620/1/851001.pdf>。

CoFe / MnN 薄膜磁性之研究

作者: 呂孟真(S06210029)*

指導老師: C.R. Wang(王昌仁), H.W. Chang(張晃暉)*

*Email: S06210029@thu.edu.tw

摘要

本研究以磁控濺鍍法下用 NdFeB 磁鐵施加 350 Oe 的外加磁場，在室溫下以 SiO₂/ Si (100) 的基板上以 10 nm 厚的 Ta 底層來緩衝層，5 nm 厚的 CoFe 層和 20 nm 厚的 MnN 製備 CoFe/MnN 和 MnN/CoFe 薄膜，再以 1.5 kOe 的外加磁場中，對不同退火溫度 (T = 300-450 °C) 的 MnN/CoFe 和 CoFe/MnN 薄膜做磁性和結構比較。實驗結果證明，EB 場 (H_E) 與反鐵磁(AF)層的相組成有關。在本研究中，T = 375 °C 退火的 CoFe / MnN 薄膜達到最高 H_E(560 Oe)，高界面交換能為 0.47 mJ / m²。

一、簡介

交換偏壓(EB)效應是指鐵磁層與反鐵磁層之間的交互耦合作用，使磁滯曲線產生偏移的現象 [1]，常被應用在訊息儲存技術上。實用的 EB 系統，AF 層需要大的磁晶異向性常數 (K_{AF})、較高的尼爾溫度 (T_N) 和良好的耐腐蝕性，且具易於製造，環境安全和價格低廉等優點 [2]。據最近報導，MnN 滿足上述要求。在 RT 時，MnN 為 AF，有四方晶系中的面心立方結構的 θ -MnN 相[2]，T_N 約為 660 K，在該溫度，會產生四方晶轉立方晶的相變[2]。

EB 場(H_E)跟 FM 和 AF 的界面粗糙度，表面形貌，結晶度，厚度和晶粒尺寸有關[3]，所以本研究對在 1.5kOe 外加磁場下進行 300-450 °C 退火後的 MnN / CoFe (MnN 在頂層) 和 CoFe / MnN (MnN 在底層) 薄膜的磁性和結構做比較，並討論其磁性和 MnN 相的組成間的關係。

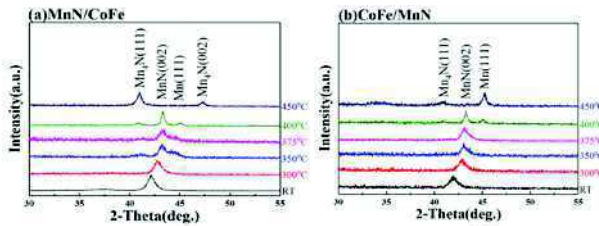
二、研究方法

在室溫、背景壓力低於 5×10⁻⁷ torr、350 Oe 外加磁場的腔體內，通過磁控濺鍍，在玻璃基板上先鍍 10 nm 厚的 Ta 底層來緩衝層再鍍

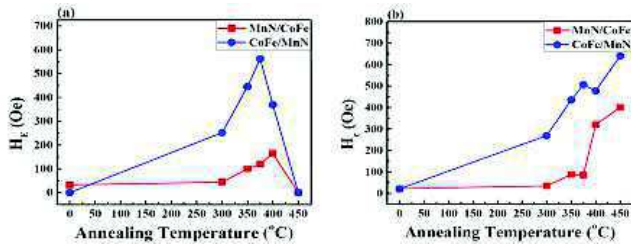
CoFe(5 nm)/MnN(20 nm)和 MnN(20 nm) / CoFe(5 nm) 薄膜，其中 MnN 薄膜是在 N_{2(g)}:Ar(g)=1:1 下製備的，最後在每個樣品頂層鍍製 3 nm 厚的 Ta 以避免氧化。在低於 5×10⁻⁶ torr 的背景壓力下，在 300-450 °C 進行 15 分鐘的後退火處理，並在 2 kOe 的外加磁場下冷卻至 RT 來排列 AF 磁矩。以 X 射線繞射儀 (XRD) 測其結構。交變梯度磁強計 (AGM) 測磁性。原子力顯微鏡 (AFM) 測厚度和表面形貌。

三、結果與討論

由圖一可知，其屬於四方晶系中的面心立方結構的 θ -MnN (002) 相，而 CoFe 和 Ta 層厚度太薄，所以沒偵測到繞射峰。在 MnN/CoFe 薄膜和 CoFe/MnN 薄膜中，隨著 T 增加，因應力釋放，導致 MnN (002) 繞射峰出現在更高的角度。兩系列薄膜不同的點在於 MnN/CoFe 薄膜 T 在 350-400 °C 範圍內，Mn₄N 相和 Mn 相會與 MnN 相共存。在 T = 450 °C 時，僅剩 Mn₄N 相，而 CoFe / MnN 薄膜在 300-375 °C 範圍內，RT 時無雜相，在 T = 400 °C 時，會同時出現 Mn₄N、Mn 相和 MnN 相。在 T = 450 °C 時，Mn 相大幅提升。



圖一 (a)MnN / CoFe 薄膜 (b)_CoFe / MnN 薄膜的 XRD 圖。

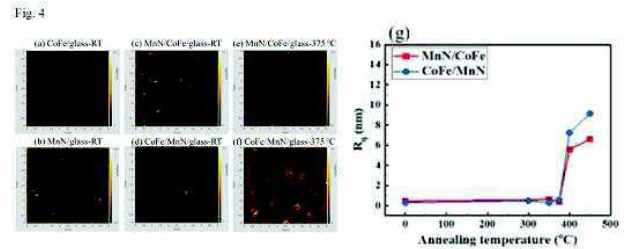


圖二 (a) 和 (b) 為兩系列薄膜的磁性比較。

如圖二 (a) 所示，MnN / CoFe 薄膜的 H_E 從 RT 的 32 Oe 升高到 $T = 400^\circ\text{C}$ 的 165 Oe，EB 在 $T = 450^\circ\text{C}$ 時消失。CoFe / MnN 薄膜的 H_E 從 RT 的 0 Oe 升高到 $T = 350^\circ\text{C}$ 的 562 Oe，在 $T = 400^\circ\text{C}$ 時降低到 369 Oe，最後 EB 在 $T = 450^\circ\text{C}$ 時消失。 H_E 的降低是因為 θ -MnN 相減少或消失，並形成 Mn₄N 和 Mn 等雜相所致。雜相生成可能是因為較高的 T 下，部分 N 從 MnN 相中擴散有關。在 $T = 300\text{-}375^\circ\text{C}$ 時，CoFe / MnN 的 H_E 高於 MnN / CoFe 的 H_E 可能跟 CoFe / MnN 的 θ -MnN 含量較高與較高的應力釋放有關。如圖二 (b) 所示，兩系列薄膜的 H_C 皆隨著 T 的增加而增加。MnN / CoFe 薄膜的 H_C 從 $T = \text{RT}$ 時的 21 Oe 升高到 $T = 450^\circ\text{C}$ 時的 400 Oe。而對於 CoFe / MnN 薄膜而言， H_C 從 $T = \text{RT}$ 的 201 Oe 升高到 $T = 450^\circ\text{C}$ 的 640 Oe。 H_C 隨 T 的增加主要與 CoFe 層的表面粗糙有關。CoFe / MnN 的 H_C 高於 MnN / CoFe，這是由於 MnN 和 CoFe 層之間的界面較粗糙。

圖三 (a) 和 (b) 分別顯示了 Ta 底層上 CoFe 和 MnN 膜的 AFM 圖像。MnN ($R=0.4 \text{ nm}$) 的表面粗糙度大於 CoFe ($R=0 \text{ nm}$)。如圖三 (b) 所示，CoFe/MnN 中的界面粗糙度高於 MnN/CoFe 會導致 CoFe/MnN 的矯頑力較高。

圖三 (c) - (f) 顯示了研究薄膜的 AFM 圖，由圖可知，具有低 R 的 CoFe 有非常平坦的表面，因此可以產生良好的 EB。分析 R 的總結在圖三 (g) 在 T 低於 375°C 時，隨著 T 的增加，R 低於 1 nm，獲得較大的 H_E 。但較高的退火溫度導致一部分 N 擴散出 MnN 相及面相互擴散，R 會急劇增加，降低 H_E ，提升 H_C 。因此，除了相的結構外，界面形貌會影響 CoFe/MnN 膜之磁性。



圖三 MnN 和 CoFe 之間的界面粗糙度。

四、結論

本實驗結果顯示，CoFe/MnN 在 300 至 375°C 的溫度範圍內進行退火會同時引起 N 的擴散、結構緻密化和相分離之現象。MnN/CoFe 在相同的退火溫度僅會引起緻密化。MnN 結晶度增加會增強 AF 有序性，從而通過界面產生更強的 EB。但 N 的擴散會導致 AF 的磁序亂掉，從而削弱 EB。至於頂部覆有 CoFe 薄膜具較高的 H_C ，除了較大界面粗糙度外， H_C 也與 EB 的矯頑機制有關。本研究的結果提供了以 θ -MnN 作為 AF 層之 EB 系統有用的信息。

參考文獻

- [1] J. Nogues and I. K. Schuler, J. Magn. Magn. Mater. 192, 203 (1999).
- [2] Markus Meinert, Björn Bükler, Dominik Graulich, and Mareike Dunz, Phys. Rev. B 92, 144408 (2015).
- [3] K. O'Grady, et al., J. Magn. Magn. Mater. 322, 883 (2010).

報告題目 瓶中造粒(奈米微粒)

陳亮吟(S06210034)*, 陳芊羽(S06210006)

指導老師:王昌仁教授

*Email: sandy2012123456@gmail.com

摘要

在本演示我們選用常見的明礬,其易溶於水卻不溶於酒精.藉由超聲波震盪奈米噴霧器(也可利用一般噴霧罐)將明礬水噴入酒精中,當液滴進入酒精時會被迅速地脫水使明礬析出.藉由控制明礬滴大小與明礬水的濃度可以即時製作出奈米微粒,並藉由乳光的觀察可以直接偵測與驗證奈米微粒的形成。實驗結果不論是噴霧罐還是奈米噴霧罐皆能產生乳光現象,代表有奈米微粒的形成,且由一般噴霧罐得到的乳光現象較奈米噴霧罐明顯,原因為其液滴較大,微粒尺寸較大,微粒與光的散射現象較明顯。未來我們希望利用此法用於磁性奈米微粒的製作。

簡介

我和陳芊羽一起參加 2019 第二屆全國科學教具創意設計競賽,在這段時間我們和教授一起研究瓶中造粒(奈米微粒)這個主題。此演示的教學目標:一、可以即時觀察奈米微粒的形成。二、學習溶解度的觀念。三、學習如何偵測奈米微粒。

奈米材料的製作是奈米科技教育中一個重要的主題。但相關的演示實驗卻不易於課堂上進行。最常見的奈米材料製作演示是利用燃燒法來製作奈米碳,但此演示的弱點之一是製作出的奈米碳跟一般的碳並不容易簡單而明確地區分(都是黑色且不易分辨是否為奈米級)。在生活中經常能觀察到當溶劑逐漸減少時溶質將逐漸析出、沉澱的過程,若能適當地控制其過程是可以製作出奈米級的微粒,只是通常蒸發的過程頗為冗長。在工業上也有利用噴霧乾燥法製作微粒的方法,藉由控制噴霧的液滴大小來達到控制產物的微粒尺寸。但此法製作出的成品在一般課堂並不容易收集,且仍不易立即觀察、分辨並加以說明

奈米微粒的特性。因此我們希望能運用類似的過程直接在液體中(不是氣相中)製作奈米微粒,此時可藉由丁德爾效應直接觀察到微粒的產生過程。

物質在不同的溶劑當中常有差異很大的溶解度,在此演示中因此利用能溶於水不溶於酒精或能溶於酒精不溶於水等等這類對 A,B 兩種溶劑溶解度差異很大的溶質,且兩種溶劑是可以很容易彼此互溶的(例如水與乙醇)。因此當特定溶劑 A 的溶液滴進入另一溶劑 B 時,因為溶質並不溶於所進入的溶劑 B,但兩溶劑卻極易互溶。使得原液滴中的溶劑 A 很快地減少、即溶質將快速被析出。此時藉由一束進入液體中的雷射光,可預期會觀察到原本沒有乳光出現的純溶劑 B 中隨著含溶質的液滴進入而出現乳光的現象,藉此直接觀察到微粒的產生過程。我們也預期能藉由改變液滴大小來控制微粒尺寸,當液滴很大、應會析出肉眼可見的微粒並進而產生沉澱的現象。

研究方法

實驗步驟:

1. 在兩個透明瓶內(A、B)加入酒精，接著在兩個噴霧器內加入蒸餾水及明礬，並使其溶解。



2. 用雷射筆照 A 瓶中的純酒精，觀察有無乳光現象。
3. 用一般噴霧罐噴在 A 瓶酒精瓶裡，慢慢噴並觀察其變化，噴了一、兩次後的效果不明顯。
4. 噴了數下後可觀察到明顯的乳光現象。



5. 用雷射筆照射 B 瓶中的純酒精，觀察可知有無乳光的跡象。
6. 用超聲波震盪奈米噴霧器噴在 B 瓶酒精瓶裡，慢慢噴並觀察其變化，噴了一、兩下後的光尚不明顯。
7. 因為奈米噴霧罐的液滴較一般噴霧罐小，所以噴了七、八下，進入酒精的溶液量較少，析出的微粒較少，但仍可看到乳光。
8. 噴了十下後開始看見較清晰的乳光。



本演示的優點為:

1. 材料易於取得:均為一般教師可取得的材料。
2. 材料成本便宜:扣除固定器材(雷射筆,噴霧器,透明瓶)僅約幾十元台幣。
3. 結果明確:藉由乳光的觀察可讓學生直接觀察到奈米物質的形成。
4. 操作簡單:整個演示過程不複雜可適用於各級學校的教學。
5. 可進一步探究是否有不同物質也有類似行為。
6. 讓學生對溶解度的概念與應用有深刻印象。

結果與討論

不論是一般噴霧罐還是奈米噴霧罐皆能產生乳光現象，代表有奈米微粒的形成，且由一般噴霧罐得到的乳光現象較奈米噴霧罐明顯，原因為其液滴較大，微粒尺寸較大，微粒與光的散射現象較明顯。

結論

此演示成功驗證奈米微粒的形成，但還有許多方面可以再多去探討，例如:除了明礬外還能用什麼取代?一定要用蒸餾水嗎?若做完後再加入大量的水於酒精仍會見到乳光的跡象嗎?如果不用噴霧而直接將明礬水滴入酒精會出現甚麼狀況?有其他方法可確定製作出的是奈米微粒嗎.....等等。

參考文獻

報告題目 以化學共沉法製造磁流體

作者 S06210041 林畊佑

指導老師 王昌仁

*Email: s06210041@thu.edu.tw

摘要

以化學共沉法製造出鐵(Fe_3O_4)的磁性奈米微粒，外層再由介面活性劑包覆，使磁性微粒不會聚集而沉澱。此實驗為未來製作磁性奈米殼層結構樣品做準備。未來是擬製作用氧化鐵包覆稀土合金奈米微粒的結構。好處是可利用氧化鐵來避免有高磁化量的稀土合金被氧化。

簡介

化學共沉法的最大優點是可以一次製造大量的奈米微粒，共沉法發生反應時有兩個過程，一個是晶核發生的過程非常的短暫，須等到物質達到過度飽和態才會起反應；另一為晶核成長的過程非常緩慢，且為了讓產生的微粒是單一且分散的，必須在晶核生成的同時控制它的成長擴散速度及保持特定的大小，主要的控制變因為各溶劑濃度及溫度變化。

研究方法

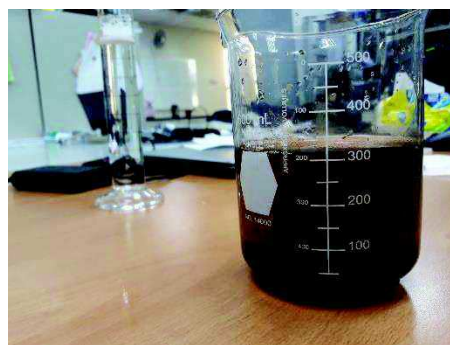
1. 取 $FeSO_4$ 和 $FeCl_3$ 的固體，以莫耳數 1:2 的比例秤量，分別加入的純水中，配置成水溶液，以磁攪拌器攪拌混合。
2. 將 15N 的氨水稀釋成 7.5N
3. 使用滴管將氨水一滴一滴的加入 $FeSO_4$ 和 $FeCl_3$ 的混合溶液中，同時使用磁攪拌器一邊加熱一邊攪拌，直到混合溶液變成黑色。
4. 將磁鐵放到燒杯的底部，讓沉澱速度加快，等待約十幾分鐘後，倒掉上方的透明液體，加入純水，等待沉澱，再倒掉其上方的透明液體，重覆約兩三次。

5. 加入 HCl 以去除水中的離子(也可以一開始就用鹽酸調配溶液，效果一樣)。

6. 將鹽酸用步驟 4 的方法洗清後加入介面活性劑並觀察其結果。

結果與討論

目前已做了氯化鐵、氯化亞鐵及氯化鐵、硫酸鐵的兩種組合。



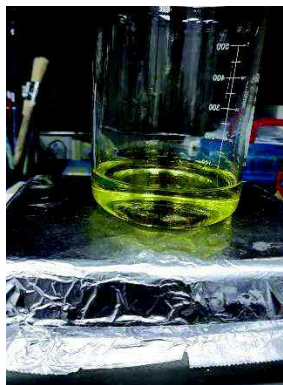
圖(1)氯化鐵與硫酸鐵成品

此配方我將氯化鐵與硫酸鐵直接用純水融化，滴入的鹼性溶液我選擇使用氨水，最後用鹽酸洗清一次去除水中的離子，介面活性劑使用 $C_{12}H_{25}NaSO_4$ ，結果如圖一所示，發現雖然粉末可以被磁鐵影響，且有流體的特性，但磁性非常微弱。



圖(2)氯化鐵與氯化亞鐵成品

此配方我將氯化鐵與氯化亞鐵用鹽酸融化，之後便可以省略用鹽酸去離子的過程，滴入的鹼性溶液我能就選擇使用氨水，但是介面活性劑這次使用檸檬酸，結果如圖二所示，發現這次的粉末比較大顆，且雖然可以被磁鐵影響，磁鐵也較強，但無明顯流體的特性。



圖(3)為圖二靜置一天發生的變化，發現溶液變回加入氨水前的顏色，具體原因尚不得知。

結論

這次試做兩個樣品，只是想先巨觀的觀察一下改變不同的溶劑會有甚麼變化，之後會做出各種對照組別，以確認溶劑的濃度、加入鹼性溶液的速度、介面活性劑的種類等等是如何影響實驗的結果。

參考文獻

<https://reurl.cc/319A0X>

<https://reurl.cc/a1Ab1Y>

<https://reurl.cc/5gzLM7>

Bi_{0.95}R_{0.05}FeO₃ 多晶薄膜結構及多鐵性之研究(R = La, Pr, Nd, Sm, and Ho)

Multiferroic properties of Bi_{0.95}R_{0.05}FeO₃ polycrystalline films on the glass substrates (R = La, Pr, Nd, Sm, and Ho)

宋翌瑄(S06210042)

指導老師：張晃暉及王昌仁

Email: amysung0356@gmail.com

摘要

本研究以脈衝雷射 (PLD)，將 Bi_{0.95}R_{0.05}FeO₃ (BRFO) (R = La, Pr, Nd, Sm 和 Ho) 膜於 450 °C 下沉積在已優化的 20 nm 厚的 Pt 底部電極之玻璃基板上。XRD 結果顯示本研究的 BRFO 薄膜中均呈現單一鈣鈦礦結構，且具有精細微結構及平坦之表面。本研究的 BRFO 多晶薄膜具有良好的鐵電和磁性。殘餘極化量(2P_r)為 60-120 μC/cm²，矯頑電場為 180-300 kV/cm，與單一鈣鈦礦結構及晶格間距有關。其飽和磁化量為 4.9-17.8 emu/cm³，矯頑力為 400-600 Oe。其中 BHFO 具最高飽和磁化量為 17.8 emu/cm³，此與 Ho³⁺在 R³⁺中有的最高磁矩 10.6 μ_B 有關。本研究結果顯示以 R 置換 Bi 於 BRFO 多晶膜中有助其獲得良好多鐵特性。

一、簡介

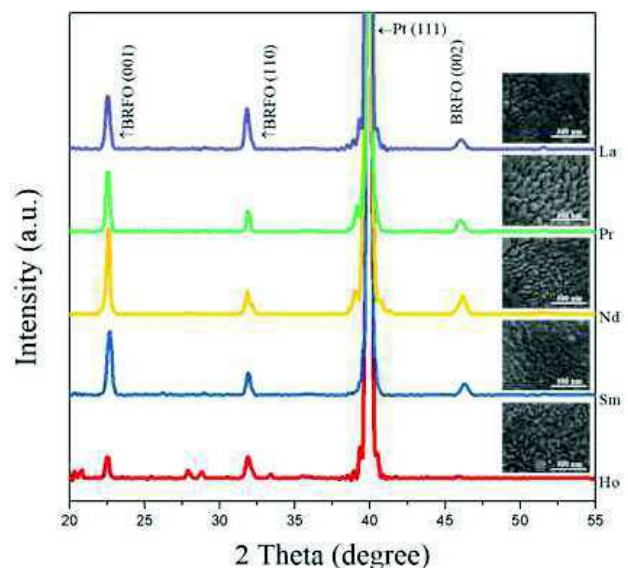
鈣鈦礦結構的 BiFeO₃ 為目前唯一室溫單相之多鐵材料，其鐵電的居禮溫度(T_C=810K)與反鐵磁之涅爾溫度(T_N=640K)均遠高於室溫，因此在自旋電子和磁電元件的應用潛能引起了廣泛注意[1]。BFO 的主要問題是漏電流。此外，BFO 弱鐵磁性也是一個尚待解決的問題。根據報導，在 BFO 塊材中，用稀土離子 (R³⁺) 置換 Bi 離子可提高其磁性，但依然很弱。故本實驗研究 La、Pr、Nd、Sm 和 Ho 摻雜效應對 BRFO 薄膜的結構、鐵電性和磁性之影響。

二、研究方法

本實驗用 PLD 鍍製 BRFO 在有 Pt 底層之玻璃基板上，其鍍製之工作氧壓為 50 mTorr、溫度為 450 °C、雷射波段為 355 nm。Pt 底層是由濺鍍法以 10 mTorr 的 Ar 壓力和 60W 的功率製備而成。以 XRD 分析 BRFO 的晶體結構，SEM 觀察表面形貌，TF analyzer 2000 量測鐵電性質與漏電流，VSM 量測磁滯曲線。

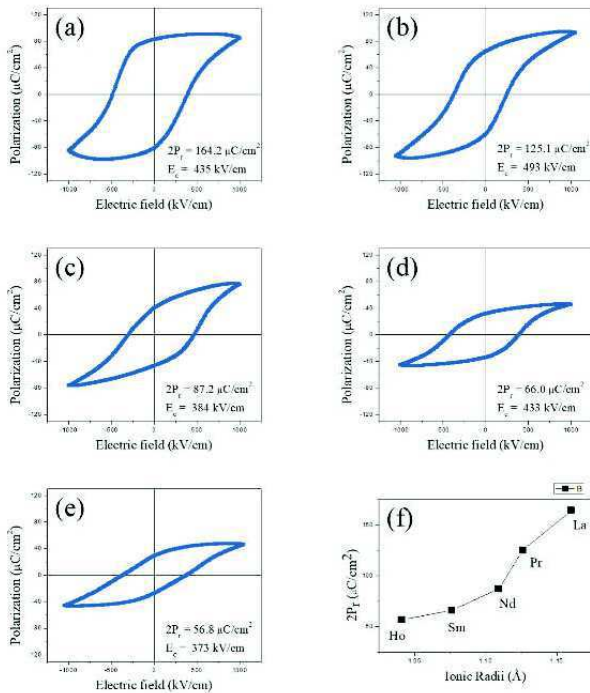
三、結果與討論

圖一為 BRFO 薄膜之 XRD 圖。由圖可知 BRFO 膜僅有單一鈣鈦礦結構形成，而繞射峰的位置隨著 R 離子半徑的減小，會向高角度偏移，代表晶格間距有縮小的現象。

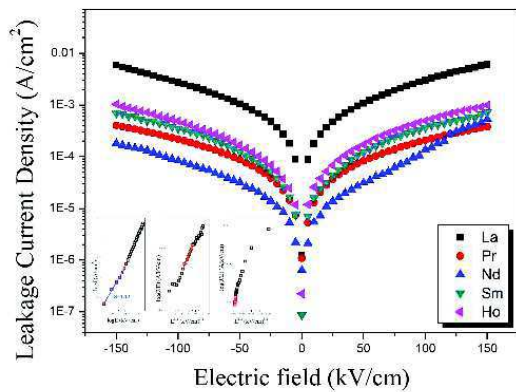


圖一 Bi_{0.95}R_{0.05}FeO₃ (R = La, Pr, Nd, Sm and Ho) 薄膜的 XRD 圖。

圖二為 BRFO 薄膜之 P-E 曲線圖。BRFO 皆呈現良好鐵電性，如圖二(f)可知，隨著 R 離子半徑減少，其殘餘極化量也由 $164.2 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 降低至 $56.8 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 。原因與晶格間距有關。當晶格間距變小，離子可在晶格內可位移的空間變窄，導致殘餘極化量也隨之下降。



圖二 $\text{Bi}_{0.95}\text{R}_{0.05}\text{FeO}_3$ ($\text{R} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$ and Ho) 薄膜的電滯曲線。

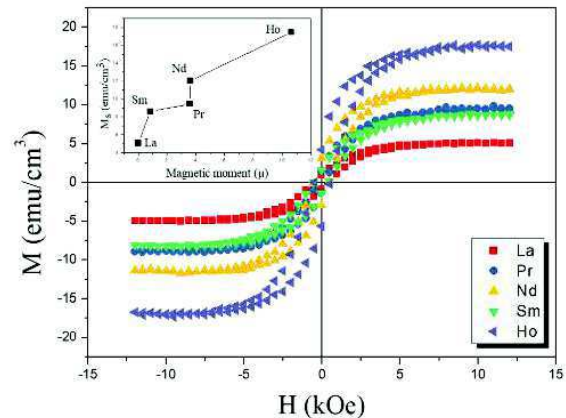


圖三 $\text{Bi}_{0.95}\text{R}_{0.05}\text{FeO}_3$ ($\text{R} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$ and Ho) 薄膜的漏電流密度與電場關係圖。

圖三為 BRFO 薄膜之 J-E 曲線。BRFO 膜呈現低之漏電流，導致有良好鐵電性，如圖二。低漏電原因主要有二，一為平坦的 BFO 與 Pt

界面，二為擁有細晶粒之單一鈣鈦礦結構。

圖四為 $\text{Bi}_{0.95}\text{R}_{0.05}\text{FeO}_3$ ($\text{R} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$ and Ho) 薄膜的磁滯曲線。附圖為 R^{3+} 離子的磁矩大小與其飽和磁化量之關係圖。由圖可知，BRFO 薄膜的飽和磁化量與 R^{3+} 的磁矩呈正相關，其中 Ho^{3+} 的磁矩最大，故 BHFO 膜飽和磁化量最高。



圖四 $\text{Bi}_{0.95}\text{R}_{0.05}\text{FeO}_3$ ($\text{R} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$ and Ho) 薄膜的磁滯曲線。

四、結論

本研究在低溫 450°C 下，透過 PLD 在 20 nm 厚的 Pt 底部電極之玻璃基板上製備 BFO 摻雜稀土元素之 BRFO 薄膜，並研究其結構、表面形態、鐵電性和磁性。BRFO 薄膜有單一的鈣鈦礦結構，且均具有平坦之表面與精細的微結構，抑制漏電流，使它有良好的多鐵特性。其 $2P_r$ 為 $57-164.2 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ， E_c 為 $373-493 \text{ kV}/\text{cm}$ 及 M_s 為 $5.1-17.5 \text{ emu}/\text{cm}^3$ 。 R^{3+} 離子半徑可能主導了 BRFO 薄膜的電極化量， M_s 則與摻雜的 R^{3+} 離子的磁矩有相關。本研究的結果顯示，在較低的沉積溫度下，Pt 底層之玻璃基板上製備稀土摻雜 BFO 之薄膜，為應用上有潛力的多鐵性材料。

五、參考文獻

[1] J. Wang et al., Science, 299, 1719 (2003).

透過快速升溫退火爐製備高磁能積 $\text{Fe}_x\text{Pt}_{100-x}$ 薄膜 ($x = 60-66$)

High energy product $\text{Fe}_x\text{Pt}_{100-x}$ thin films ($x = 60-66$) prepared by rapid thermal annealing

C.R. Yang 楊青如(S06210049)*,

指導老師 C.R. Wang(王昌仁)¹, H.W. Chang(張晃暉)^{2*}

*Email: S06210049@thu.edu.tw

摘要

本實驗採用 $\text{Fe}_x\text{Pt}_{100-x}$ ($x = 60-66$) (L_{10} 和 L_{12} 相之間的成分比例) 濺鍍到玻璃基板上, 然後在 300-600 °C 進行快速升溫退火, 並研究其磁性。實驗結果顯示, 初鍍態的 $\text{Fe}_x\text{Pt}_{100-x}$ 薄膜僅存在 A1 相, 退火後將序化成 L_{10} 及 L_{12} 相。值得注意的是, $\text{Fe}_{60}\text{Pt}_{40}$ 薄膜在 300 °C 退火後可獲得 20.8 MGOe 的磁能積 ($(\text{BH})_{\text{max}}$) 和 6.1 kOe 矯頑力 (H_c), 而且退火 500 °C 後可以達到 $(\text{BH})_{\text{max}} = 26.0$ MGOe 和 $H_c = 5.7$ kOe。適當的序化程度和良好的微結構是獲得高 $(\text{BH})_{\text{max}}$ 的主要原因, 隨著退火溫度的升高, 磁性會先降低, 後提高。磁性隨退火溫度和 $\text{Fe}_x\text{Pt}_{100-x}$ 成分之變化趨勢的原因將在本文中進行詳細討論。

一、簡介

近年來磁性薄膜的研究引起廣泛的關注, 尤其是在磁性薄膜方面, 厚度小於 200 nm 的薄膜, 具有良好的磁性、居禮溫度及化學穩定性 Fe-Pt 和 Co-Pt 等的 L_{10} 材料。

在 Fe-Pt 合金中, L_{10} 相的磁晶異向性 (K_u) 很高, 約為 7×10^7 erg/cm³, 異向性場 (H_k) 超過 100 kOe, 飽和磁化量 (M_s) 約為 1080 emu/cm³, 其理論的磁能積 $(\text{BH})_{\text{max}}$ 為 46.0 MGOe。以往的實驗中, $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ 多晶薄膜的 $(\text{BH})_{\text{max}}$ 為 10-20 MGOe [1-2]。根據研究, 提高 Fe 的成分比例可以提高 $(\text{BH})_{\text{max}}$ [3-4], 並透過對多層的 FePt 和 Fe 或是 Fe_3Pt 進行適當的熱處理, 誘導 L_{10} 相的 FePt 和富 Fe 相之間產生強的交換耦合效應, 並使 $(\text{BH})_{\text{max}}$ 高於 50 MGOe [3]。由此可知要優化 $(\text{BH})_{\text{max}}$, 軟磁相和硬磁相的分佈及尺寸非常重要。儘管 Fe-Pt 有特定的超晶格結構 L_{10} 及 L_{12} , 但是其具有兩相共存區, 也就表示相之間不會有邊界, 此時退火會使 K_u 均勻化, 並導致較大晶粒分佈削弱晶粒間的磁耦合。在此研究中以快速升溫退火 $\text{Fe}_x\text{Pt}_{100-x}$ 薄膜的方式, 透

過序化且細化微結構來增進交換耦合, 達到高磁性: $H_c = 5.7$ kOe 及 $(\text{BH})_{\text{max}} = 26.0$ MGOe。

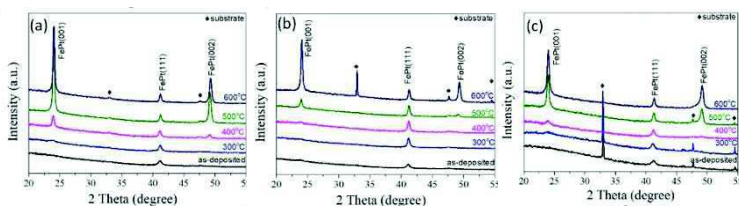
二、研究方法

Fe-Pt 合金靶是在高純度 (99.99%) 的 $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ 靶上貼 Fe 錠製成。在室溫下 (RT) 用磁控濺鍍在熱氧化的 Si(100) ($\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$) 基板上沉積 30 nm 的 $\text{Fe}_x\text{Pt}_{100-x}$ ($x = 62-68$)。背景壓力低於 2×10^{-7} torr, 工作壓力為 10 mtorr。沉積後, 再使用快速升溫退火爐 (RTA) 於低於 2×10^{-6} torr 的壓力下進行退火, 退火溫度 (T_a) 為 300-600 °C, 持續 10 分鐘, 加熱速率固定為 40 °C/sec。FePt 薄膜的二元組成通過能量色散光譜法鑑定, 再透過 X 射線螢光進行檢查。晶體結構由 X 射線繞射儀 (XRD) 測量, 再使用振動樣品磁力計 (VSM) 測量磁性。

三、結果與討論

由圖一可知, 三個系列的 $\text{Fe}_x\text{Pt}_{100-x}$ ($x = 60-66$) 在退火溫度下的結構演變是相似的。在初鍍態下能觀察到 (111) 的繞射峰都較微弱, 顯示出仍是未序化的狀態, 且對於有較高 Fe 含量的薄膜, 隨著 T_a 的提高 (111) 的繞射

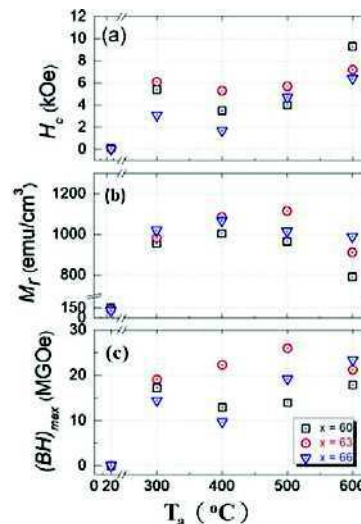
峰有往高角度偏移的現象，表示薄膜的晶粒增大伴隨著拉伸應變的增加。當 T_a 大於 400°C ，可以觀察到 (001) 和 (002) 的超晶格峰出現，超晶格峰和 (111) 的偏移都顯示 $L1_0$ 相已經序化，而 (00L) 峰隨 T_a 升高，出現半高寬 (FWHM) 變窄的現象，代表晶粒變大。值得注意的是，當 $T_a=500-600^\circ\text{C}$ 時，三個系列都有很強的 (00L) 繞射峰，推測是由 $L1_0$ 相或 $L1_0$ 和富 Fe 的 $L1_2\text{-Fe}_3\text{Pt}$ 相組合而成，如果主要是由前一種情況影響，則會出現垂直磁異向性。



圖一：(a) $\text{Fe}_{60}\text{Pt}_{40}$ (b) $\text{Fe}_{63}\text{Pt}_{37}$ (c) $\text{Fe}_{66}\text{Pt}_{34}$ 薄膜在不同 T_a 下退火的 XRD 圖。

圖二 (a) 顯示，在初鍍態下，沒有序化的 A1 相導致 H_c 低於 0.1 kOe ，透過 $T_a = 300^\circ\text{C}$ 的退火後 $\text{Fe}_{60}\text{Pt}_{40}$ ， $\text{Fe}_{63}\text{Pt}_{37}$ 和 $\text{Fe}_{66}\text{Pt}_{34}$ 薄膜的 H_c 分別增加至 5.4 kOe ， 6.1 kOe 和 3.1 kOe 。隨著 T_a 逐步提高到 600°C ， H_c 在 $T_a = 400^\circ\text{C}$ 時先降到 $1.7-5.3\text{ kOe}$ ，然後 $T_a = 600^\circ\text{C}$ 時增加到 $6.4-9.3\text{ kOe}$ 。在 $T_a = 600^\circ\text{C}$ 時，具有較低 Fe 含量的薄膜表現出較高的 H_c ，推測可能與 $L1_0$ 相較多或序化程度較高有關。

圖二 (b) 及 (c) 顯示經過 $T_a = 300-600^\circ\text{C}$ 的退火後 $\text{Fe}_{60}\text{Pt}_{40}$ 的 $(BH)_{\max}$ 提高到 $12.9-17.2\text{ MGOe}$ ， $\text{Fe}_{63}\text{Pt}_{37}$ 分別為 $19.1-26.0\text{ MGOe}$ ， $\text{Fe}_{66}\text{Pt}_{34}$ 則為 $9.7-23.4\text{ MGOe}$ ，值得注意的是，由於適當的 H_c 和高 M_r ，在 $T_a = 500^\circ\text{C}$ 時 $\text{Fe}_{63}\text{Pt}_{37}$ 達到了最大 $(BH)_{\max} = 26.0\text{ MGOe}$ 。



圖二： $\text{Fe}_x\text{Pt}_{100-x}$ ($x = 60-66$) 薄膜在不同 T_a 下退火的 (a) H_c 、(b) 殘餘磁化量 M_r 及 (c) $(BH)_{\max}$ 趨勢圖。

四、結論

本文探討了 $\text{Fe}_x\text{Pt}_{100-x}$ ($x = 60-66$) 薄膜經過不同退火溫度 T_a 後的磁性及微觀結構， $\text{Fe}_{63}\text{Pt}_{37}$ 薄膜有最大的 $(BH)_{\max} = 26\text{ MGOe}$ ， $H_c = 5.7\text{ kOe}$ ，此與良好之 (00L) 優選取向及細晶粒導致晶粒間有強的交換耦合效應有關。適當的二元合金組成經由使用 RTA 細化微觀結構，可以簡單製程且經濟的獲得高性能的 Fe-Pt 薄膜。

五、參考文獻

- [1] C.Y. Shen, H.W. Chang, F.T. Yuan, M.C. Lin, C.C. Su, H.H. Yeh, M.F. Huang, C.R. Wang, C.W. Shih, and W.C. Chang, *Appl. Surf. Sci.* 313, 755 (2014).
- [2] C.Y. Shen, H.W. Chang, F.T. Yuan, C.C. Su, Y.W. Wang, C.L. Fan, C.R. Wang, C.W. Shih, and W.C. Chang, *J. Phys. Chem. Solids* 98, 143 (2016).
- [3] J.P. Liu, C.P. Luo, Y. Liu, and D.J. Sellmyer, *Appl. Phys. Lett.* 72, 483 (1998).
- [4] X. Rui, J.E. Shield, Z. Sun, L. Yue, Y. Xu, D. J. Sellmyer, Z. Liu, and D.J. Miller, *J. Magn. Mater.* 305, 76 (2006).

在玻璃基板上鍍製Co/MnPt和MnPt/Co多晶薄膜結構及交換偏壓之比較

Comparison on the structure and exchange bias in Co/MnPt and MnPt/Co polycrystalline films on glass substrates

作者:S05211012 賴郁茹

指導老師:張晃暉、王昌仁

Email: s05211012@thu.edu.tw

本研究比較了Co (5 nm) / MnPt (20 nm) 和MnPt/Co多晶薄膜在不同退火溫度 (T) 下的結構和磁特性。從XRD和TEM分析可知，初鍍態MnPt在Co/MnPt薄膜平面內的壓縮性高於MnPt/Co。透過適當熱處理，可以在兩種薄膜中獲得高的 H_E ，為464-560 Oe。 H_E 隨著溫度增加主要是由MnPt層的序化和界面粗糙度決定。與MnPt/Co薄膜 (T=250 °C) 相比，Co/MnPt在薄膜平面內壓縮性較高而表現出較高 $L1_0$ 序化度，在較低溫T=200 °C時，應力開始釋放並優化 H_E 。相較於Co/MnPt薄膜T=200 °C (464 Oe)，MnPt/Co薄膜在T=250 °C (560 Oe) 時有較高的 H_E 可能與 $L1_0$ 相的晶粒生長有關。但是，較高的退火溫度會導致膜層相互擴散且表面變粗糙，進而降低 H_E 和 H_c 。本研究提供了以 $L1_0$ -MnPt作為反鐵磁層交換偏壓系統有用訊息。

一、簡介：

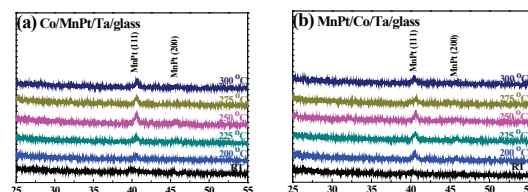
交換偏壓是鐵磁和反鐵磁層之間的交互作用下導致磁滯曲線的偏移。[1] $L1_0$ - $Mn_{50}Pt_{50}$ 是一種反鐵磁材料，由於其較高的Neel溫度、較大的 K_{AF} 、良好的熱穩定性以及耐腐蝕性，因此在交換偏壓系統中備受關注。[1] 然而，在室溫下鍍製的 $Mn_{50}Pt_{50}$ 薄膜結構是順磁性無序的FCC結構。為了形成有序的反鐵磁並與鐵磁層產生強的交換耦合，必須進行場退火冷卻至室溫的熱處理，以形成有序的 $L1_0$ 相。[2] 由於交換偏壓是一種界面現象，因此反鐵磁層和鐵磁層的粗糙度、形態、結晶、厚度和晶粒尺寸皆會影響交換偏壓場。[3] 微結構和界面對於優化 H_E 非常重要。本研究提供了以 $L1_0$ -MnPt作為反鐵磁層交換偏壓系統有用訊息。

二、研究方法：

在室溫下，利用磁控濺鍍在玻璃基板上製備了3 nm厚的Ta緩衝層、具有5 nm厚的Co層和20 nm厚的MnPt層的Co/MnPt和MnPt/Co膜。隨後再鍍製3 nm厚的Ta到樣品上避免氧化。用150-300 °C不同的溫度下進行後退火1小時，並且在2 kOe的外加磁場中冷卻至室溫。通過XRD觀察其結構、AGM測量磁特性、AFM測量樣品的厚度和表面形態以及通過TEM觀察微結構。

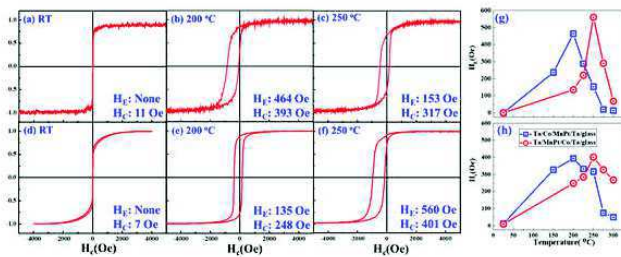
三、結果與討論：

圖一 (a) 和 (b) 為在不同退火溫度的Co/MnPt和MnPt/Co薄膜的XRD圖。由圖可知，其皆含有MnPt(111)和MnPt(200)的繞射峰。從室溫增加到300 °C，MnPt(111)繞射峰強度增加，並向高角度偏移，這可能是晶粒生長和拉伸應變所致的結果。



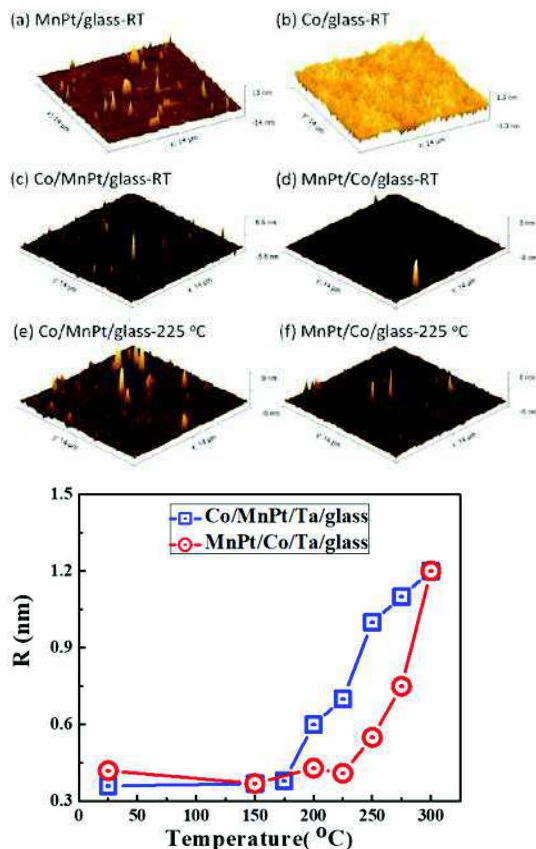
圖一 不同退火溫度之XRD圖

圖二 (a) - (f) 顯示了在不同溫度下退火的Co/MnPt和MnPt/Co薄膜的磁滯曲線圖分析結果彙整於圖二。初鍍態的Co/MnPt和MnPt/Co薄膜的磁滯曲線沒有偏移，是由於順磁性無序FCC的MnPt無法產生的交換偏壓所致。圖二 (b), (c) 和 (e) - (f) 顯示由於 $L1_0$ 序化而產生的交換偏壓。交換偏壓隨退火溫度增加而增加，這與 $L1_0$ 序化有關，而 H_c 的增加可能是由於界面粗糙和 $L1_0$ 序化導致 K_u 的增大。隨著溫度進一步增加， H_E 是由 $L1_0$ 序化和層間擴散的因素所決定。而Co-MnPt界面處的相互擴散會破壞 $L1_0$ MnPt的反鐵磁序化從而抵消交換偏壓。



圖二 磁滯曲線及趨勢圖

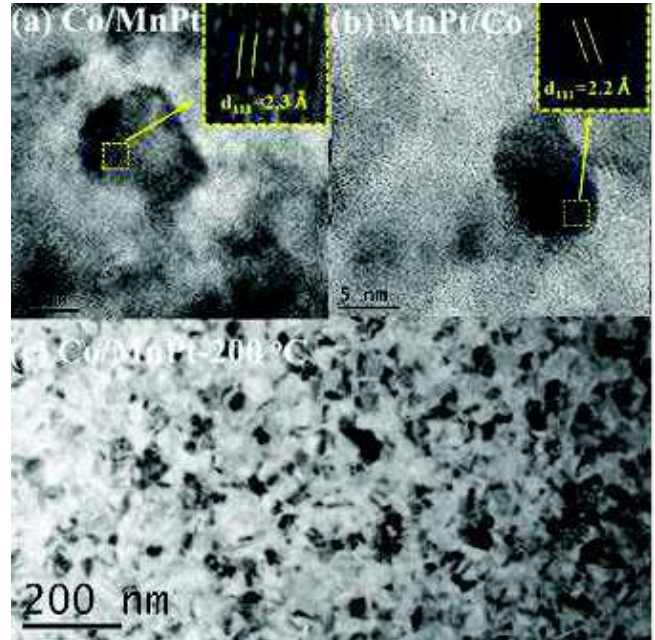
較高的界面粗糙度有利於界面混合，此對應XRD結果表明，使MnPt層的序化在較低溫度下發生的。圖三為粗糙度之趨勢圖。由圖可以觀察到非常平坦的表面，具有0.36-1.22 nm的低粗糙度，因此可以導致良好的EB。對於Co/MnPt薄膜，粗糙度幾乎不變，直到T=200 °C後 H_E 增加，MnPt/Co也有相似的结果。較高的退火溫度導致相互擴散進而導致粗糙度增大，因此 H_E 和 H_c 減小。由此可知，較高溫度導致 H_E 減小主要由界面的粗糙度決定。



圖三 不同溫度下和粗糙度關係

圖四 (a) 和 (b) 分別顯示了初鍍態的Co/MnPt和MnPt/Co膜的HRTEM圖像。從圖四 (a) 和 (b) 圖可以看出，Co/MnPt和MnPt/Co

薄膜的平均 $d(111)$ 值分別為2.3 Å和2.2 Å。TEM分析的結果與上述XRD一致，如圖一所示。圖四 (c) 顯示了T=200 °C時Co/MnPt薄膜的TEM圖像。觀察到光滑的微觀結構具有15-30 nm的均勻細小晶粒，有助於提高 H_E 。



圖四 (a) 初鍍態Co/MnPt (b) 初鍍態MnPt/Co (c) T=250 °C時Co/MnPt之TEM圖

四、結論

在T=150-300 °C的兩種薄膜中獲得13-560 Oe的 H_E 。 H_E 隨T的增加主要由MnPt層的序化和界面粗糙度決定。隨T增加的序化和粗糙度可能與MnPt層的應力/應變狀態有關。與MnPt/Co薄膜 (T=250 °C) 相比，Co/MnPt薄膜表現出 $L1_0$ 序化，開始應力釋放以及在較低溫度時優化 H_E 。MnPt/Co薄膜在T=250 °C (560 Oe) 時的高 H_E 可能比Co/MnPt薄膜T=200 °C (464 Oe) 的高 H_E 可能與 $L1_0$ 相的晶粒成長有關。但是，較高的退火溫度會導致相互擴散，表面變粗糙，從而降低 H_E 和 H_c 。本研究在以Co為FM層和MnPt為AF層的交流偏壓系統中提供了重要的訊息。

五、參考文獻

- [1] J. Nogues and I. K. Schuler, "Exchange bias," J. Magn. Magn. Mater. 192, 203 (1999).
- [2] R. Y. Umetsu, et al., Appl. Phys. Lett. 89, 052504 (2006).
- [3] H. W. Chang, et.al., Surf. Coat. Technol. 303, 148(2016).

以脈衝雷射製備ITO/(Bi,Nd)FeO₃薄膜於玻璃基板及其結構與光伏性質之研究

作者: 喬昱智 S05211013

指導老師: 張晃暉 王昌仁

Email: s05211013@thu.edu.tw

摘要:

本研究以脈衝雷射沉積(PLD)製備ITO/Bi_{1-x}Nd_xFeO₃(BNFO)膜於Pt為底層之glass基板上,並研究不同X以及降溫製程對其結構及光伏特性之影響。在T_g = 600 °C 之200 nm厚BNFO沉積在20 nm厚之Pt之玻璃波板上隨著X上升至0.2 可發現BNFO (110)織構有向高角度偏移之現象。以緻密且平坦Pt底層可成長高品質BNFO膜。在各參雜比例X中皆可發現有光伏效應。在參雜比例X降至3% 且於最大雷射功率(278mw/cm²), 其開路電壓(V_{oc})與短路電流(J_{sc})分別為2.08 mV、28.83 μA/cm²。另一方面, 降溫時不含氧可望提高氧空缺並提升光伏效應。且在最高光強度為278 mW/cm²在Pt 40 nm之樣品有最高的光伏, V_{oc}=2.74 mV, J_{sc}=7.91μA/cm²。

一、簡介:

科技產業中, 鐵磁與鐵電材料在電子產業上是常見的材料, 前者是常見於硬碟之讀頭和紀錄層, 後者則為非揮發性記憶體材料。上述兩種特性, 如果能同時並存, 並且相互控制, 此材料可在應用方面具有更多的可能性。

在眾多的多鐵材料之中BiFeO₃(BFO)最受矚目, 因為在室溫下具有高的鐵電居禮(1103 K)與反鐵磁涅爾(643 K)之相變溫度, 所以在自旋電子裝置及非揮發性的紀錄媒體中有不錯的潛力。在2009年, 由Choi等人報導指出BFO具有光伏效應, 其原因是BFO具有較小的直接能隙(約2.67 eV)[1]。許多團隊選擇在BFO內參雜不同的元素藉由取代Bi或Fe提高特性以及降低電矯頑力薄膜, 且能使缺陷減少並提升鐵電性。且在塊材中也發現若添加Nd 可使能隙下降[2]。

二、研究方法:

本實驗製備採用脈衝雷射沉積法, 在於10⁻⁶真空背景及30mT之氧工作壓力。基板選擇玻璃基板, 並在上鍍製一層Pt底層其目的為了降低成相溫度, 和提高結構穩定性。在研究將BFO參雜Nd 不同比例沉積於上和探討降溫製程不含氧對於光伏之影響以期獲得較高的光伏特性。並使用

XRD量測的晶體結構, 光之照射波長為λ=405 nm, Keithley 2000量測其光伏性質。

三、結果與討論:

錯誤! 物件無法用編輯功能變數代碼來建立。

圖1 T_g=600 °C之Bi_{1-x}Nd_xFeO₃ (X=0.03, 0.05, 0.20) 薄膜沉積於20 nm Pt/玻璃基板上之XRD圖。

由圖1可知, 在600 °C下, Pt底層呈現強烈強度的(111)取向且具有勞萊繞射, 代表Pt底層結晶良好且表面平坦。且不同參雜比例的BNFO皆有明顯之繞射峰, 且在Nd 含量提高中可看見BNFO的繞射峰皆有往高角度偏移之現象, 此結果是由於離子半徑較小Nd取代更多較大的Bi的緣故使晶面間距縮減。故隨X上升繞射峰逐漸往高角度偏移。

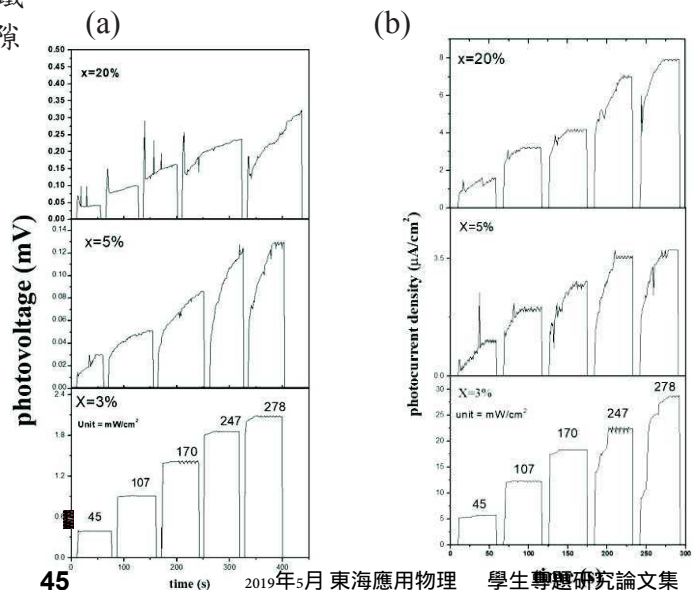
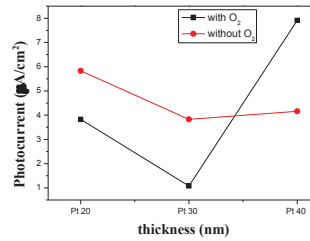


圖 2 $T_g = 600^\circ\text{C}$ 不同參雜比例之 $\text{Bi}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeO}_3$ ($X=0.03, 0.05, 0.20$) 之(a)光電壓(b)光電流與時間對應不同雷射強度關係圖。

由圖 2 可知，不同參雜比例皆有光伏效應但都在參雜 3%時最為穩定，且在最高光強度



(a)

(b)

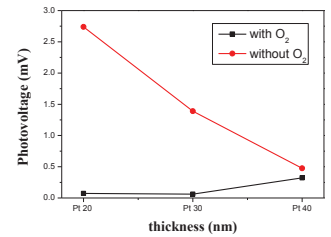


圖 4 ITO / $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ 在沉積於不同之Pt厚度下並以最高光強度為 278 mW/cm^2 照射之(a)開路電壓與(b)短路電流

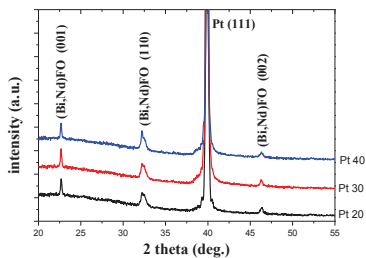
由圖4可知，可以發現降溫不含氧製成可望提升氧空缺，其可以增加電子的流通增加光伏效應。沉積完BNFO薄膜後，在降溫時有無通氧氣做比較，可以發現無通氧氣降溫的光伏效應相比較好。且在最高光強度為 278 mW/cm^2 在Pt 20 nm之樣品有最高的光伏， $V_{oc} = 2.08\text{ mV}$ ， $J_{sc} = 28.83\text{ }\mu\text{A/cm}^2$ 。

四、結論：

1. 發現隨著Nd置換量X的上升BNFO (110) 織構有往高角度偏移的現象，這是因為Nd的離子半徑較小取代更多更大的 Bi^{3+} 故使晶面間距縮減造成繞射峰往高角度偏移。參雜3%時最為穩定，且有較高的光伏效應。
2. 降溫製成不含氧可望提升氧空缺其可以增加光伏效應。在實驗中沉積完BNFO薄膜後，在降溫時有無通氧氣做比較，可以發現無通氧氣降溫的光伏效應相比較佳。

五、參考文獻

- [1] T. Choi, S. Lee, Y. J. Choi, V. Kiryukhin, S. W. Cheong, Science, 324, 63-66 (2009).
- [2] C.-S. Tu et al. Acta Mater. 149, 248 (2018).



為 278 mW/cm^2 樣品有最高的光伏， $V_{oc} = 2.08\text{ mV}$ ， $J_{sc} = 28.83\text{ }\mu\text{A/cm}^2$ 。

(a)

(b)

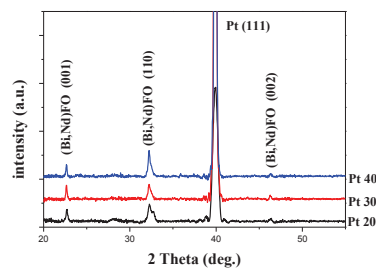


圖3 $T_g=600^\circ\text{C}$ 之 $\text{Bi}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{FeO}_3$ 沉積於 Pt之玻璃板上之XRD圖 (a)降溫含氧氣 (b)降溫不含氧氣

由圖3可知，不同厚度之Pt底層呈現強烈強度的(111)取向且具有勞哀繞射，代表Pt底層結晶良好且表面平坦。且不同底層厚度下的BNFO皆有明顯之繞射峰在底層厚度逐漸提升過程中朝等方性成長之鈣鈦礦結構。

Cu頂層擴散提高FePd薄膜矯頑力之研究

Coercivity enhancement of FePd thin films with the diffusion of Cu top layer

作者：林柏槐(S05211018)*

指導老師：張晃暉老師和王昌仁老師

*Email：onepiece861008@gmail.com

摘要：

本研究以Cu頂層提升FePd的矯頑力。首先利用退火使FePd序化，再以Cu頂層進行擴散，結果顯示Cu頂層之擴散使得L1₀-FePd矯頑力有著顯著的提升，由2.8 kOe提升至4.6 kOe，發生在優化後的FePd薄膜加上Cu頂層，利用適當的溫度進行擴散。本實驗結果所獲之矯頑力乃研究迄今等方性FePd薄膜中最高者。其機制可能為非磁性Cu包裹FePd晶粒形成殼-核結構所致。進一步之機制探討與分析亦在進行中。

簡介：

在過去幾年中，面心正方結構的L1₀-FePd薄膜具有高的磁晶異向性($K_u > 10^7$ erg/cm³)，且優異的化學穩定性與高的居里溫度，故被視為具發展與應用潛力的材料，適用於高密度記錄媒體和永磁體等。

因為L1₀-FePd具有上述之良好特性，如何對FePd的磁性進一步提升是個重要的課題，已採用了一些方式，例如：奈米複合之化學合成法[1]、結構上的缺陷-疊差所形成域壁釘扎(pinning)[2]和添加緩衝層[3]等等，這些方法都能有效的提升L1₀-FePd的矯頑力(H_c)。在本實驗中將先對FePd薄膜退火序化，再加上頂層進行擴散，預期由非磁材料包覆FePd晶粒，使之產生磁阻隔效應，進而造成磁矩獨立翻轉，以期達到提升FePd薄膜矯頑力之目的。

研究方法：

本實驗首先針對FePd薄膜進行優化，靶材成分比例採用50:50，利用直流濺鍍法製備30 nm薄膜於康寧(Corning)玻璃基板上，接著進行退火於不同溫度下(T_a = RT ~ 725 °C)，呈現水平磁異向性。在RT ~ 700 °C，矯頑力呈上升趨勢，這是由於隨著溫度升高，FePd薄膜開始序化，晶格結構由A1相(face center

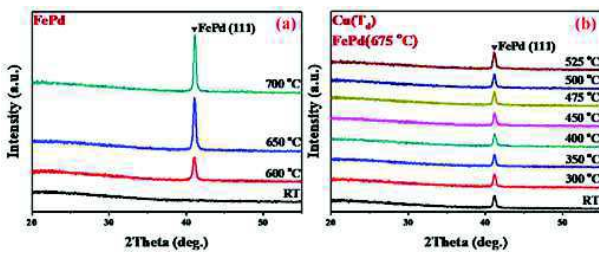
cubic, fcc)轉變為L1₀相(face center tetragonal, fct)，導致矯頑力提高；而當溫度大於700 °C後，FePd薄膜開始無序化，晶格結構由fct變回fcc，導致矯頑力大幅降低。之後鍍製Cu頂層5 nm，並擴散於不同溫度下(T_d = RT ~ 525 °C)。

實驗中使用磁控濺鍍法鍍製薄膜；原子力顯微鏡(AFM)進行鍍率量測；X光繞射分析儀(X-ray Diffraction)分析薄膜晶體結構；交流梯度磁力量測儀(AGM)量測樣品磁性。

結果與討論：

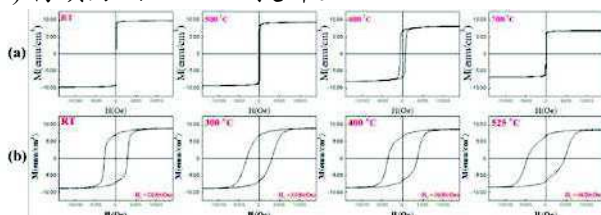
圖一為退火及擴散於不同之溫度下所統整之XRD圖。首先討論圖一(a)，於室溫下之FePd薄膜，可觀察到並無任何繞射峰出現，這表示著FePd薄膜於初鍍態下結晶性不佳；再來進行退火，FePd薄膜於600 °C退火後，可觀察到有(111)繞射峰出現，角度位於41.06度；FePd薄膜於650 °C退火後，首先可得知其半高寬是相對退火於600 °C較窄的，這表示著其結晶性較600 °C之樣品佳。另外(111)繞射峰角度位於41.09度，可發現有著向右偏的現象，代表著晶面間距的壓縮，結構逐漸由fcc轉變為fct；FePd薄膜於700 °C退火後，可觀察到(111)繞射峰相對退火於650 °C其結晶性有稍微下降之趨勢。

而圖一(b)採用序化後之FePd薄膜進行Cu頂層擴散，首先FePd薄膜退火於675 °C，可以觀察到(111)繞射峰穩定出現，代表結構大致已經由fcc轉變為fct。

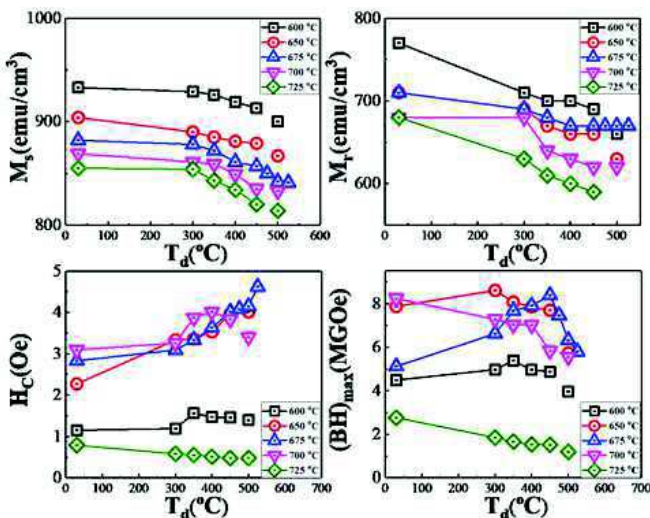


圖一 為退火及擴散於不同溫度下之XRD圖。(a)為FePd退火於RT ~ 700 °C；(b)為Cu/FePd(675 °C)擴散於RT ~ 525 °C。

圖二為退火及擴散於不同溫度下所統整之磁滯曲線圖，由(a)可觀察到FePd序化後矯頑力可提升至3.2 kOe；(b)可觀察到Cu/FePd(675 °C)矯頑力由2.8 kOe提升至4.6 kOe。



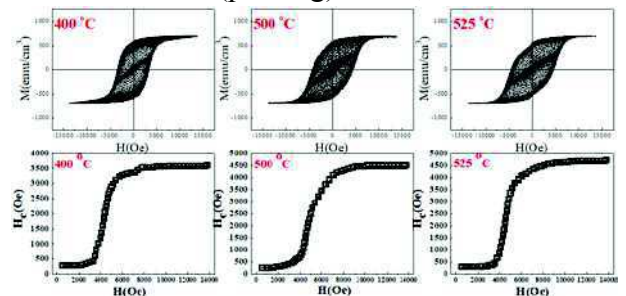
圖二 為退火及擴散於不同溫度下之磁滯迴線圖。(a)為FePd退火於RT ~ 700 °C；(b)為Cu/FePd(675 °C)擴散於RT ~ 525 °C。



圖三 為退火及擴散於不同溫度下之磁特性統整圖，右上方為退火溫度；下方為擴散溫度(T_d)。

圖三為Cu/FePd統整系列之趨勢圖，可觀察到磁化量(M)隨著 T_d 上升，其緩慢下降；矯頑力(H_c)及磁能積(BH_{max})隨著 T_d 上升，大致呈現先升後降之趨勢。

圖四為Cu/FePd(675 °C)擴散於不同溫度下之矯頑特性圖(參考[2])，隨著逐漸增加外加場大小，可觀察到矯頑力其有著驟升行為，這是由於有效之釘扎(pinning)所主導。



圖四 為Cu/FePd(675 °C)擴散於不同350 °C ~ 525 °C之矯頑特性圖。

結論：

FePd薄膜經由退火，能使其結構由fcc轉變為fct，造成矯頑力提升，因此本研究首先將FePd薄膜退火於不同溫度($T_a = RT \sim 725 \text{ °C}$)後鍍製Cu頂層，再進行擴散於不同溫度($T_d = RT \sim 525 \text{ °C}$)，來進行比較。結果顯示，由於非磁性的Cu經升溫後沿著晶界進行擴散，包覆鐵磁性的FePd晶粒，這種現象使得FePd薄膜矯頑力有效提升，因此Cu/FePd($T_a = 675 \text{ °C}$)擴散於525 °C有著最大值4.6 kOe(為目前所發表關於等方性FePd膜最高值)。然而擴散溫度繼續提升，會發現到矯頑力開始下降，這是由於Cu不僅僅沿晶界擴散，其開始摻入FePd晶粒中，因此當擴散溫度大於550 °C時，矯頑力普遍開始下降。未來預期將使用有著較好成果之系列做出改進微調，如:持溫時間、厚度等等，最後結合各項最佳參數進行研究，以期能使目前成果再進一步提升。

參考文獻：

- [1] K. Matsumoto et al., *Nanoscale Adv.* 1, 2598 (2019).
- [2] C.H. Hsiao et al., *APL* 107, 142407 (2015).
- [3] H.W. Chang et al., *J. Alloy. Compds.* 648, 980 (2015).

以放電加工技術製造 FePd 奈米微粒

翁培峯 S05211020

王昌仁

*Email: S05211020@thu.edu.tw

摘要

本實驗目的為欲將 fcc 相的 FePd 塊材，以不經過快速退火爐熱處理過程，由放電加工製程直接做出 fct 相的 FePd 奈米微粒，並在滴有 FePd 奈米微粒的玻璃片，以外加磁場來影響 FePd 奈米微粒排列，試圖做出具有高度磁異相性的奈米顆粒膜。

簡介

FePd 是目前繼 FePt 之後很受矚目的磁性材料，此兩種合金在常溫時是 FCC 相，但在應用上須為 FCT 相其磁特性才符合需求。目前在製造 FCT 相的 FePd(或 FePt)合金時，常常須透過快速退火爐對晶體結構原為 FCC 的 FePd 熱處理過後，才會得到 FCT 結構的 FePd。其原則是因為 FCT 相是高溫時的穩定相，當緩慢降溫時將轉為穩定的 FCC 相。因此在傳統的熱熔煉或鍍膜製程通常其會形成 FCC 相。而快速退火的目的是為了藉由快速冷卻的過程讓高溫的 FCT 相沒有足夠的時間形成 FCC 相。但熱處理過程不禁多一道製程的程序，若是奈米級的微粒在加熱過程有可能使樣品的尺寸長大而改變其特性。因此我們思考是否有更簡單的方法可以來製作 FCT 相的 FePd 奈米微粒。在東海應物系我們有放電加工法與液相雷射造粒等兩種方法來製作合金的奈米微粒。由於這兩個方法在製作材料的特殊性讓我想嘗試是否有機會由此來製作 FCT 相的 FePd 合金奈米微粒。

此外因為我們實驗室是較專注於奈米微粒的製作。除了微粒型態的應用，磁性材料常以薄膜的型態作為應用，而單晶薄膜是特別難製作但在應用上卻有其特殊的價值(特別磁

異向性的應用)。在此研究我們想嘗試是否能以磁性奈米微粒為基礎來製作有高度異向性的”奈米微粒薄膜”。

研究方法

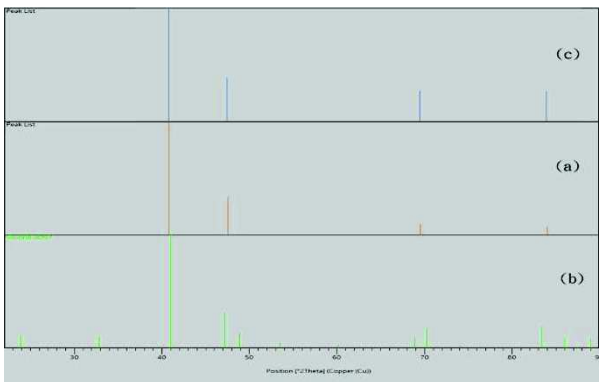
將塊材放置底部為不鏽鋼的石英管容器中，加入工作液使液面高於塊材，並以鎢針及塊材當成電極，打開電源後，裝載鎢針的活動臂為緩慢往下，直到鎢針及塊材間被偵測出短路，活動臂就會上升數微米，並開始進行放電流程離，放電時鎢針附近的工作液會被高電場給解離，使鄰近的鎢針及塊材中間產生放電通道，而當產生的電流達到設定的工作電流時，脈衝電流所產生的瞬間高溫高壓使塊材瞬間氣化或融化成熔融態，並因工作液的冷卻使其熔融態的塊材形成 FePd 奈米微粒。

我們以三種磁場配置來觀察是否可製作高異向性微粒薄膜。目前有三種樣品，一個為無磁場的，兩個為有加磁場的。我們以滴管吸取懸浮在樣品瓶上端的 FePd 奈米微粒，滴在載玻片上。此目的是在確定滴在玻片上的均為奈米級微粒。而在製作有外加磁場的樣品前，我會在玻片下方分別黏上一個磁場方向垂直於玻片平面與一個磁場方向平行與玻片平面的磁鐵，因為將微粒滴定在加一平行於

玻片的磁場中時，微粒會受磁場影響往兩側跑，所以我會在玻片上黏上兩個間隔約 1 公分障礙物，防止微粒分散太開。加磁鐵的目的是希望在微粒沉積成為薄膜的過程中，微粒的磁異向性軸會隨磁場方向排列，而磁異向性軸的方向是與晶格結構有關的，因此有機會形成有高磁異向性的薄膜。

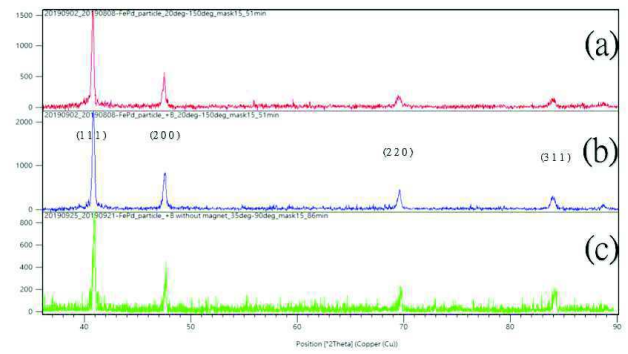
結果與討論

將由放電加工製作好的 FePd 奈米微粒拿去做 X 光繞射儀測量，參考圖一，發現其晶體結構與預期的結果不同，以放電加工製作的 FePd 奈米微粒它的 X 光繞射圖與 FCC 相的 X 光繞射圖相符。



圖一：X 光繞射峰位置圖((a)放電加工製作的 FePd 奈米微粒的繞射峰位置圖，(b) FePd 的 fct 晶體結構之繞射峰位置圖，(c) FePd 的 fcc 晶體結構之繞射峰位置圖)。

將滴在三種不同磁場環境下的 FePd，去做 X 光繞射儀測量，我們發現外加磁場確實可以影響 FePd 奈米微粒在玻片上的排列，參考圖二，有加磁場的 FePd 奈米顆粒膜相比無加磁場的 FePd 奈米顆粒膜，相同的一些晶面方向的繞射峰的強度比例有增強的趨勢，而外加磁場方向的不同影響的程度也不同。



圖二：FePd 奈米微粒的 X 光繞射圖((a)為無加磁場，(b)為加一磁場其方向垂直於玻片平面，(c)為加一磁場其方向平行於玻片平面)

結論

對於放電加工給予塊材瞬間高溫高壓又瞬間將所製造的微粒瞬間降溫這個過程，想利用此特點將晶體結構為 fcc 的 FePd 塊材，製造出晶體結構為 fct 的奈米微粒，但最後卻製造出晶體結構一樣是 fcc 的奈米微粒。

在製作 FePd 奈米顆粒膜時，利用磁場試圖改變其晶面彼此間的相對繞射峰強度這個想法，透過實驗發現磁場真的能改變它們的相對繞射峰強度，但因為我們的 fcc 相的 fepd 奈米微粒沒有磁易軸，所以無法看出哪個晶面方向的繞射峰強度明顯增強，未來我會以具有形狀磁異相性的 fct 相的 fepd 奈米微粒，來製造具高度磁異相性的奈米顆粒膜。

參考文獻

- [1] Ce3Pt4 奈米微粒的製作與磁特性研究，詹育霖，p. 38，(2009)
- [2] 先進電火花加工技術，趙萬生，pp. 1~20，(2003)
- [3] 以瞬間蒸發法製備奈米微粒之研究，鍾尹之，pp.34、40(2017)
- [4] 以放電加工法製作 Bi2Te3-xSex 奈米熱電

- 材料及其物性之研究， 邱明
宏， p. 20， (2013)
- [5] X 光繞射原理與材料結構分析， 許樹恩，
pp. 121~133、pp. 163~165 (1993)
- [6] Temperature Dependence of the ^{57}Fe hfs
in the Ordered Alloys FePd_3 and
FePd near the Curie Temperature* ; G.
LONGWORTH, California Institute of
Technology, Pasadena, California (1968)
- [7] Zapffe, C.A. Hultgren, R., Zeitschrift fuer
Kristallographie, Kristallgeometrie,
Kristallphysik, Kristallchemie (-144,1977),
99, 509, (1938)

Co/NiMn 膜結構及磁性之研究

Structure and magnetic properties of Co/NiMn thin films

作者:S05211021 劉易昇

指導老師:張晃暉、王昌仁

Email: s05211021@thu.edu.tw

摘要:

本研究使用磁控濺鍍法製備 Co/NiMn/Ta 薄膜，再研究經過 100-150 °C 持溫 4 小時後退火，並施加 1 kOe 的外加磁場冷卻至室溫，並改變濺鍍壓力、後退火溫度以及改變 Ni 與 Mn 成分比例對於其結構與磁性之影響。實驗結果顯示，較低的濺鍍壓力及功率均有助於反鐵磁 NiMn(111) 相的形成，當溫度上升至 100 °C 時，有較佳之交換偏壓場 $H_E = 86$ Oe 出現。調整 Ni 與 Mn 原子百分比接近 1:1 時，形成反鐵磁結構也有助於交換偏壓場之提升。進一步研究 NiMn 序化度對磁性影響與控制微結構則將有助於進一步了解此系統。

一、簡介:

交換偏壓為一種源於鐵磁層與反鐵磁層界面的交換耦合的現象，此現象會造成磁滯曲線的偏移，因其可應用於自旋電子元件、巨磁阻上及穿隧磁阻，因而被廣泛研究。可用的金屬反鐵磁層材料包含 NiMn、IrMn、OsMn、PtMn 及 FeMn 等[1]。NiMn 因具有許多關鍵性的優點，包含高的熱穩定性、不易氧化且耐腐蝕性，而受到矚目。NiMn 的 L_{10} 相具有室溫反鐵磁性。然而，欲形成 L_{10} -NiMn 相需要經長時間的熱退火，使順磁性 F.C.C 相序化成反鐵磁性 F.C.T 相[2]。本研究將使用磁控濺鍍法製備 Co/NiMn/Ta 薄膜經過磁場下後退火處理，並研究 NiMn 薄膜濺鍍壓力以及後退火溫度對其交換偏壓之影響。

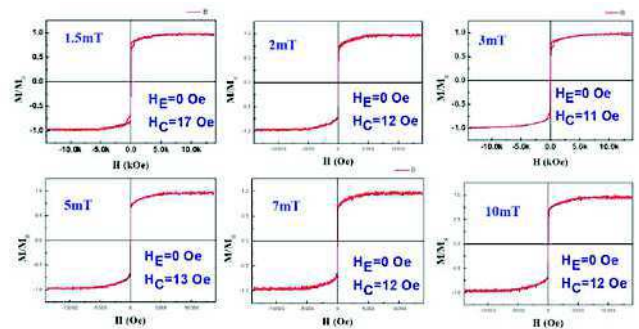
二、研究方法:

製程前將腔體壓力(背景壓力)抽到低於 5×10^{-7} Torr，再以 5 sccm 的速率持續通入氬氣來維持所需要的工作壓力，以磁控濺鍍法沉積 3 nm 厚的 Ta 緩衝層以及 30 nm 厚的 NiMn 層和 5 nm 厚的 Co 層，隨後使用 75 °C-150 °C 不同的溫度下進行後退火 4 小時，並且在 1 kOe 的外加磁場冷卻至室溫。通過振動樣品磁力計(AGM)量測薄膜磁性質、XRD(X-ray Diffraction)觀察

其結晶性、原子力顯微鏡(AFM)觀察試片表面形貌及量測試片之膜厚。

三、結果與討論:

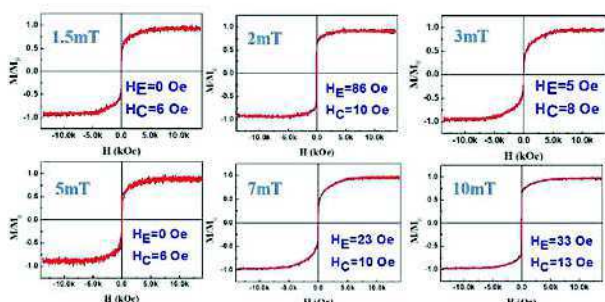
圖一為 Ta/Co/NiMn/Ta 薄膜在不同濺鍍壓力下的磁滯曲線圖。由圖可以看到未經過適當的後退火 NiMn 可能是為序化之 F.C.C 結構，並無反鐵磁相形成，所以僅觀察到 Co 之磁性行為，所以接下來將進行適當磁場下後退火處理。



圖一 Ta/Co/NiMn/Ta 薄膜在不同濺鍍壓力之磁滯曲線圖。

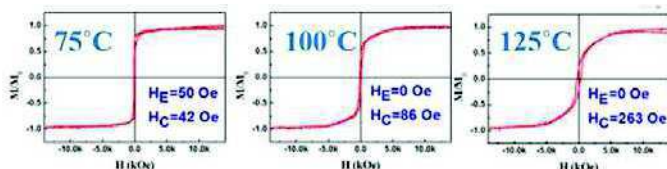
圖二為 Ta/Co/NiMn/Ta 薄膜不同濺鍍壓力下進行 100 °C 在磁場下後退火的磁滯曲線圖。由圖可以看到 2 mT 的 NiMn 濺鍍壓力在 100 °C

退火後，NiMn和Co薄膜層產生好的耦合此外NiMn成功序化成F.C.T結構有關，且可獲較高的交換偏壓 $H_E=86$ Oe，也擁有低的矯頑力 $H_C=10$ Oe。



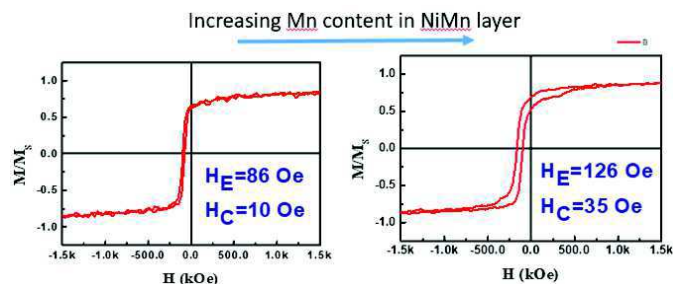
圖二 Ta/Co/NiMn/Ta薄膜不同濺度壓力下進行100 °C在磁場下後退火的磁滯曲線圖。

圖三為Ta/Co/NiMn/Ta薄膜在NiMn濺鍍功率為60 W和濺鍍壓力為2 mT下進行各個不同溫度在磁場下後退火之磁性。由圖三可以看到當NiMn濺鍍功率提升至60 W時，交換偏壓由86 Oe下降至50 Oe，推測因為沉積速率過快導致缺陷太多所致，以上結果顯示在30 W之濺鍍功率擁有優勢。



圖三 Ta/Co/NiMn/Ta薄膜在NiMn濺鍍功率為60 W和濺鍍壓力為2 mT下進行各個不同溫度在磁場下後退火之磁性。

圖四為增加Mn成分比例在濺鍍壓力為3 mT下75 °C在磁場下後退火的磁滯曲線圖。由圖五可以得知增加Mn錠後Ni與Mn比例可接近達1:1，其成分影響 L_{10} -NiMn之磁晶異向性能其交換偏壓從未增加前之86 Oe提升至增加後之126 Oe，這與NiMn結構序化成F.C.T結構有關。



圖四 增加Mn比例在濺鍍壓力為3 mT下75 °C在磁場下後退火的磁滯曲線圖。

四、結論:

- 隨著退火溫度開始上升在濺鍍壓力為2 mT時進行磁場下後退火，退火溫度75-100 °C時有83-86 Oe的交換偏壓場產生，推測此時NiMn已由F.C.C相轉變為F.C.T相，形成反鐵磁性。
- NiMn濺鍍功率為60 W時相較於濺鍍功率為30 W時其反鐵磁性較差，推測因為沉積速率過快導致晶粒來不及長好所致，以上結果顯示在30 W之濺鍍功率擁有優勢。
- 實驗結果顯示，增加Mn錠後Ni與Mn比例可接近達1:1，NiMn呈現更好的反鐵磁相，在濺鍍壓力為3 mT並後退火達75 °C時有126 Oe的交換偏壓場產生，推測此時NiMn已由F.C.C相轉變為F.C.T相，形成反鐵磁性。與上述未增加Mn含量之樣品相比其交換偏壓從未增加前之86 Oe提升至增加後之126 Oe。

4.

五、參考文獻

- [1] M. J. Carey et al., J. Appl. Phys. 89, 11, (2001)
- [2] Boyer, Timothy H. "The Force on a Magnetic Dipole". American Journal of Physics. 56 (8), 688(1988).

ZrO₂薄膜結構與鐵電性之研究

Structural and ferroelectric properties of ZrO₂ thin films

作者：S05211022廖若涵

指導老師：張晃暉、王昌仁

Email: s05211022@thu.edu.tw

摘要

本文研究了ZrO₂薄膜結構與鐵電性，以脈衝雷射法在溫度為500-700 °C的玻璃基板，5、20及40 nm厚的Pt底電極上製備ZrO₂薄膜。調控ZrO₂薄膜時之氧氣壓力從50-300 mTorr，以優化薄膜。實驗結果顯示具有高度(111)纖構的Pt底層有助於ZrO₂薄膜之生長。380 nm之ZrO₂薄膜在600°C、雷射波長1064 nm及其氧氣壓力為100 mTorr的條件下具有高度(111)纖構的正交結構。此外，本研究也比較了以不同雷射波長355、532及1064 nm鍍製之ZrO₂薄膜的結構與鐵電性。雷射波長1064 nm鍍製380 nm之ZrO₂薄膜，改變溫度及氧氣壓力，有最強的正交相(111)纖構及良好的鐵電性，其2P_r為29.8 μC/cm²，E_c為535.6 kV/cm。

一、前言

非典型鐵電體ZrO₂薄膜因可應用於密度高、功率低之非揮發性儲存元件中之潛能而備受關注[1]。迄今其相關的研究皆著重於(Hf,Zr)O₂薄膜，但ZrO₂薄膜之研究卻少見。2011年，在10 nm厚的Si摻雜HfO₂薄膜中發現鐵電性。由於ZrO₂與HfO₂具有許多相似處，故本研究以脈衝雷射沉積法(PLD)製備ZrO₂薄膜並對其結構與鐵電性質進行分析。欲使用Pt底層誘導的應變來穩定ZrO₂薄膜的正交相。

較多的團隊使用原子沉積法(ALD)去製備ZrO₂。Park[2]及Starschich[3]皆用原子沉積法(ALD)鍍製(Hf,Zr)O₂、ZrO₂薄膜，雖獲良好鐵電性但製程較耗時且成本較高，限制了其應用性。

而本文以脈衝雷射沉積法(PLD)，使用價格低廉的玻璃基板，鍍製ZrO₂薄膜且調整膜厚、成長溫度及氧壓，研究其對ZrO₂膜結構及鐵電性的影響。

二、研究方法

首先使用磁控射頻濺鍍系統沉積Pt於玻璃基板上，沉積之Pt厚度分別為5 nm、20 nm、40 nm。選擇500-700 °C的溫度下使用PLD雷射波長355 nm、532 nm及1064 nm等鍍製ZrO₂薄膜。

以XRD分析其結構及TF 2000量測其鐵電特性。

三、結果與討論

圖1為不同Pt底層厚度下不同溫度(500-700 °C)製備380 nm之ZrO₂薄膜的XRD圖，其相組成圖彙整於表1。可知愈低溫(500-600 °C)且Pt底層愈薄易有正交相生成。但Pt底層愈厚則有四方相產生。高溫則有利於單斜相生成。

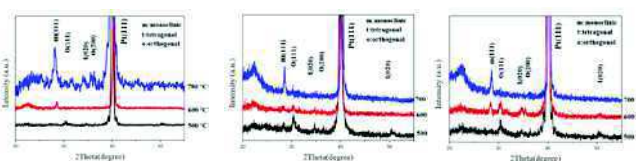


圖1 不同Pt底層厚度下不同溫度(500-700 °C)製備380 nm之ZrO₂薄膜的XRD圖。(a)5 nm (b)20 nm (c)40 nm

表1 不同Pt底層厚度下不同溫度(500-700 °C)製備380 nm之ZrO₂薄膜的之相組成表

溫度 \ 厚度	Pt5 nm	Pt20 nm	Pt40 nm
500 °C	正交相	正交相	正交+四方
600 °C	正交	單斜+正交+四方	單斜+正交+四方
700 °C	單斜相	單斜相	單斜相

圖 2 為不同溫度(500-700 °C)下不同氧壓製備 380 nm 之 ZrO_2 薄膜的 XRD 圖，其相組成表彙整於表 3。如圖可知氧壓愈低易有正交相生成。此外隨氧壓由 50 mTorr 到 300 mTorr， ZrO_2 (111)繞射峰有明顯的偏移，此偏移暗示著高氧壓有助於 ZrO_2 應力之釋放。

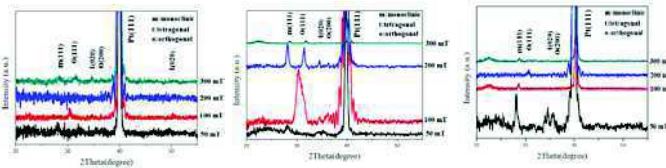


圖 2 不同溫度(500-700 °C)下不同氧壓製備380 nm之 ZrO_2 薄膜的XRD圖。(a)500 °C (b)600 °C (c)700 °C

表 2 不同溫度(500-700 °C)下不同氧壓製備380 nm之 ZrO_2 薄膜之相組成表

溫度 \ 氧壓	500 °C	600 °C	700 °C
50 mTorr	單斜+正交	單斜+四方	單斜+正交+四方
100 mTorr	正交	正交	單斜
200 mTorr	四方	單斜+正交	正交
300 mTorr	單斜+四方	單斜+正交+四方	單斜

表 3 為不同雷射波長(355 nm、532 nm、1064 nm)下不同厚度製備 380 nm 之 ZrO_2 薄膜之相組成表。由表可知當厚度愈薄且波長愈高不易成相，而雷射的波長愈低，愈不易成相，反之，雷射波長愈高，厚度愈厚成相較明顯。

表 3 不同雷射波長(355 nm、532 nm、1064 nm)下不同厚度製備380 nm之 ZrO_2 薄膜之相組成表

雷射 \ 厚度	355 nm	532 nm	1064 nm
11 nm	正交	無成相	無成相
55 nm	四方	正交	正交
300 nm	無成相	無成相	單斜
380 nm	無成相	單斜+正交	單斜+正交+四方

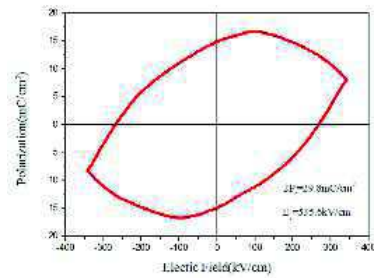


圖 3 380 nm厚 ZrO_2 在100 mTorr、600°C下沉積於Pt底層之電滯曲線圖

圖 3 為 380 nm 厚 ZrO_2 在 100 mTorr、600°C 下沉積於 Pt 底層之電滯曲線圖。在雷射波長 1064 nm、氧壓 100 mT 及 600 °C 下成長之薄膜呈現出鐵電行為，其 $2P_r$ 為 $29.8 \mu C/cm^2$ ， E_c 為 535.6 kV/cm。此比 Zhen Fan 等人 [4] 所獲 $2P_r$ 為 $6.7 \mu C/cm^2$ ， E_c 為 2.08 MV/cm 之結果佳。但本研究中 ZrO_2 薄膜之 P-E 曲線圖形較為圓滑，可能是較大漏電所導致，因此控制漏電及改善薄膜結晶是我們進一步要探討的項目。

四、結論

本實驗成功地以 PLD 在 20 nm Pt(111)/玻璃基板上鍍製 ZrO_2 薄膜，在雷射波長 1064 nm 鍍製 380 nm 之 ZrO_2 薄膜，改變其溫度及氧氣壓力，發現在沉積溫度為 600°C，氧氣壓力 100 mTorr 下，有最強的正交相(111)織構，其 $2P_r$ 為 $29.8 \mu C/cm^2$ ， E_c 為 535.6 kV/cm。變換雷射波長及固定氧氣壓力鍍製不同厚度之 ZrO_2 薄膜，在厚度 380 nm 時皆出現正交相，但在高雷射波長下鍍製之薄膜，相較於低波長下鍍製之薄膜，有良好的鐵電性，其可能與成長機制有關。而本實驗結果顯示，以 1064 nm 之雷射波長，即為蒸鍍，熱能高，與氧氣反應機會較大，因此有較好正交相結晶而獲良好電性質。

五、參考文獻

- [1]. B. T. Matthias. Phys. Rev. 75, 1771 (1949).
- [2]. Min Hyuk Park, et al. Phys. Lett. 102, 242905 (2013)
- [3]. S.W. Smith, et al. APL 110, 072901 (2017)
- [4]. Zhen Fan, et al, APL 108,012906 (2016).

FePt 薄膜磁性及應力之研究

Magnetic properties and stress of FePt thin films

洪振瑜(S05211030)*

指導老師:王昌仁 張晃暉

*Email: S05211030@thu.edu.tw

摘要

本實驗研究了以脈衝直流濺鍍在 SiO₂/Si (100) 基板上製備的 FePt(30 nm) 薄膜的之磁性和應力。通過脈衝直流濺鍍製備的 FePt 薄膜在 600-700 °C 的後退火溫度 (T_a) 處理後顯示出 0.6-0.8 的高序化度 (S)。此外, 在 T_a = 600 °C 時有較強的 (00L) 纖構。在室溫退火下具有高的垂直磁晶異向性且高矯頑力~10 kOe。另外我們使用 XRD sin²Ψ 法測量 FePt 膜內之應力, 在 400-700°C 的不同退火溫度的變化下, 薄膜的應力有隨著溫度先降後升的趨勢。

簡介

L1₀FePt 具有出色的耐腐蝕性, 強的單軸磁晶異向性, 居里溫度高及大飽和磁化量。由於它在廣泛應用中具潛力, 因而在過去的十幾年中受到了相當多的關注[1]。L1₀FePt(00L) 纖構已被報導可產生磁垂直異向性。另外根據文獻, 後退火處理也可以有效的提升 (00L) 纖構。因此通過控制退火參數, 可以使用快速熱退火[2]來做熱處理, 產生強 (00L) 纖構。

脈衝直流濺鍍的優點是在每次放電後都會釋放累積在表面上的電壓, 從而防止產生電弧的形成, 脈衝偏壓也會改變沉積的狀態及表面原子遷移行為。若薄膜結構有缺陷、與基板的晶格常數不等以及熱膨脹係數不同, 則會分別產生內應力、外應力和熱應力。為了探究本實驗中 FePt 薄膜在不同退火溫度下, 序化程度的不同, 測量 FePt 膜內之應力。

研究方法

本實驗使用脈衝直流濺鍍法製備 Fe₅₁Pt₄₉ 膜, 在真空中抽出到低於 10⁻⁷ torr, 通入氬氣(Ar), 在 SiO₂(100)上以直流功率 30 W, 氣壓 10 mtorr, 脈衝頻率 20 kHz, 充放電比率 50% 下鍍製的 FePt(30 nm) 薄膜。並使用快速熱退火儀(RTA)來進行退火處理, 利用交變梯度磁力

計(AGM)進行磁性的量測, 使用銅靶 X 光繞射儀(XRD)探究其內部結構以及薄膜應力計算。

結果與討論

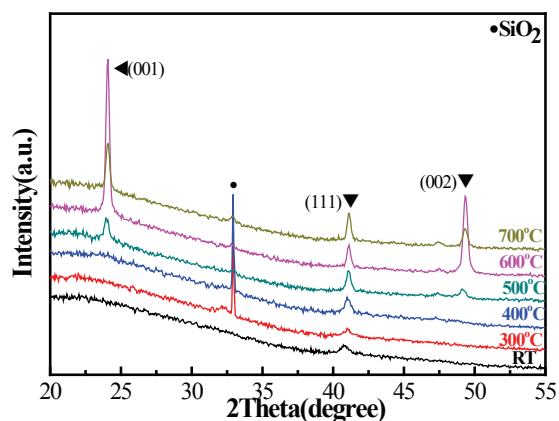


圖 1、FePt(30 nm) 薄膜的 XRD 圖

圖 1 顯示了通過脈衝直流濺鍍分別在 300-700 °C 的各種溫度下進行退火後製備的 FePt 膜的 X 射線繞射圖。初鍍態膜的結構被確定為無序的面心立方 (fcc)。隨著 T_a 從 RT 升高到 700 °C, FePt (111) 峰的強度增加, 並且向高角度移動, 如圖 1 所示, 這表明膜的晶粒成長。

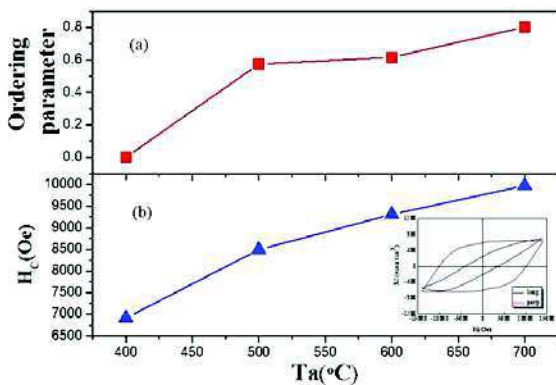


圖 2、(a) FePt 序化參數(b)垂直膜面矯頑力隨退火溫度提升的趨勢圖。

圖 2(a)為 FePt 序化參數隨退火溫度變化趨勢圖。隨著 T_a 上升(00L)織構也隨之提升，代表序化度的增強，使 FePt 膜有垂直膜面異向性，如同圖 2(b)所示，隨著退火溫度的提升，矯頑力也隨之提高(~10 kOe)。

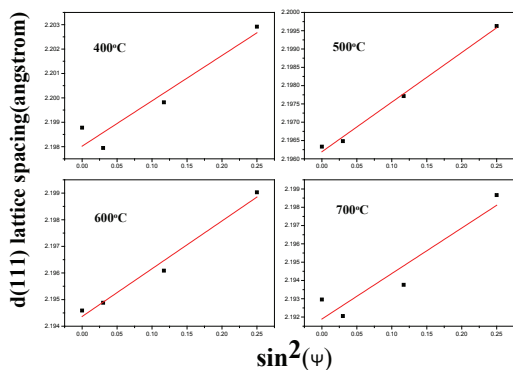


圖 3、不同退火溫度下晶面間距以及 $\sin^2(\Psi)$ 值的趨勢圖。

再來我們透過 XRD $\sin^2\Psi$ 法來量測 FePt 的薄膜應力，首先要先求出不同退火溫度下晶面間距以及 $\sin^2(\Psi)$ 值，並將其作成趨勢圖，如圖 3 所示。再來將所得到的趨勢圖求出斜率，並帶入以下應力公式：

$$\sigma_{\varphi} = \left(\frac{E}{1+\nu}\right) \frac{1}{d_0} \left(\frac{\partial d_{\varphi}}{\partial \sin^2 \psi}\right)$$

其中 E 為楊氏模數 = 180 GPa， ν 為泊松比 = 0.33， d_0 為 $\Psi=0$ 時的晶面間距。便可求得

應力趨勢圖，如圖 4 所示。

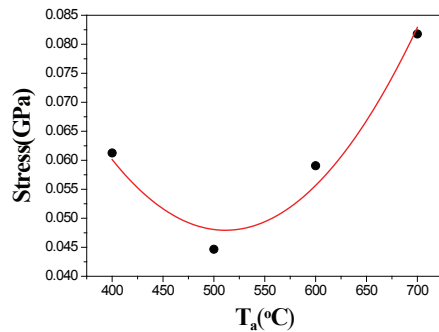


圖 4、在不同退火溫度下 FePt 的應力趨勢圖。

由圖可知，隨著 T_a 上升，應力有先下降後上升的趨勢，在 500°C 之前因為應力釋放導致應力減少，而過了 500°C 晶粒成長累積之應力導致應力上升。

結論

本研究以脈衝直流濺鍍法成功製備出良好垂直異向性之 FePt 膜，XRD 分析觀察到，在 600-700°C 退火後會產生較強的 FePt(00L) 織構，且在 600°C 得到最強的 FePt(00L) 織構，另外 FePt(111) 織構隨著溫度的提高逐漸往高角度偏移，推測可能是由於晶粒成長導致。磁性分析顯示，隨著退火溫度的提升，矯頑力也隨之提高(~10 kOe)。再來我們透過 XRD $\sin^2\Psi$ 法來量測 FePt 的薄膜應力，隨著退火溫度的提升，應力有逐漸釋放再累積的趨勢。

參考文獻

- [1] K. Watanabe, H. Masumoto, Trans. Jpn. Inst. Met. 24, 627 (1983).
- [2] S.N. Hsiao, F.T. Yuan, H.W. Chang, H.W. Huang, S.K. Chen, H.Y. Lee, Appl. Phys. Lett. 94, 232505 (2009).

Fe_{100-x}Si_x薄膜晶體結構及磁性之研究

Structure and magnetic properties of Fe_{100-x}Si_x thin films (x=25-67)

作者:S05211040劉宇修

指導老師:張晃暉及王昌仁

Email: s05211040@thu.edu.tw

摘要:

本實驗使用脈衝雷射沉積法(PLD)製備不同比例之Fe_{100-x}Si_x (x=25-67)薄膜於玻璃基板上，並討論不同後退火溫度對Fe_{100-x}Si_x (x=25-67)薄膜的影響，並進行結構、磁性之分析。實驗結果顯示，Fe₇₅Si₂₅薄膜於初鍍態時出現了Hexagonal的Fe₇₅Si₂₅ (220)之繞射峰，且隨著退火溫度的升高，峰的銳化指出薄膜的結晶度增強並且晶粒具有長大的趨勢，(220)繞射峰也隨之增強，M-H曲線都具有明顯的磁滯曲線形狀表明薄膜都是鐵磁性的，矯頑力則是從RT的1.5Oe降到500°C的1 Oe最後到700 °C又升到3.5 Oe，可能是因為退火溫度過高造成介面擴散所致

一、簡介:

稀磁半導體(Diluted magnetic semiconductors, DMS) 如圖1所示[1]，是指非磁性半導體中的部分原子被過渡金屬元素(transition metals, TM)取代後形成的磁性半導體，因兼具有半導體和磁性的性質，即在一種材料中同時套用電子電荷和自旋兩種自由度。[1]

工業鐵(或軟鐵)具有其卓越的性質，當用於交流磁性設備時，有兩個主要缺點：高導電性和不良磁化迴路(磁滯;兩者都會導致重要的能量損失。為了減少這種損失和/或者為了提高電子設備的品質，軟鐵必須與其他元素一起用於合金中;其中最重要和最常見的是矽(Si)。

使用脈衝雷射沉積法(PLD)製備 Fe_{100-x}Si_x (x=25-67)薄膜於玻璃基板上，並討論不同後退火溫度對Fe_{100-x}Si_x (x=25-67)薄膜的影響，並進行結構、磁性之分析。

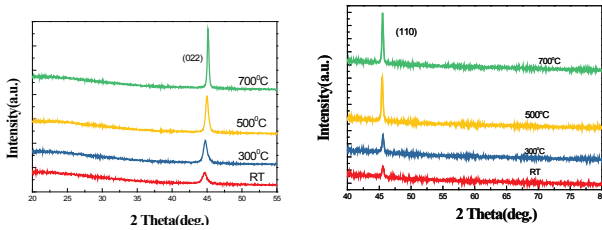
二、研究方法:

以電弧熔煉製備的Fe_{100-x}Si_x (x=25-67)合金靶之後，準備鍍製薄膜時腔體內部抽真空至5×10⁻⁶ Torr以下，腔內升至所需溫度，之後便可以開始進行雷射沉積Fe_{100-x}Si_x薄膜於玻璃基板上。本實驗使用X光繞射分析儀來分析薄膜晶體結構，磁性量測主要是利用樣品振盪磁力量測儀。

三、結果與討論:

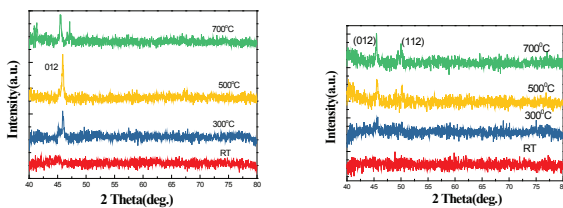
圖1為Fe₇₅Si₂₅薄膜改變不同退火溫度之XRD圖。由圖可知，Fe₇₅Si₂₅薄膜於初鍍態時出現了Hexagonal的Fe₇₅Si₂₅ (022)之繞射峰，且

無任何雜相出現。隨著退火溫度的升高，峰的銳化表明薄膜的結晶度增強及晶粒成長，(022) 繞射峰也隨之增強。也注意到 (022) 峰向高角度偏移，這表明晶面間距縮小。



(a) Fe₇₅Si₂₅

(b) Fe₆₃Si₃₇



(c) Fe₅₀Si₅₀

(d) Fe₃₃Si₆₇

圖1 FeSi不同比例薄膜於各退火溫度之XRD圖

圖 2 為 Fe₇₅Si₂₅ 薄膜於各退火溫度之 M-H 曲線圖。由圖可知，M-H 曲線都具有明顯的磁滯曲線形狀，表明此薄膜都是屬於鐵磁性。矯頑力則是從 RT 的 1.5 Oe 降到 500°C 的 1 Oe，最後到 700 °C 又升到 3.5 Oe，可能是由於隨著基板溫度的升高結晶度提高或表面粗糙度提高導致磁晶異向性的提高[3]。

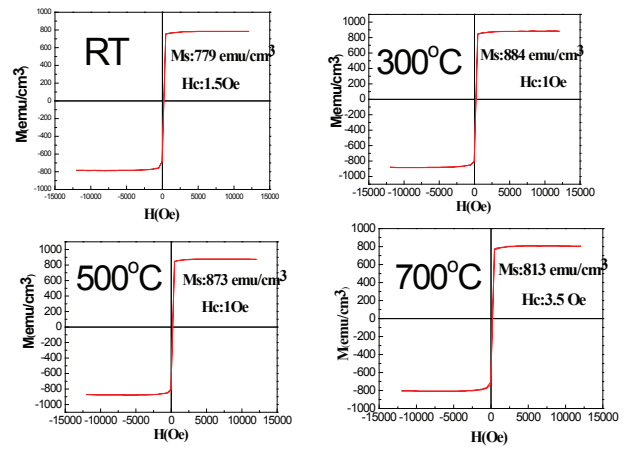


圖2 Fe₇₅Si₂₅ 薄膜於各退火溫度之磁滯曲線圖

四、結論：

本實驗成功利用脈衝雷射沉積法(PLD)製備參雜 Fe_{100-x}Si_x (x=25-67) 薄膜於 Glass 基板上，並討論不同退火溫度對 FeSi 薄膜的影響，並進行結構、磁性之分析。Fe_{100-x}Si_x (x=25-67) 薄膜隨著鐵含量的不同由高至低，從 XRD 圖發現鐵含量由高至低之 FeSi 薄膜，表明薄膜的結晶度也隨之減弱，且鐵含量最多的 Fe₃Si 為 Hexagonal，其它則都為 Cubic。M-H 曲線都具有明顯的磁滯曲線形狀表明薄膜都是鐵磁性的，以上研究提供了鐵磁與半導體結合之薄膜材料製備資訊。

五、參考文獻

[1] Phys. Rev. Lett.,(2008)100,047206
 [2] L. Thanh Vinh, J. Chevrier, J. Derrien, Phys. Rev. B46 1992 . 15946.
 [3] T. Waeckerle, H. Gavrila, M. Marionpera, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 133 (1994) 101

具優越磁-機械性質之定向凝固Fe₈₁Al₁₉合金

Outstanding magneto-mechanical properties of Fe₈₁Al₁₉ alloys prepared by directional solidification

作者:S05211042廖昱勳

指導老師:張晃暉、王昌仁

Email: s05211042@thu.edu.tw

摘要:

本研究導入熱流模型解釋了定向凝固Fe₈₁Al₁₉合金纖構並探討其磁-機械性質。為提高熱流Q因而提高A/L比與ΔT而最佳化Fe₈₁Al₁₉合金(011)纖構。得最佳化之Fe₈₁Al₁₉合金阻尼強度達到6%且ΔE effect高達近10%。而飽和磁致伸縮值從82ppm提升至94 ppm，極圖分析顯示模具水冷之Fe₈₁Al₁₉合金樣品沿著(011)生長出的晶粒擁有較好的對稱性，此纖構使Fe₈₁Al₁₉合金有良好之磁-機械耦合特性(dλ/dH及ΔE/E₀)。

一、簡介:

擁有大磁致伸縮之材料 (giant magnetostriction)，可應用於各個行業如電子工業、海洋工程、機械汽車等。其中包含聲納探測器、致動器、阻尼裝置和磁彈性傳感器等 [1-2] 因備受矚目。而Fe-Al合金不僅具備了大磁致伸縮同時也擁有高機械強度、延展性及低磁矯頑場和飽和磁化場，且其價格較同為大磁致伸縮之材料Terfenol-D合金低廉，故FeAl合金為重要的候選材料之一。然而過去有文章報導以定向凝固製程之Fe-Ga合金有助於其磁致伸縮的提升，所以本實驗研究以定向凝固製程Fe-Al合金。

二、研究方法:

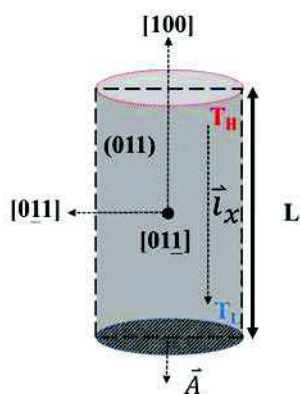


圖1.熱流模型。

表1.樣品條件。

	r (mm)	L (mm)	A/L (mm)	ΔT (°C)
DS-1	12.6	34.5	36.4	<1480
DS-2	12.6	34.5	36.4	1480
DS-3	8.0	60.0	13.4	1480

透過模型我們得知一個熱流現象能被下式所表示。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = q = \vec{J}_Q \cdot \vec{A} = -K \frac{A}{L} (T_L - T_H) \quad \dots\dots(1) \text{式}$$

其中K為材料的熱導係數。據此公式我們製備三種不同條件下的Fe₈₁Al₁₉合金樣品並分別稱為DS-1、DS-2、DS-3。

首先利用合金成份計量配重，再透過真空感應爐製備Fe₈₁Al₁₉合金。將熔融態的Fe-Al合金倒入預先放置的坩鍋中，其坩鍋底部放置銅環作為改變溫度的配置。使合金以定向凝固 (directional solidified) 的方式生長 [3]。隨後將合金切割樣品比例大小為30*12*0.5 mm³，對樣品進行RFDA分析合金的楊氏係數隨磁場的變化關係，以MS-meter分析合金磁致伸縮值，最後以XRD分析合金相的變化。

三、結果與討論：

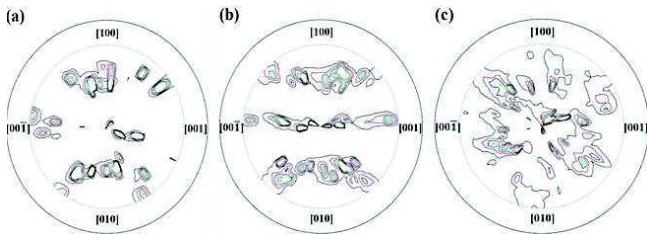


圖2. Fe₈₁Al₁₉合金之XRD極圖

圖2為不同生長條件之Fe₈₁Al₁₉合金的極圖分析，發現DS-2的Fe₈₁Al₁₉合金樣品沿著(011)生長出的晶粒相較於DS-1和DS-3擁有最好的對稱性。

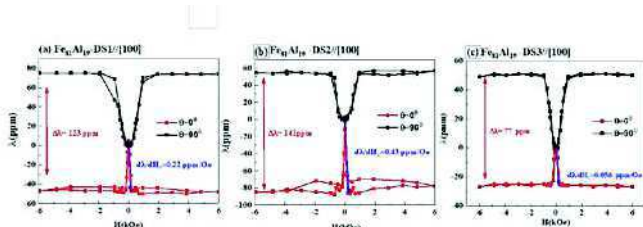


圖3. Fe₈₁Al₁₉合金之磁致伸縮圖。

圖3為Fe₈₁Al₁₉合金樣品平行[100]之生長方向量測。從圖可以觀察到在Fe₈₁Al₁₉合金在低場下磁致伸縮對外加場之感度 $d\lambda/dH$ 分別為(DS-1: 0.22 ppm/Oe、DS-2: 0.43 ppm/Oe、DS-3: 0.056 ppm/Oe)。而Fe₈₁Al₁₉合金之飽和磁致伸縮值 λ_s 分別為(DS-1: 82 ppm、DS-2: 94 ppm、DS-3: 51.3 ppm)。其 $\lambda_s = 2/3 * \Delta \lambda$ 。

綜合結果我們能看到在溫度差較大且底面積較大之Fe₈₁Al₁₉合金擁有最大的飽和磁致伸縮值94ppm(單晶95ppm[4])，且對低磁場之感度也最高。

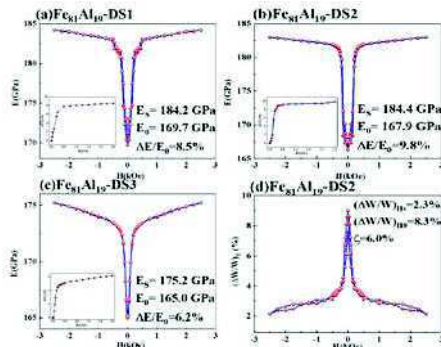


圖4. Fe₈₁Al₁₉合金 ΔE 及DS-2阻尼能力($\Delta W/W$)與外加磁場H之關係圖。

圖4(a)、(b)及(c)分別比較不同生長條件下Fe₈₁Al₁₉合金之E在磁場(H)中的變化(即 ΔE 效應)。其E在H=0時(分別表示為E₀)，E在磁場下之變化率分別表示成 $\Delta E/E_0$ 。在外加場達到2.5 kOe時， $\Delta E/E_0$ 分別達到7.1%、9.8%、5.6%。

圖4(d)為Fe₈₁Al₁₉合金之阻尼能力(damping capacity)在磁場(H)中的影響。從圖上能看到在外加場H=0之阻尼能力 $(\Delta W/W)_{H=0}$ 達到了8.31%。且在磁化飽和之外加場(H_s~2.3 kOe)時，Fe₈₁Al₁₉合金之 $\Delta W/W$ 皆降至約2.3%。

為了解磁場對 $\Delta W/W$ 之影響，便定義了 $\zeta = (\Delta W/W)_{H=0} - (\Delta W/W)_{Hs}$ ，此代表磁化狀態差異所貢獻之 $\Delta W/W$ 。而Fe₈₁Al₁₉合金之 ζ 高達6%。

四、結論：

1. XRD極圖分析結果顯示溫度差較高之Fe₈₁Al₁₉合金(DS2)之(011)取向晶面之晶粒對稱性，有別於其他生長條件Fe₈₁Al₁₉合金之(011)織構及晶面。
2. 透過定向凝固製備之Fe₈₁Al₁₉合金飽和磁致伸縮值高達94ppm，且楊氏係數變化率($\Delta E_s/E_0$)與阻尼能力分別高達10%和6%。
3. 此簡單的熔煉與定向凝固製程，使Fe₈₁Al₁₉合金的磁-機械性質獲得大幅度的提升。又因低廉的材料成本，使其能廣泛的被應用於各個領域。

五、參考文獻

- [1] J. Atulasimha and A. B. Flatau, Smart Mater. Struct. 20, 043001 (2011).
- [2] O. Ikeda, R. Kainuma, I. Ohnuma, K. Fukamichi, and K. Ishida, J. Alloys Compd. 347, 198 (2002).
- [3] Srisukhumbowornchai et al., J. Appl. Phys. 90, 5680 (2001).
- [4] R.C. Hall, J. Appl. Phys. 30 (1959) 816.

矽奈米線紙製作與特性分析

何英銓(S05211028)*

指導老師：蕭錫鍊

Email: S05211028@thu.edu.tw

摘要

本專題研究目的是要做出一張具有可彎曲的特性且獨立存在(不依賴基板)的矽奈米線紙，並對其進行光學及電性的半導體特性分析。本研究已經成功利用冰轉壓印法成功製作出矽奈米線紙，在轉印過程中因為矽奈米線紙太薄導致破裂，後續我們將改變製造的方法，將矽奈米線以真空過濾法聚集成膜，來增加奈米線紙厚度以及矽奈米線紙尺寸大小，並利用雷射熔接加強矽奈米線與矽奈米線之間的接合的機械強度與導電度，之後再以冰轉壓印法或是蝕刻的方式去除玻璃纖維紙，完成可獨立存在的矽奈米線紙，預期此方式製作出的矽奈米線紙，可廣泛應用在可撓式電子元件。

簡介

目前便於攜帶的可撓式系統已經可以實際運用在許多層面，如何有效利用奈米線製成可撓式元件，是目前許多研究團隊的主要方向。而以矽奈米線所做的可撓式電子元件相關研究受到許多矚目，大部分的研究透過不同的奈米線組裝方法，將奈米線組裝後排列在柔性基板上，像是 Guihua Yu 利用氣泡膜將奈米線轉移在貼在膜上的基板^[1]。Yu Huang 透過微通道使奈米線懸浮液在微通道中流動，藉此來定向組裝奈米線^[2]。以及 Jaehyun Park 使用 Langmuir-Blodgett(LB)技術組裝奈米線^[3]。但是基板通常會有不耐高溫、不耐酸鹼，導致在後續加工過程中有許多限制，像是柔性基板。故我們跳脫以往將奈米線組裝在基板上的方式，利用冰轉壓印法製作出可獨立存在且具有可撓性的矽奈米線紙，可以因應各種加工處理，媲美矽塊材的製程。

研究方法

我們在不鏽鋼基板上鍍上金觸媒，透過

金觸媒化學氣相沉積生長矽奈米線，並將矽奈米線利用氫氟酸腐蝕金矽合金以及矽薄膜，接著用超音波震盪器將矽奈米線震散，並使用真空過濾法將矽奈米線在玻璃纖維紙上沉積成矽奈米線膜，透過玻璃基板壓著矽奈米線，進行雷射熔接，之後再將玻璃纖維紙上的矽奈米線膜朝冰上放置，利用冰轉壓印法製作一張獨立存在的矽奈米線紙，最後會進行光學特性以及電性的測量。

結果與討論

1. 冰轉壓印矽奈米線

我們發現在利用氫氟酸腐蝕矽奈米線頂端的金矽合金後，將矽奈米線利用冰轉壓印製成矽奈米線紙，矽奈米線紙會轉印成許多小片的奈米線紙。而不透過氫氟酸直接冰轉壓印的矽奈米線紙，可以成功轉印出一片矽奈米線紙，如圖 1。我們分析會造成該現象的原因，是因為氫氟酸將矽奈米線上的矽薄膜全部腐蝕掉了。因為矽奈米線間沒有相連，導致在轉印過程中不容易保持完整度。

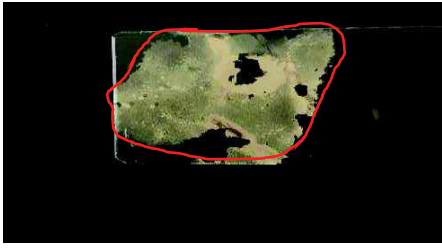


圖 1.在玻璃基板上的矽奈米線紙

2.矽奈米線紙的光學特性量測

我們利用光譜測量系統測量玻璃基板上的矽奈米線紙反射率以及穿透率，如圖 2、3。

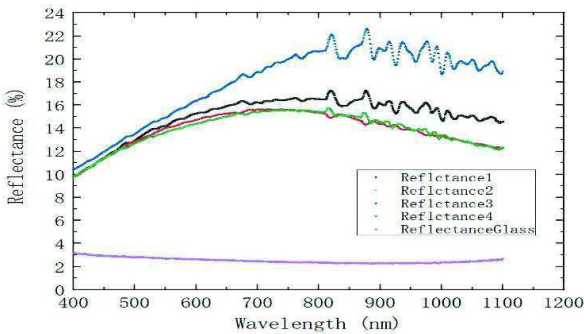


圖 2.玻璃基板上矽奈米線紙隨機取四點以及玻璃基板的反射率

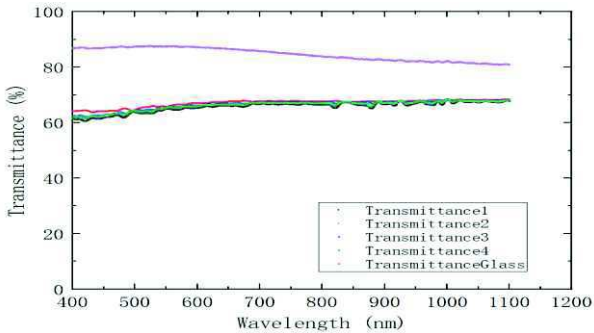


圖 3.玻璃基板上矽奈米線紙隨機取四點以及玻璃基板的穿透率

為了要了解矽奈米線紙光學性質的均勻性，而且矽奈米線可能會有部分彎曲，因此我們在矽奈米線紙上隨機取四點進行量測。在量測到的穿透率可以發現，在波長大於400nm時都維持在60%左右，但是在小於400nm穿透率就明顯變小了，玻璃基板的穿透率在400nm時開始也隨波長降低而變小，因此我們認為是受玻璃基板的影響。我們之後會將玻璃基板部分挖空，使奈米線紙部分懸空，以減少其吸收率受到玻璃的影響。我們將吸收

率帶入公式中計算， $T_{si+g} = e^{-\alpha_g d_g - \alpha d}$ 其中 α 為吸收係數、 d 約為矽奈米線紙厚度1000nm， T_{si+g} 為矽奈米線紙加上玻璃的穿透率，並得到奈米線紙的吸收係數。如圖 4。

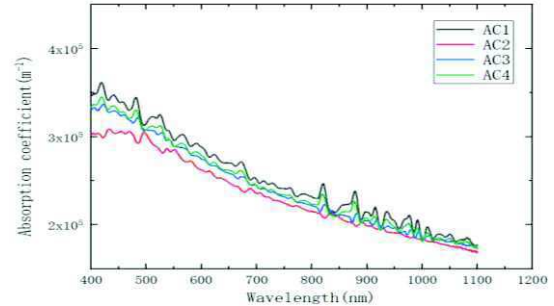


圖 4.矽奈米線紙隨機取四點的吸收係數

結論

本研究已經成功利用冰轉壓印法成功製作出矽奈米線紙，在轉印過程中因為矽奈米線紙太薄導致破裂，後續我們將改變製造的方法，先將矽奈米線以真空過濾法聚集成膜，來增加奈米線紙厚度以及矽奈米線紙尺寸大小，並利用雷射熔接加強矽奈米線與矽奈米線之間的接合的機械強度與導電度，之後再以冰轉壓印法或是蝕刻的方式去除玻璃纖維紙，完成可獨立存在的矽奈米線紙，預期此方式製作出的矽奈米線紙，可廣泛應用在可撓式電子元件。

參考文獻

- [1] Guihua Yu, Large-area blown bubble films of aligned nanowires and carbon nanotubes, *Nature Nanotechnology*, 2, 372-377 (2007)
- [2] Yu Huang, Directed assembly of one-dimensional nanostructures into functional networks, *Science*, 291, 630-633 (2001)
- [3] Jaehyun Park, Controlling orientation of V_2O_5 nanowires within micropatterns via microcontact printing combined with the gluing Langmuir-Blodgett technique, *Nanotechnology*, 19, 39 (2008)

碳化矽奈米管之合成與特性分析

作者:王政崴

指導老師:蕭錫鍊

Email: s05212007@thu.edu.tw

摘要

本專題的研究目的是嘗試開發低溫碳化矽奈米管的合成方法，使用雷射退火技術將碳與矽結合形成碳化矽，最後蝕刻出碳化矽奈米管。

碳化矽其優異的物理性質與化學穩定性，在未來半導體領域的發展中需要能夠承受極端環境的電子元件，這個趨勢使得碳化矽這項材料逐漸受到重視。但是碳化矽奈米材料的合成方法所需的溫度都非常高，我們希望透過雷射退火技術來合成碳化矽，這樣一來在製程時能夠大幅地降低製程溫度。

我們使用低壓化學氣相沉積(LPCVD)系統結合氣-液-固的成長機制合成矽奈米線，傳輸樣品至電漿輔助化學氣相沉積(PECVD)系統，通入碳源氣體在矽奈米線上鍍上碳薄膜，再使用雷射退火在奈米線表面形成碳化矽，接著使用氫氟酸將奈米線的矽核蝕刻掉，留下僅存管壁的碳化矽奈米管。最後使用掃描電子顯微鏡(SEM)觀察樣品表面的形貌；並且使用拉曼光譜分析儀，對樣品作成分分析。

我們將每階段的樣品送至掃描式電子顯微鏡觀察製程後樣品的表面形貌和拉曼光譜儀進行成分分析，雖然成功蝕刻出奈米管但是沒有證據表明其成分為碳化矽，而且雷射的能量密度過高，使得基板上的奈米線被雷射打得飛灰湮滅。

未來我們會持續調整實驗的各種條件，期望找出適合的鍍膜參數，適當的雷射參數，恰當的蝕刻時間，製備出碳化矽奈米管。

簡介

近年來美國太空總署(NASA)為了更進一步的了解金星的氣候，使用碳化矽作為電子元件，開發出能夠承受金星上極端氣候的行星探測器[1]。

碳化矽是一項性質十分穩定的半導體材料，具有寬能隙、高崩潰電場、高熱傳導率、高機械強度及化學惰性[2]，十分適合作為惡劣環境下的電子元件。

許多理論模擬的研究表示碳化矽奈米管作為特定氣體感測器是相當具有發展性的，

可以透過吸附氣體分子後，電導率的改變來作為氣體感測器[3-7]。

碳化矽奈米材料的製程都需要相當高的溫度[8-10]，在本研究中我們嘗試開發溫度較低的合成方法，我們將碳源氣體通入腔體中，再利用電漿的輔助降低裂解氣體的溫度在矽奈米線上鍍上碳薄膜，接下來使用雷射退火將碳與矽結合，在奈米線的管壁形成碳化矽，最後使用氫氟酸去除奈米線的矽核留下碳化矽奈米管。

研究方法

本研究專題使用氣-液-固生長機制合成矽奈米線，並在矽奈米線表面鍍上碳薄膜，再使用雷射退火使碳和矽在奈米線表面上結合，形成碳化矽奈米管壁和管壁內的矽奈米線核，最後使用氫氟酸水溶液蝕刻，去除矽奈米線核，製作出碳化矽奈米管。

詳細步驟為：

1. 矽奈米線之合成

矽奈米線的合成我們採用金觸媒結合氣-液-固成長機制合成矽奈米線。

2. 碳薄膜包覆

成長完的奈米線使用傳輸棒送至電漿輔助化學氣相沉積系統中，使矽奈米線上包覆碳薄膜。

3. 雷射退火

碳和矽若要互相鍵結形成碳化矽需要相當高的溫度，脈衝雷射能夠在瞬間達到高溫，我們期望在這瞬間的高溫能夠使碳和矽鍵結形成碳化矽。

4. 氫氟酸蝕刻

使用氫氟酸將奈米線中的矽核去除。我們配製體積百分濃度 10% 氫氟酸水溶液將樣品浸泡其中 30 分鐘。

5. 形貌及成分分析

最後先使用拉曼光譜分析儀進行成分分析(由於拉曼光譜分析是非破壞性的分析，故優先檢測)；再將樣品送至掃描式電子顯微鏡(SEM)進行表面形貌的觀察。

結果與討論

1. 矽奈米線之合成

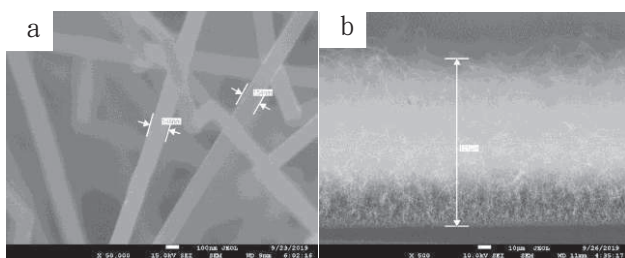


圖 1 為矽奈米線的 SEM 圖。a. 5 萬倍的矽奈米線俯視圖。b. 矽奈米線的剖面圖。

2. 碳薄膜包覆

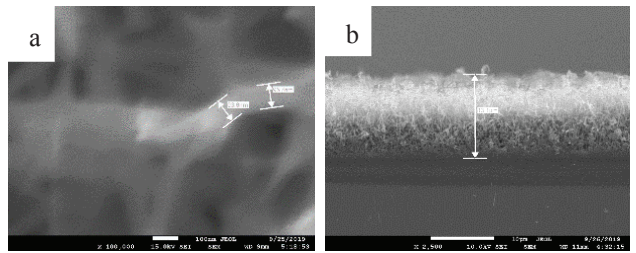


圖 2 為鍍上碳薄膜後的矽奈米線 SEM 圖。a. 俯視圖。b. 剖面圖。

3. 雷射退火

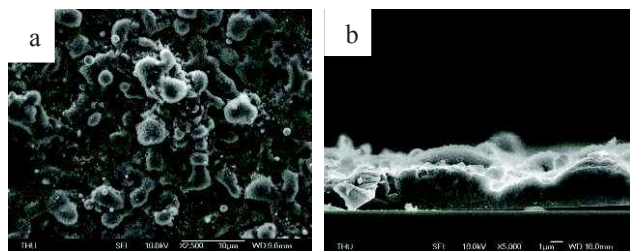


圖 3 為經過雷射退火後的 SEM 圖。a. 俯視圖。b. 剖面圖。

4. 氫氟酸蝕刻

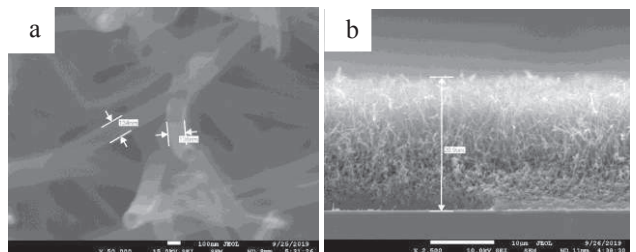


圖 4 為鍍碳後的奈米線經過氫氟酸水溶液蝕刻的 SEM 圖。a. 俯視圖。b. 剖面圖。

5. 樣品成分分析

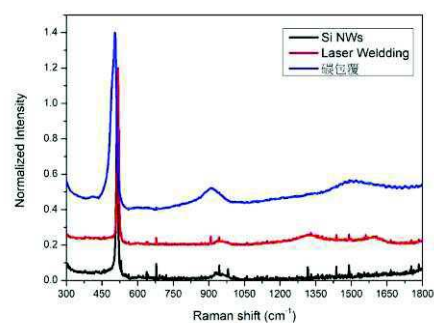


圖 5 為矽奈米線、碳包覆和雷射退火的拉曼光譜圖。我們尚未確定雷射退火後是否有出現碳化矽的訊號。

總結

經過這段期間的專題研究，我們從數據和影像進行分析實驗的結果，發現實驗上還有許多的條件要進行調整，而且需要更多的實驗數據來輔助分析問題。

未來持續對雷射的參數進一步的修正，測試出同時滿足不打壞樣品表面結構並將碳和矽成功相互鍵結，期望使用拉曼光譜分析時，能夠出現足以證明碳化矽這項材料的訊號。

參考文獻

- [1] Shannon Hall, “Venus is Earth’s evil twin—and space agencies can no longer resist its pull”, *Nature* 570, 20-25 (2019).
- [2] A.V. Pavlikov, N.V. Latukhina, V.I. Chepurnov, V.Yu. Timoshenko, “Structural and Optical Properties of Silicon-Carbide Nanowires Produced by the High-Temperature Carbonization of Silicon Nanostructures”, *Semiconductors* 51, 402–406(2017).
- [3] Wu R. Q., Yang M., Lu Y. H., Feng Y. P., Huang Z. G., & Wu Q. Y., “Silicon Carbide Nanotubes As Potential Gas Sensors for CO and HCN Detection” *The Journal of Physical Chemistry C*, 112(41), 15985–15988(2008).
- [4] Wang X., Liew K. M., “Silicon Carbide Nanotubes Serving as a Highly Sensitive Gas Chemical Sensor for Formaldehyde” *The Journal of Physical Chemistry C*, 115(21), 10388–10393(2011).
- [5] Zhao J., Ding Y. “Can Silicon Carbide Nanotubes Sense Carbon Dioxide?” *Journal of Chemical Theory and Computation*, 5(4), 1099–1105(2009).
- [6] Jia Y. B., Zhuang G. L., Wang, J. G. “Electric field induced silicon carbide nanotubes: a promising gas sensor for detecting SO₂” *Journal of Physics D: Applied Physics*, 45(6), 065305(2012).
- [7] Gao G., Kang H. S. “First Principles Study of NO and NNO Chemisorption on Silicon Carbide Nanotubes and Other Nanotubes” *Journal of Chemical Theory and Computation*, 4(10), 1690–1697(2008).
- [8] Kukushkin S. A., Osipov A. V. “New method for growing silicon carbide on silicon by solid-phase epitaxy: Model and experiment”, *Physics of the Solid State*, 50(7), 1238–1245(2008).
- [9] Yun Li, Zhifei Zhao, Le Yu, Yi Wang, Zhijun Yin, Zhonghui Li, Ping Hana, “Heteroepitaxial 3C-SiC on Si(100) with flow-modulated carbonization process conditions”, *Journal of Crystal Growth* 506, 114–116 (2019).
- [10] Taguchi T., Igawa N., Yamamoto H., Jitsukawa S. “Synthesis of Silicon Carbide Nanotubes”, *Journal of the American Ceramic Society*, 88(2), 459–461 (2005).

全固態鋰離子電池之陰極薄膜製備研究

S05212018 何名元

指導教授 蕭錫鍊

*Email: S05212018@thu.edu.tw

摘要

本研究首先以射頻磁控濺鍍系統，在不同基板溫度及不同比例的氫氣、氧氣混和之氣氛下成長 LiCoO_2 薄膜，以控制薄膜的晶體結構，找出對應含有最低電阻率的陰極沉積條件。目前已經成功沉積出氧化鋰鈷薄膜，並藉由拉曼光譜儀觀測發現在 550°C ，不同比例氧氣環境生長的陰極薄膜，皆出現屬於高溫 (HT) LiCoO_2 六方層狀結構的 A_{1g} 、 E_g 峰，其中在氧氣為 3.3% 氣氛下成長的薄膜，含有相對最高的 A_{1g} 、 E_g 峰峰值以及較小的 Co_3O_4 峰峰值。另外四點探針量測的結果顯示同樣在 3.3% 氧氣氣氛下沉積的陰極，出現了最低的電阻率。

簡介

現今鋰離子電池為主流電池，近年來也成為電動汽車的主要動力來源，但其容易自燃的特點，使得安全問題一直難以根除，相形之下固態鋰離子電池即備受矚目，因其具有不易燃、無腐蝕、不揮發等多項優點，對於提高電池的循環穩定性有所幫助，另外固態電解質具備高能量密度，且高化學穩定性令其對於陰、陽極的相容性有所幫助。而陰極決定了電池的電容量以及充放電等特性，常見的陰極材料有 LiCoO_2 、 LiMn_2O_4 、 LiNiMnCoO_2 、 LiNiCoAlO_2 、 LiFePO_4 等，氧化鋰鈷製備技術已相當成熟，最早是由 Goodenough 小組提出的，並於 1980 年首次用作陰極薄膜 [1]，至今仍有許多團隊投入研究，並已經開發出各類型結構的氧化鋰鈷 [2]，主要生長 LiCoO_2 薄膜的方法有射頻磁控濺鍍、脈衝雷射沉積 (PLD) 和物理氣相沉積 (PVD) 等。相較於其他常見陰極， LiCoO_2 在經熱處理後會形成層狀結構，該結構有助於載子的擴散，同時增進電容量，加上對多數電解質具備優異的電化學穩定性，優秀的能量密度，以及寬廣的電化學電位匹配等特點，使得氧化鋰鈷成為最常見的陰極之一。利用射頻磁控濺鍍法製備氧化鋰鈷薄膜常見且簡易，在真空的環境下靶材及薄膜都不易受污染，但由於濺鍍過程中容易造成氧原子散失，使得薄膜容易出現氧空缺，

這使得薄膜容易出現缺陷態，造成薄膜中所含最佳結構的比例下降，將使得陰極充放電特性下降，因此如何減少缺陷並控制材料的電性成為成長陰極的挑戰。

研究方法

LiCoO_2 (陰極) 製備

利用射頻磁控濺鍍系統，分別改變基板溫度以及在不同氫氣與氧氣的混合氣體下進行濺鍍，以找出最佳化陰極。

a. 基板的製備

將矽基板以丙酮、超純水、異丙醇、超純水和濃度 10% 的氫氟酸溶液的順序於超音波震盪器中分別震洗 10 分鐘，並以氮氣吹乾清洗好的矽基板及一百度烘烤基板，已移除表面水分。接著以 $16.25^\circ\text{C}/\text{min}$ 將矽基板在大氣下加熱至 1000°C ，使其表面長出氧化層 SiO_2 薄膜，一小時後關閉加熱器，並靜待其降溫至室溫。

b. 下電極之製備

為了量測材料的電性，必須合成電極，因此利用直流磁控濺鍍系統，在經氧化的矽基板上沉積銅膜，作為下電極的使用。

c. LiCoO_2 陰極薄膜製

隨即利用射頻磁控濺鍍系統，在表面氧化的矽基板及包含下電極的基板，其中分別改變基板的加熱溫度及不同氫氣與氧氣的混合比例的

氣氛下，進行氧化鋰鈷之薄膜製程。用以得到各條件的 LiCoO_2 。

d. LiCoO_2 薄膜沉積速率測定及表面形貌觀察

將所得在各條件下沉積的陰極薄膜，以掃描式電子顯微鏡觀測其表面形貌並觀測其厚度，以換算薄膜沉積速率。

e. 四點探針測電阻率

利用四點探針量測 $\text{LiCoO}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}$ 之電阻率，給定陰極薄膜電流，再加以量測其電壓，結合各條件所沉積之薄膜厚度，計算出薄膜之電阻率。

f. 結構分析-拉曼光譜儀

利用拉曼光譜儀分析薄膜分子震動模式，藉此判別陰極晶體結構。

結果與討論

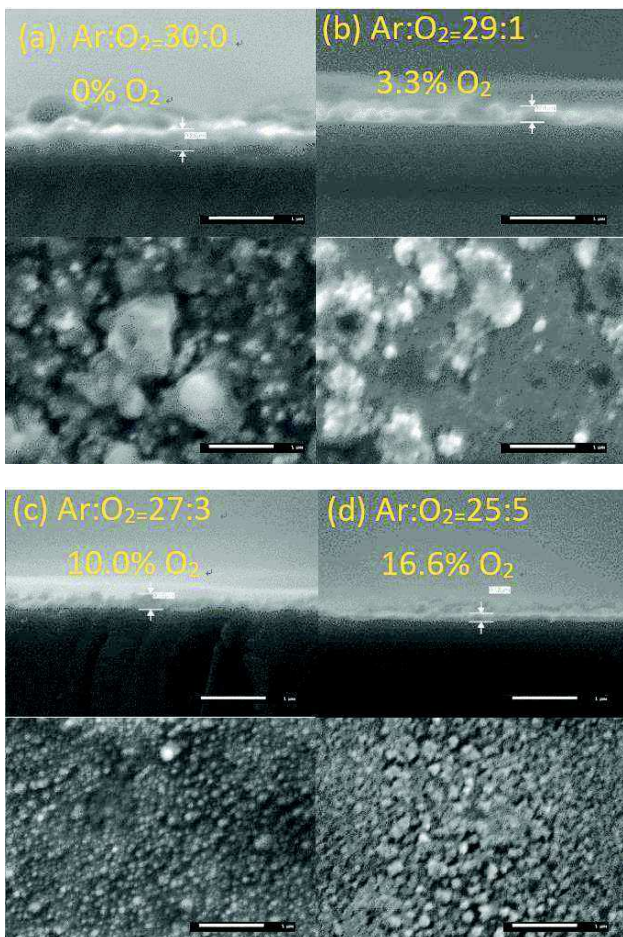


圖 1. 在 550°C 不同氧氣比例下沉積的 LiCoO_2 SEM 影像。

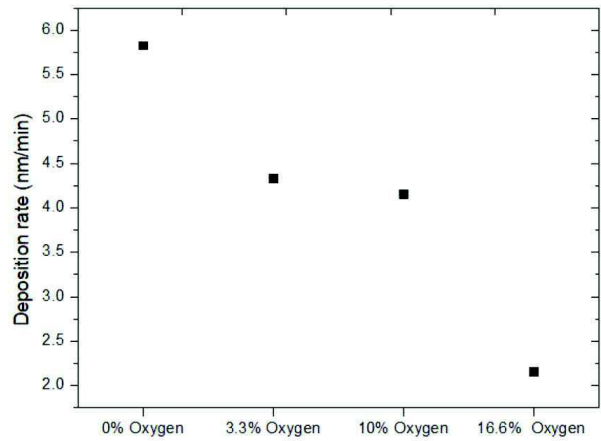


圖 2. LiCoO_2 靶材之拉曼光譜及 550°C 下不同氧氣比例氣氛中沉積的陰極薄膜之拉曼光譜

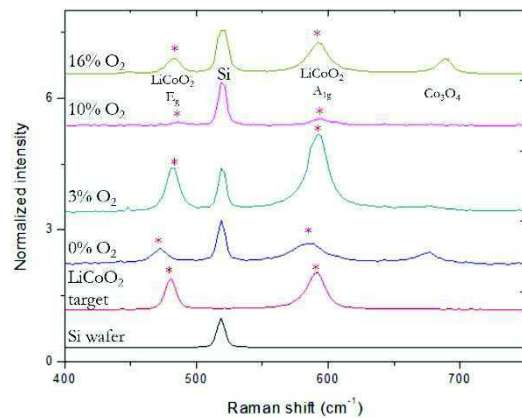


圖 3. LiCoO_2 靶材之拉曼光譜及 550°C 下不同氧氣比例氣氛中沉積的陰極薄膜之拉曼光譜

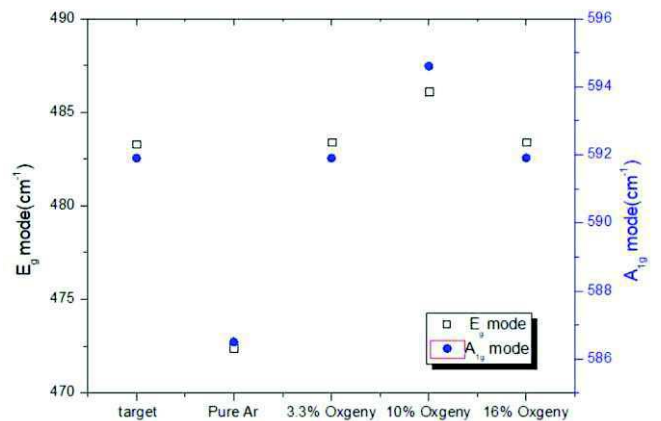


圖 4. LiCoO_2 靶材及各條件沉積之薄膜 E_g 、 A_{1g} 分子震動模式峰值變化圖

LiCoO_2 薄膜的優異多取決於結晶類型，常見的有在五百度左右退火得到的高溫(HT) LiCoO_2 hexagonal layered[3,4]，以及四百度左右退火的低溫(LT) LiCoO_2 cubic spinel，其中六方層狀結構相較於立方尖晶石具有優異的可逆性及循環穩定性，因此為陰極的首選結構。由圖

3 靶材的拉曼光譜顯示了 LiCoO_2 晶格中分別在 591.9cm^{-1} 以及 483.3cm^{-1} 觀察到兩種分子的震動模式 A_{1g} 以及 E_g ，其分別對應六方層狀結構 CoO 的拉伸 (stretching) 和 O-Co-O 的彎曲 (bending)[5]。如圖 3 及圖 4 所示， A_{1g} 、 E_g 模式在純氧製程條件下震動能量最低，根據 Yasutaka Matsuda[6] 等人的團隊研究報導，其原因可能氧化鋰鈷的 c 軸晶格常數增加導致 A_{1g} 、 E_g 模式的頻率降低，而當 E_g 、 A_{1g} 峰值下降， Co_3O_4 峰值則增加，表示因為 Li 原子缺陷形成的尖晶石，其對應的是晶格結構的不同， E_g 、 A_{1g} 峰值下降以及 Co_3O_4 峰值的增加代表著 LiCoO_2 的 Li 原子缺陷形成的尖晶石比例漸增。

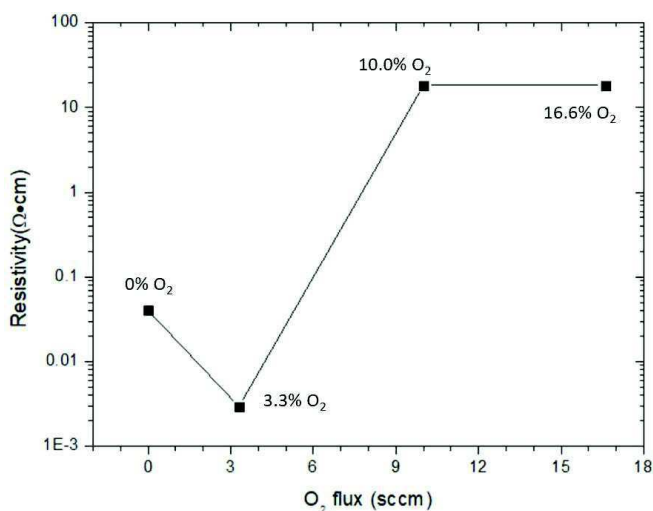


圖 5. 各沉積條件薄膜之電阻率圖

由圖 5 所示，利用四點探針量測結果換算成薄膜之電阻率，可發現在沉積環境為 550°C 、3.3% 的氧氣時，得到了最低的電阻率 ($2.91 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$)，而氧氣在大於百分之十，電阻率皆大於 $18 \Omega \cdot \text{cm}$ 。比較拉曼光譜以及四點探針之結果，在製程條件為 550°C 、3.3% 的氧氣時，出現了最佳結構以及最低的電阻率。

總結與未來工作

研究發現隨著沉積環境中氧氣的比例上升，薄膜厚度將隨之下降，而表面粗糙度降低。另外發現在 550°C ，氧氣為 3.3% 沉及條件下時，其氧化鋰鈷的 A_{1g} 、 E_g mode 拉曼偏移的強度最高，且 Co_3O_4 的缺陷峰相對較低，表示該薄膜最接近六方層狀結構。而且由四點探針可量出

最低的電阻率，相同的沉積條件下，出現了最低的電阻率。因此後續我們將依據所得到最低電阻率的製程條件，改變氧氣比例，加以製成薄膜，以找出最低電阻率之氧化鋰鈷陰極。我們已經架構出三槍蒸鍍系統，並進行系統測試中，將用於後續研究的第二部分，找出關於固態電解質 $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ 的最佳製程條件以及第三部分，最後結合所得陰極及固態電解質製備成全固態鋰離子電池，以驗證陰極及固態電解質特性。

參考文獻

1. K. Mizushima, P.C. Jones, P.J. Wiseman, J.B. Goodenough, *LixCoO2 (0 < x < -1): a new cathode material for batteries of high energy density*, Mater. Res. Bull 15 783e789. (1980)
2. L. Huang, R.M. Mank, Y. Chen, *Method to Improve LiCoO2 Morphology in Thin Film Batteries*, Materials 12, 2687, 2019.
3. Jos F. M. Oudenhoven, Loïc. Baggetto, Peter H. L. Notten, *Adv. Energy Mater.*, 10-33 (2011)
4. Hui Xia, Yunhai Wan, Wilfried Assenmacher, Werner Mader, Guoliang Yuan and Li Lu⁴, *Facile synthesis of chain-like LiCoO2 nanowire arrays as three-dimensional cathode for microbattery*, Nature 1884-4057/14, 2014
5. François Tran-van a, Joe Sakai, *LiCoO2 with double porous structure obtained by electrospray deposition and its evaluation as an electrode for lithium-ion batteries*, Journal of Alloys and Compounds 805, 19-25, 2019
6. M. Inaba, Y. Iriyama, Z. Ogumi, Y. Todzuka, A. Tasaka, *Raman study of layered rock-salt LiCoO2 and its electrochemical lithium deintercalation*, J Raman Spectrosc. 28 (1997) 613-617.
6. Yasutaka Matsudaa, Naoaki Kuwataa *In situ Raman spectroscopy of LixCoO2 cathode in*

*Li/Li₃PO₄/LiCoO₂ allsolid-state thin-film
lithium battery.*, Solid State Ionics 335 7–
14,(2019)

金包覆矽奈米線三明治結構壓力感測器之研究

陳宥全(s05212023)

蕭錫鍊 指導老師

*Email: s05212023@thu.edu.tw

摘要

本專題研究的目的是要做出具有高靈敏度、寬的壓力量測範圍、有空間解析之可撓式金包覆矽奈米線壓力感測器。

隨著時代的進步，可撓式壓力感測器將會是未來可穿戴電子設備中的關鍵組件，在這裡我們主要以電子皮膚作為壓力感測器的應用領域。

我們使用低壓化學氣相沉積系統結合固-液-氣的生長機制合成矽奈米線，並濺鍍金薄膜包覆矽奈米線後製作成懸浮液，以簡單的浸泡烘乾做出吸附奈米線的紙，再以雷射雕刻機在聚二甲基矽氧烷(PDMS)上做出交指式電極，最後以氧電漿系統處理 PDMS 表面，結合成完整的壓力感測器，最後再以各項儀器進行性能測量分析。

我們以金觸媒催化化學氣相沉積系統成功製備出長度 $140\ \mu\text{m}$ 、直徑 140nm 的矽奈米線，並利用直流偏壓濺鍍系統濺鍍完整的金薄膜包覆住矽奈米線，且以冰塊製作出濃厚的金包覆矽奈米線懸浮液，並利用浸泡烘乾法做出吸附奈米線的纖維紙，以及利用雷射雕刻機雕刻出整齊的交指式電極。

後續我們將會把鍍有交指式電極的 PDMS 與切割後且吸附有金包覆矽奈米線的纖維紙與乾淨的 PDMS 做結合，再以氧電漿系統處理後做成一個完整的壓力感測器。最終再進行感測器的各種性能分析。

簡介

皮膚的觸覺感知是我們與世界互動的基本感知能力之一，可撓式的壓力感測器將會是未來可穿戴電子設備中的關鍵組件，其廣泛應用範圍包括電子皮膚^{[1][2]}、智能互動、矽膠機器人及能源採集…等。而此種感測器要能夠檢測出小至人體脈搏大至肢體運動的皮膚的應變。然而，傳統的應變計只能以低應變係數($GF\approx 2$)檢測到較窄的應變範圍($\varepsilon < 5\%$)。至今奈米技術為設計類似皮膚的可撓式壓力感測器提供了新的機會，其中電子皮膚的壓力感測器設計又可分成三種類型，分別是壓阻式、電容式及壓電式。至今為止，各式各樣的奈米材料包括：石墨烯、金屬奈米顆粒、奈米線、奈米碳管等都已成功設計出新型高性能壓力感測器的案例，例如：Darren J.

Lipomi 等人的團隊在西元 2011 年做出具有透明性、可承受高達 150% 的應變的奈米碳管電容式壓力感測器^[3]，Shu Gong 等人的研究團隊在西元 2014 年做出具有 1.14Pa^{-1} 的靈敏度、 5×5 空間解析、且寬的壓力感測範圍 ($13\sim 50000\text{Pa}$) 的金奈米線壓阻式壓力感測器^[4]，Wen Cheng 等人的團隊在西元 2018 年做出高靈敏度 $S\sim 8.2/\text{kPa}$ 、最低壓力感測範圍 0.1Pa 的矽奈米線電容式壓力感測器^[5]，…等研究，但是將這些技術集成為單一類型的壓力感測器仍然具有挑戰性。

研究方法

本專題研究以金觸媒催化化學氣相沉積系統製備可調控縱橫比的矽奈米線，並以直流偏壓濺鍍系統濺鍍金薄膜並包覆住矽奈米

線，隨後以冰塊製作出金包覆矽奈米線之懸浮液。應用雷射雕刻機在鍍有金薄膜的 PDMS 上雕刻出交指式電極，再以浸泡烘乾法製備出吸附奈米線的纖維紙。隨後將纖維紙以切割紙切割成多塊紙塊並黏貼在交指式電極上，最終以氧電漿系統處理後製作出完整的三明治結構壓力感測器。並以各種測量儀器分析感測器性能。

下列為研究方法的詳細製程步驟：

1. 金包覆矽奈米線懸浮液製備

本專題研究以陶瓷舟作為鋁基板之載台，在低壓化學氣相沉積系統製備矽奈米線。

a. 基板的製備

將平坦矩形的鋁片通過雷射雕刻機切割成 $4 \times 2 \text{cm}^2$ 鋁片以配合載台大小及進一步研究之需求。

b. 基板與陶瓷舟載台之清洗

陶瓷舟將以氫氧化鈉加熱清洗表面，之後再依序以丙酮、純水、甲醇、純水等溶液通過超音波震盪器各震洗 10 分鐘，再以氮氣吹乾表面殘餘水滴，最後放入爐管並在機械式幫浦抽真空下加熱 120°C 烘烤水氣 2 小時。鋁片則是依序丙酮、純水、異丙醇、純水等溶液通過超音波震盪器各震洗 10 分鐘，最後再以氮氣槍吹乾表面殘餘水滴。

c. 金觸媒之沉積

金與矽的共晶溫度 (363°C) 較其他觸媒低，在製程中容易達到，加上金有較高的化學穩定性，因此選擇金作為矽奈米線成長的觸媒。將清洗後的鋁基板放入直流偏壓濺鍍系統 (DC Sputter) 中，並以氫氣作為工作氣體，於基板表面鍍上 10nm 厚的金薄膜。

d. 矽奈米線之成長

將鍍有金薄膜的鋁基板置於低壓化學氣相沉積系統中的載台上，經渦輪真空幫浦使真空到達 2.2×10^{-6} torr 背景

壓力後加熱至 450°C ，並先通入氫氣 200sccm、氫氣 200sccm 後調壓至 25torr 並穩定壓力 10 分鐘，再通入矽甲烷 50sccm、磷化氫 5sccm 製程 4 小時。

e. 金包覆矽奈米線的製備

將長有矽奈米線之鋁基板再放入直流偏壓濺鍍系統濺鍍 5nm 厚的金薄膜包覆住矽奈米線，以增加矽奈米線之導電率。

f. 金包覆矽奈米線懸浮液之製作

將由純水所製造的冰塊順著同方向先使金包覆矽奈米線之鋁基板表面濕滑後，再以同向梳理儲存刮下的奈米線懸浮液，製備出具有金包覆矽奈米線懸浮液。

2. 吸附有金包覆矽奈米線紙之製備

將切割後的纖維紙泡入金包覆矽奈米線懸浮液，浸泡並烘乾 10 個循環。

3. PDMS 的製備

以聚二甲基矽氧烷和固化劑按 4g : 0.4g 重量比完全混合，並將混和後的液態 PDMS 倒入培養皿中，並置於烘乾箱以 70°C 烘乾 2 小時。

4. 交指式電極的製備

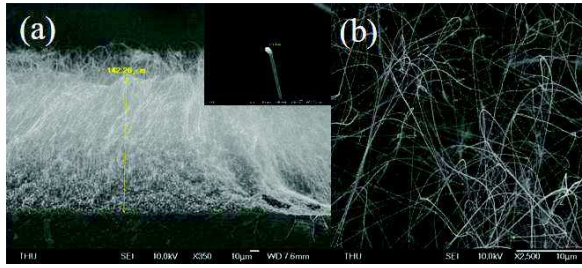
以雷射雕刻機的軟體繪圖出交指式電極 (間距 $200 \mu\text{m}$ ，線寬 $200 \mu\text{m}$)，並將鍍有金薄膜的 PDMS 雕刻出交指式電極。

5. 氧電漿系統處理 PDMS 表面製備三明治結構壓力感測器

進度報告

1. 矽奈米線的成長與分析

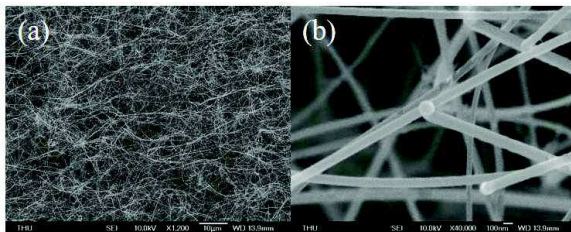
本專題利用低壓化學氣相沉積 (LPCVD) 系統成長矽奈米線。如下圖(一)，圖(a)為矽奈米線的 SEM 剖面圖，長度為 $140 \mu\text{m}$ 、直徑為 140nm，圖(b)為矽奈米線平面圖，可看出矽奈米線均勻且密集。



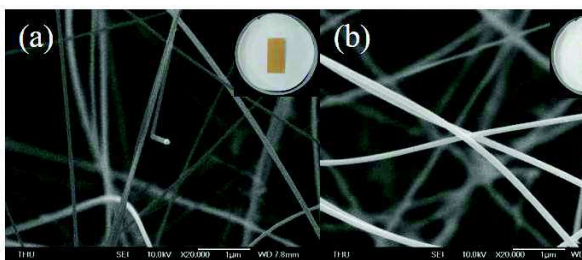
圖(一)、(a)為鋁基板上的矽奈米線在倍率為x350的SEM剖面圖，右上角為倍率x40000下的sem平面圖，(b)為鋁基板上的矽奈米線在倍率為x2500下的SEM平面圖。

2. 金包覆矽奈米線之分析

藉由直流偏壓濺鍍系統在長有矽奈米線的鋁基板上濺鍍金薄膜。如圖(二)，圖(a)、圖(b)皆為金包覆矽奈米線在不同倍率下的SEM平面圖，可以看到金包覆矽奈米線上有些微的小裂痕存在，並且可由圖(三)得知，以金包覆矽奈米線的SEM與光學影像圖與無金包覆的矽奈米線比較下有明顯的對比，因而更確定了金會完整包覆住矽奈米線且無團聚的現象。



圖(二)、(a)為倍率x1200，(b)為倍率x40000的金包覆矽奈米線SEM平面圖。

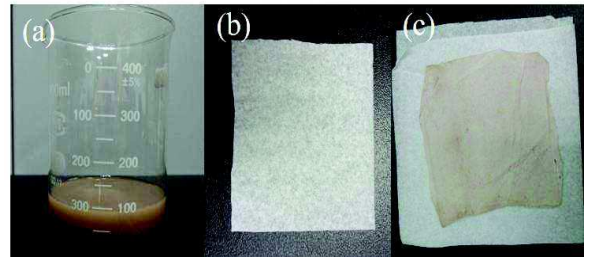


圖(三)、(a)為純摻雜磷的矽奈米線SEM平面圖學影像圖，(b)為金包覆矽奈米線

的SEM平面圖，右上角均為此樣品之光學影像圖。

3. 金包覆矽奈米線懸浮液與吸附奈米線纖維紙的製備

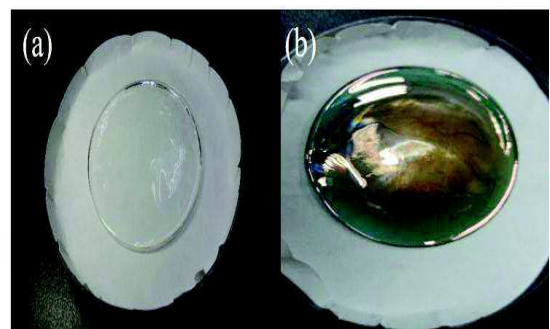
由圖(四)可知，經過10分鐘浸泡及烘乾後吸附有金包覆的矽奈米線纖維紙的顏色與純纖維紙在顏色上有些微的差異。



圖(四)、(a)為金包覆矽奈米線懸浮液，(b)為未浸泡過的纖維紙，圖(c)為經過浸泡烘乾後吸附有奈米線的纖維紙

4. PDMS與PDMS鍍上金薄膜的製備與分析

如圖(五)，可看出鍍50nm厚的PDMS有厚度不均勻的現象，其原因在於直流偏壓濺鍍系統中的載台大小比PDMS小了1吋之多，導致外圍PDMS並不均勻的濺鍍上金薄膜。

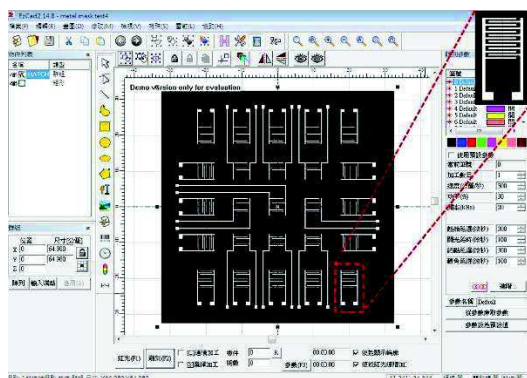


圖(五)、(a)為未鍍金薄膜的PDMS的光學影像圖，(b)為鍍上金薄膜後的PDMS的光學影像圖。

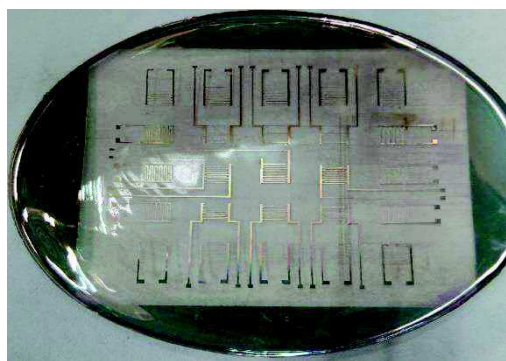
5. 交指式電極的製備與分析

圖(六)為繪圖軟體繪製出交指式電極圖，其反黑顏色為雕刻範圍，並從圖(七)可

知，我們成功以雷射雕刻機在鍍有金薄膜的 PDMS 上雕刻出完整的交指式電極。



圖(六)雷射雕刻機的繪圖軟體影像圖，
 右上角影像圖為虛線位置的放大圖



圖(七)、具有金薄膜的 PDMS 雕刻後的光學
 影像圖

結論

本專題研究以金觸媒催化化學氣相沉積系統成功製備出長度 $140\ \mu\text{m}$ 且直徑 140nm 的矽奈米線，也以直流偏壓濺鍍系統濺鍍約 5nm 厚的金薄膜完整包覆住矽奈米線，也成功的以冰塊製作出金包覆矽奈米線懸浮液與吸附有奈米線的纖維紙。以及雷射雕刻機成功雕刻出間距 $200\ \mu\text{m}$ 、線寬 $200\ \mu\text{m}$ 的交指式電極。

後續我們將會把鍍有交指式電極的 PDMS 與金包覆矽奈米線紙以及上蓋純 PDMS 結合，並透過氧電漿系統處理 PDMS 表面，最終組裝成一個完整的壓阻式壓力感測器。最後再以各種量測儀器測量感測器的性能分析。

參考文獻

[1] Xiandi Wang, Lin Dong, Hanlu Zhang, Ruomeng Yu, Caofeng Pan, and Zhong Lin

Wang, “Recent Progress in Electronic Skin”, *Advanced Science* 2(10), 1500169 (2015)

[2] Mallory L. Hammock, Alex Chortos, Benjamin C.-K. Tee, Jeffrey B.-H. Tok, and Zhenan Bao, “25th Anniversary Article: The Evolution of Electronic Skin (E-Skin): A Brief History, Design Considerations, and Recent Progress”, *Advanced Materials* 25, 5997-6038 (2013)

[3] Darren J. Lipomi, Michael Vosgueritchian, Benjamin C-K Tee, Sondra L. Hellstrom, Jennifer A. Lee, Courtney H. Fox and Zhenan Bao, “Skin-like pressure and strain sensor based on transparent elastic films of carbon nanotubes”, *Nature Nanotechnology* 6, 788-792 (2011)

[4] Shu Gong, Willem Schwalb, Yongwei Wang, Yi Chen, Yue Tang, Jye Si, Bijan Shirinzadeh and Wenlong Cheng, “A wearable and highly sensitive pressure sensor with ultrathin gold nanowires”, *Nature Communications* 5, 3132 (2014)

[5] Wen Cheng, Linwei Yu, Desheng Kong, Zhongwei Yu, Huiting Wang, Yunmu Wand, Junzhan Wang, Lijia Pan, Member, IEEE, and Yi Shi, “Fast-response and Low-hysteresis Flexible Pressure Sensor Based on Silicon Nanowires”, *IEEE Electron Device Letters* 0741-3106 (2018)

[6] Morteza Amjadi, Aekachan Pichitpajongkit, Sangjun Lee, Seunghwa Ryu, and Inkyu Park, “Highly Stretchable and Sensitive Strain Sensor Based on Silver Nanowire-Elastomer Nanocomposite”, *ACS Nano* 8(5), 5154-5163 (2014)

[7] Mark A Eddings, Michael A Johnson and Bruce K Gale, “Determining the optimal

PDMS-PDMS bonding technique for microfluidic devices” , *Journal of*

Micromechanic and Microengineering , 18, 067001 (2008)

“論文專題”評分項目

書面報告	6分 8分 10分	口頭報告	6分 8分 10分
表達邏輯、清晰度	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	表達邏輯、清晰度	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
整體組織	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	整體組織	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
資料完整度、正確性	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	ppt 內容	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
研究方法適當性、困難度	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	對研究方法的熟悉度	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
成果/進度	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	相關原理認知度	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

全固態鋰離子電池陽極之研究

陳政遠(S05212034)

蕭錫鍊老師

*Email: s05212034@thu.edu.tw

摘要

本專題研究計畫目的是在不銹鋼基板合成筆直、直立的矽奈米線，在奈米線外包覆石墨牆，研究認為矽具有最高理論電容量，但因矽在充放電的過程中，有極大的體積變化，且矽的導電性較差，需要結合石墨來改善其導電性，並在結構設計上提供體積膨脹空間，所以本研究計畫中設計出筆直直立石墨牆@奈米線，期望能達到高電容，高充電速率，安全，穩定的電池特性。

簡介

現今液態鋰離子電池約有 99 % 依然使用石墨作為陽極材料，石墨作為鋰離子電池活性材料雖然有相當好的穩定性，但是電容量已不能滿足新世代 3C 產品以及電動車等產品的應用要求，而矽具有比石墨高 10 倍的理論電容值，被視為可以取代傳統石墨電極，因為矽做為鋰離子電池具元素當中最高的理論電容量(4200mAh/g)，但是塊材矽在充放電的過程中，存在嚴重的體積膨脹，造成陽極崩解，所以許多團隊將矽縮小到奈米尺度，使奈米尺度的矽增加應力，避免在膨脹的過程造成材料崩解，然而，雖然有許多文獻將矽縮小到奈米尺度(例如：奈米線、米管與奈米顆粒等結構。)得到較高的應變能力、表面修飾、或特殊的電極結構設計等方法，想要克服矽陽極劇烈體積膨脹的問題，但是效果仍然沒有預期的好，再加上矽本身的電導率較石墨低，因此難以形成穩定的固態電解質介面膜。

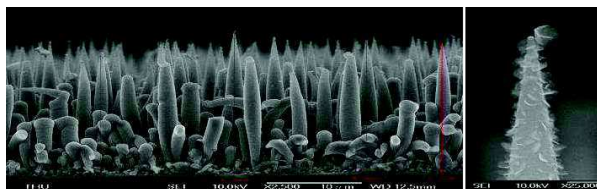
為了克服以上問題，有許多研究團隊利用矽結合石墨形成新型的陽極複合材料，值得一提的是，Chunlei Pang 等人的研究團隊結合了石墨和矽奈米線的特性，成功的利用奈米線交織形成矽奈米線紙，並且在紙的上下兩面包覆石墨增加界面的導電度，製作出高電容量、高循環穩定的全固態電池，石墨包

覆矽奈米線紙的二維結構設計，能有效降低內電阻，提高充電速率，雖然充放電的過程中，部分矽奈米線的體積變化仍會造成部分石墨的破損，降低電池的性能，但是經固 100 次的循環充放電，電流密度仍然超過 1500 mAh/g，這個結果表明矽奈米線結合石墨這樣的結構設計可以有效改善體積膨脹和提升電容量。

研究方法

利用電漿輔助化學氣相沉積系統生長出的石墨牆包覆矽奈米線，為避免探針將矽奈米線損毀，因此在表面滴上鎳的液滴，再進行量測，再利用 SEM 觀察石墨牆@奈米線的表面形貌。

進度報告



圖一：SEM 石墨牆@奈米線

結論

需要找到最佳的參數(奈米線的長度、密度、粗細，石墨牆的密度、高度)，進而找到最好的電容量。

參考文獻

- [1] Chunlei Pang, Hao Cui , Guowei Yang, Chengxin Wang, Nano Lett. , 13, 4708-4714 (2013) .
- [2] J . B . Bates, N. J . Dudney, G. R. Gruzalski, R. A. Zuhr, A. Choudhury, C. F. Luck, Journal of Power Sources, 43, 103-110 (1993)
- [3] Jos F. M. Oudenhoven , Loïc. Baggetto , Peter H. L. Notten, Adv. Energy Mater., 10-33 (2011)

以 DAQ 控制光學振鏡做圖像顯示

林鈺晟(S06210007)

指導老師:林宗欣

Email:s06210007@thu.edu.tw

摘要

以光學振鏡做掃描，在電腦端方面，則是學習用 labview 寫出 DAQ 相關程式去控制光學振鏡，最後希望可以藉由光學振鏡掃描去做出圖像顯示。

簡介:

現今雷射已經被廣泛的應用到許多不同的地方，無論是在醫療方面，或是在機械加工方面，亦或者是用在各種檢測工具上，所能做到的範圍遠大於一般人所能想像的到的地方，而此次實驗所使用雷射的用途就是用再透過光學振鏡掃描出所想要的圖形。

(1)光學振鏡是由 X-Y 光學掃瞄頭、電子驅動放大器和反射鏡片組成。由電腦端的控制器提供信號通過驅動放大電路驅動光學掃瞄頭，從而在 X-Y 平面控制雷射束的偏轉。

(1)掃描原理:掃描出的圖案是一個二微的效果圖案，所以掃描電採用 X、Y 兩個電機控制，一個時刻確定一個點的位置，通過掃描頻率控制不同時課點的位置達到整個掃描圖案的變換，掃描頻率(速度)越低圖案閃爍越明顯。

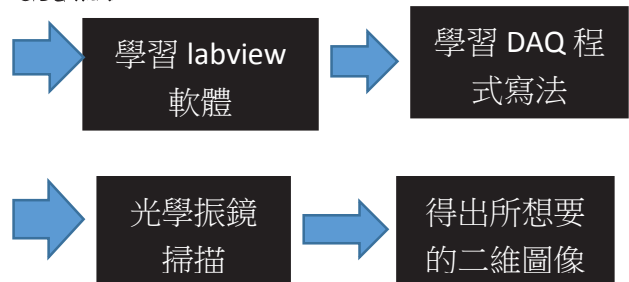
此次實驗把 DAQ 當作輸出端，輸出類比訊號到電腦裡面的程式，再去透過光學振徑相關的實驗得出最後結果

研究方法:

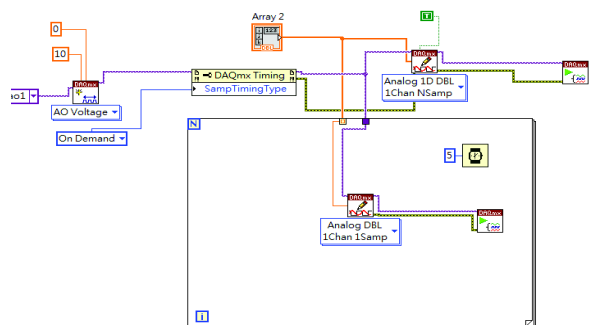
一開始透過學習 labview 整個操作的

方法，在延伸去透過 labview 裡面的 DAQ 相關軟體寫出一個可以輸出類比訊號的輸出端，將所需的條件寫入程式裡面，在透過資料擷取卡連接電腦，最後再連接示波器將可能的圖顯示出來，當確認過寫出的程式與所想要的結果相似後，將電腦連接到光學→振鏡，由電腦程式控制光學振鏡，使得光學振鏡系統可以掃描出所需要的二維圖形

進度報告:



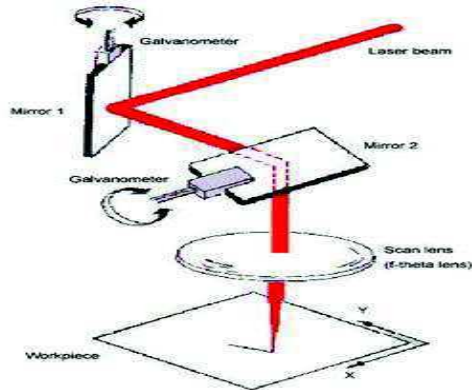
(圖一)DAQ 程式



(圖一)DAQ 程式

上圖所表示由資料擷取卡輸出類比訊號至 DAQ 軟體，分兩個方向，上半部代表一整個類比訊號一次性輸入全部的 samp，而再下半部的 loop 裡面則是將類比訊號分開，一次輸入一個 samp。

(圖二)光學振鏡掃描(2)



(圖二)光學振鏡掃描

當程式確認無誤後，就可將程式透過電腦輸入至光學振鏡，並透過掃描得到最後的二維圖形。(在進度上尚未達到此步驟)

結論

如果將實驗做到最後的步驟，就能得出最後的圖形，在實際的應用上，例如在醫學上甚至可以用於檢測小於 1mm 的腫瘤，(3)在工業加工技術上，則可以應用於機械手臂，光纖雷射做加工處理，高功率震鏡可以將雷射動態聚焦到非平面的工作位置，可以實線常工作距離和大面積區域的高功率密度掃描加工。

參考文獻

(1)

<https://www.itsfun.com.tw/%E9%9B%B7%E5%B0%84%E6%8C%AF%E9%8F%A1/wiki-2903487-8998657>

(2)

http://www.wavelab-sci.com.tw/technical_read.php?num=28

(3)

<http://www.teo.com.tw/prodDetail.asp?id=1063>

石墨烯量子點動力學行為的探討

吳冠箴 (S06210039)

指導老師:林宗欣

Email: S06210039@thu.edu.tw

摘要

我們對石墨烯量子點進行光譜測量，利用共軛聚焦顯微鏡觀察石墨烯量子點的螢光現象，並觀察在毫秒等級下的動力學行為。螢光強度在毫秒等級產生螢光瞬變，利用動力學模型分析瞬態進而獲得三重態的動力學訊息。

簡介

共軛聚合物中的單重態和三重態激子可以在某些應用中發揮作用，例如，在有機發光顯示器（OLED），太陽能電池和化學傳感器中。而會使用石墨烯量子點是因為其具有金屬量子點所不具備的其他屬性，由於石墨烯只是碳，所以GQD的毒性非低。

在此實驗，大家對三重態激子知之少，首先，因通常不能通過發射光譜直接觀察到，其次三重激子的壽命比單線態長幾個數量級，因此三線態激子比單線態更容易通過化學反應和淬滅過程激子、極化子、雜質等物質相互作用。我們可以使用聚合物的微秒至毫秒動力學的強度來分析三重態動力學，而獲得的數據可以確定三重態和單重態的相互作用速率常數。

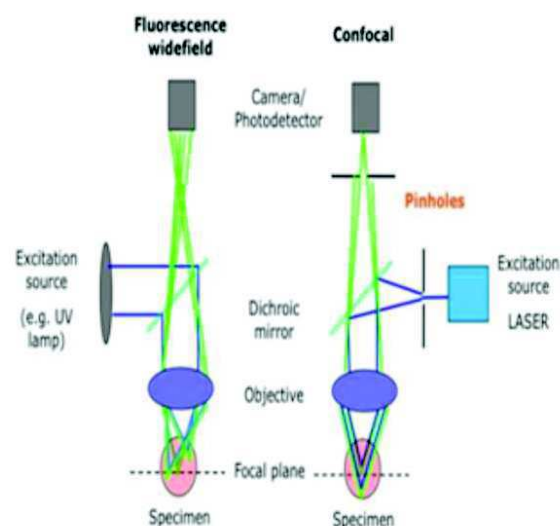
研究方法

設置一台樣品掃描共聚焦顯微鏡，樣品利用雷射來激發光致發光行為，而雷射輸出須先經過聲光調製器。聲光調製器的輸出波形為方波，

最後再將雷射打至實驗樣品上，將實驗樣品旋塗於玻片上，利用重複激發脈衝的照射，再由掃描共聚焦顯微鏡來觀察以獲得石墨烯量子點的螢光強度圖像。為了記錄發射瞬態，需將對樣品進行平移，並調整到焦距上，記錄隨時間變化的激發強度。

進度報告

學習使用共軛聚焦顯微鏡：



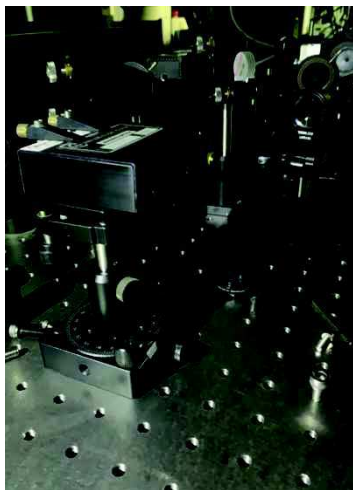
圖（一）

先將雷射射入共軛聚焦顯微鏡並將光路調整到正中央如圖（二）：



並利用 CCD 來看光強度的變化

學習完調整共軛聚焦顯微鏡後，接著學習調整雷射光路進入聲光調製器如（三）



結論：

目前實驗只是初步的了解及練習操作儀器，熟悉實驗儀器到一個段落後，將開始隨著實驗的步驟一步一步的往前進，下個階段將會觀察雷射進入聲光調製器後所輸出的波形，並記錄平均時間週期。觀察完後將開始激發樣品找尋在毫秒間的動力學行為。

參考資料：

http://abrc.sinica.edu.tw/icm/app_out/main/theorem.php

引用 Single Molecule Modulation Spectroscopy of Conjugated Polymers 此篇論文

引用 Single-Particle Spectroscopic Measurements of Fluorescent Graphene Quantum Dot 此篇論文

<https://www.ps-taiwan.org/Bimonth/images/uploafiles/files/物理雙月刊 33-2 191-256.pdf>

近軸光學隱身術

謝芊芊(S06210044)*

指導老師:林宗欣教授

*Email: S06210044@thu.edu.tw

摘要

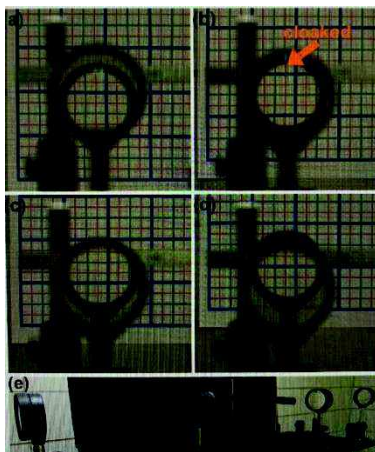
使用光學器件來描述在小角度（近軸）範圍內的所有完美光學披風。實驗裡將應用於最多四個透鏡的通用光學系統，並說明哪些系統可以視為“完美”的近軸射線披風。

簡介

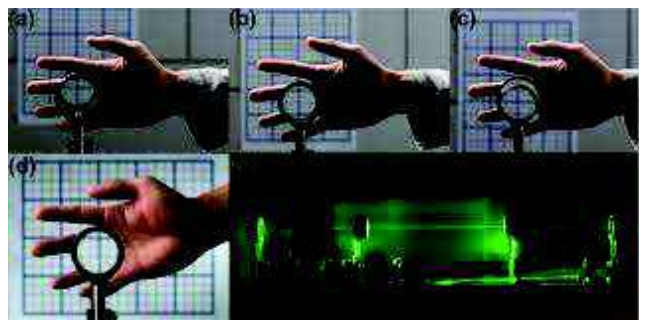
通過光學實驗證明近軸光學隱身術，證明在光剛好聚焦的點附近，在不擋住光的情況下，可以呈現隱形的效果。

研究方法

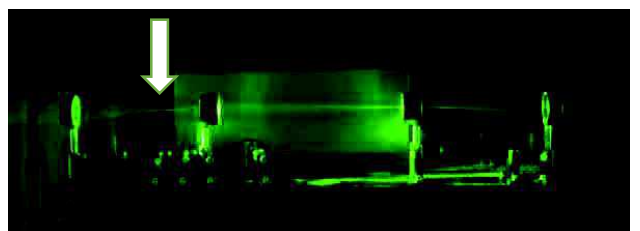
完美的射線光學披風將生成具有統一放大倍率，橫向和縱向位移為零且沒有像差（即與實際物體相比，對於所有射線位置和方向都沒有變化）的圖像。無論從上下左右看都可以顯示出效果。



如下圖，(a)-(c)圖表示這個光學系統遮蓋了不同方向的手，同時正確傳輸了背景圖像。(d)射線光學隱蔽裝置的軸向視圖。(e)使用易於獲得的光學裝置進行設置，以展示近軸隱身原理。(就是光線的聚焦路徑)■



如下圖這個實驗利用四個透鏡，兩邊放置兩個 200mm 透鏡，中間放置兩個 75mm 的透鏡，組合成的一個裝置。影像消失的位置就是光線聚焦的點上，例如第三個透鏡與第四個透鏡之間，只要物體放置的區域不遮蔽到光線，就能產生影像消失的錯覺，相當於將設備完全替換為環境介質，空間就好像被周圍的介質所取代。



結果與討論

實驗觀察發現產生此隱形效果可以經過計算得知。為了量化完美的近軸披風，假定光線與系統中心軸的偏移最小。因此，它是一個小角度近似值。在這種情況下，可以通過“ABCD”矩陣來描述光線通過光學系統的傳播。

如下算式， L 是隱身系統的長度， n 是

周圍介質的折射率。由於任何近軸系統都可以用 ABCD 矩陣寫入，因此，如果光學系統滿足並且具有隱身區域，則它是理想的近軸隱身，應該符合這個假設。因為 ABCD 矩陣的行列式要為 1，所以要滿足的條件：

1. $B = L / n$
2. $C = 0$
3. $A = 1$ 或 $D = 1$ 。

一個透鏡時，為了要讓行列式等於 1 也就是 $C=0$ ，只有在 $f = \pm\infty$ 時才可滿足，即透鏡沒有光焦度（無光）。沒有遮蓋力的區域，不會產生光圈效應。

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{\text{thin lens}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{bmatrix}$$

兩個透鏡時，僅當 $f_1 = f_2 = \pm\infty$ 時，方程式才能滿足，也不符合我們要的結果。

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-t/f_1 & t \\ -(f_1+f_2-t)/(f_1f_2) & 1-t/f_2 \end{bmatrix}$$

三個透鏡時，只有當 $t_1 = 0$ 或 $t_2 = 0$ 或 $(f_1 + f_3 - t_1 - t_2) = 0$ 此情況時，這才是正確的。前兩種情況給出了我們已經證明的兩透鏡系統不可能是完美的披風，雖然三透鏡系統也不可能是完美的披風，但它可以漸漸地接近近軸。

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_3 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & t_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & t_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$t_1 t_2 \frac{(f_1 + f_3 - t_1 - t_2)}{(f_1 - t_1)(f_3 - t_2)} = 0.$$

最後，我們考慮一個四透鏡系統。忽略前半部分所做的任何更改，以使系統表現得好像不存在一樣。這可以通過使後半部分與前半部分對稱來完成 ($f_1 = f_4$, $f_2 = f_3$, $t_1 = t_3$)。對於這樣的四透鏡 ABCD 矩陣，我們要求 $A = 1$ 和 $C = 0$ 。可以方便地滿足這兩個條件成為式子 11。

$$\begin{bmatrix} 1 & f_1(-2t_1^2 + f_1(2t_1 + t_2))/(f_1 - t_1)^2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots(11)$$

設置 $B = (2t_1 + t_2)$ ，並求解 t_2 。最後找到方程的解。如下算式，

$$L = 2t_1 + t_2 = 2f_1(f_1 + f_2)/(f_1 - f_2).$$

實驗結果得完美的近軸披風至少需要四個透鏡，但隱身的區域一定是有限的。

結論

這個實驗為近軸近似的完美披風提供了充分的代數條件，並通過實驗證明這些隱藏裝置除了隱藏物體外，還可以使障礙物後面的物體可見或使光線偏轉。

參考文獻

[1] Paraxial ray optics cloaking

探討都普勒效應

作者(S06210050)林捷穎*

指導老師:林宗欣

*Email: S06210050@thu.edu.tw

摘要

將雷射發射在轉台或旋轉盤上，將圓形紙張黏貼到旋轉的金屬板上然後觀察產生弱的反向散射光束。研究在不同轉盤的旋轉速度下所產生的都普勒效應。

簡介

研究隨著轉盤的速度增加反射出來的光束，觀察它的都普勒效應以及比較在不同轉速下所產生的波峰圖差別。在化學計量激光器的早期實驗中，作者發現了弛豫振盪頻率範圍內週期性振盪和混沌振盪的共振激發，這是由移動光散射物體的多普勒頻移注入引起的。在較寬的速度範圍內進行多普勒頻移測量。一個包含多模效應並成功解釋實驗結果的理論模型。然後我希望如果用 Labview 去模擬並使用論文上實驗所使用的條件作為模擬的參數，是否會得出同樣的實驗結果。

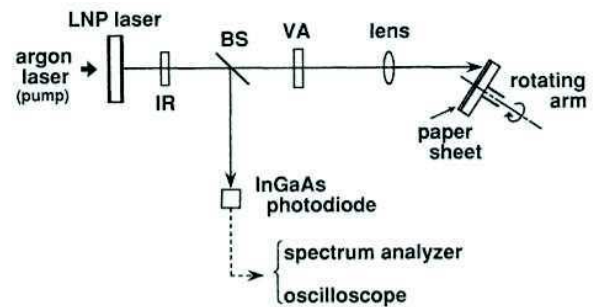
在模擬的過程中嘗試用 Labview 內不同的程式方法去得出實驗結果。

we investigated the oscillation behavior and bifurcation diagram of a route to chaos of a diode laser with optical feedback. In general, turning a table or rotating a circular paper sheet stuck to a rotating metal plate resulted in a weak backscattering beam injected into the laser system, which was a feedback beam with Doppler shift frequency. [1]

研究方法

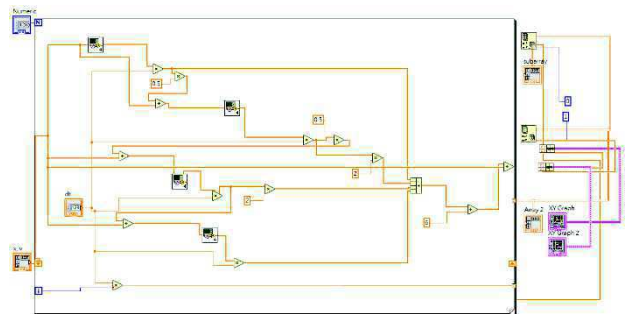
在實驗裝置上，先將一雷射經過紅外透射濾光片後再透過光分束器將光分為兩部分，一部分由光電二極體去分析並由頻譜分析儀跟示波器去呈現。而另一部分則是先經過衰減器在由透鏡折射在旋轉盤上，而由旋轉盤所反射回來的光再去給頻譜分析儀和示波器

去呈現。在電腦模擬的過程中則是先用 RK4 去處理，該方法是該方法主要是在已知方程導數和初值信息，利用計算機模擬時應用，省去求解微分方程的複雜過程。

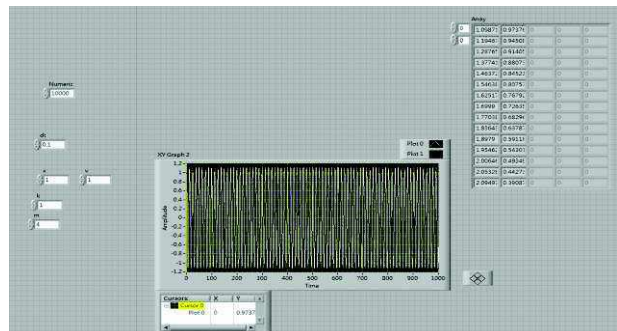


(圖一)實驗裝置

進度報告



(圖二)練習用 Labview 模擬 RK4 內部接法的結果



(圖三) 練習用 Labview 模擬 RK4 外觀的結果

結論

目前還在熟悉 Labview 裡更多程式的用法跟表示，現在只完成了如何用 Labview 去完成 RK4 的模擬。最終的目標是修改已完成的程式，並添加新的參數使模擬出來的結果會跟論文所做出來的實驗結果是吻合的。並調整更多不同的實驗條件，然後去觀察跟比較。過程中最主要的是學習數值模擬

參考文獻

- [1] Experimental Observation of Dynamical Behavior of Self-mixing by Doppler Feedback in Microchip Nd:YAG Laser。
- [2] Highly Sensitive Measurement of Doppler-Shift with a Microchip Solid State Laser。

Q: 你自己是否有意願參與第二階段 **口頭報告**?

Ans: 無意願

光學切片(optical section)

S06210057,高榮廷

指導老師:林宗欣

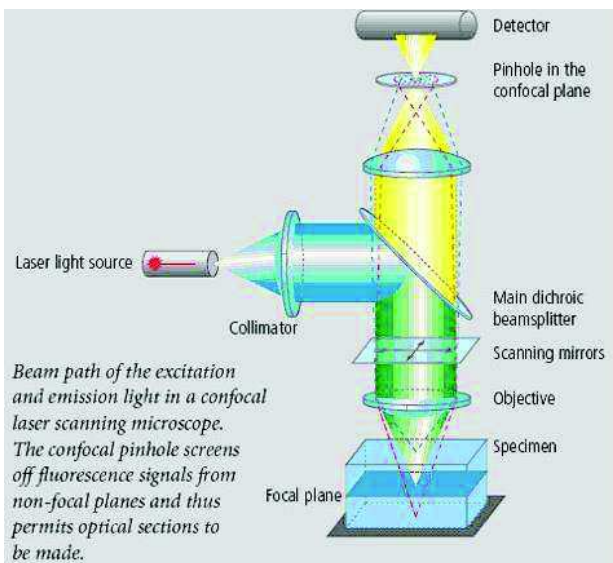
*Email: S06210057@thu.edu.tw

摘要

將 objective lens nanopositioning system 安裝在共軛焦顯微鏡上，使我們能夠以奈米尺度位移來觀察樣品，對樣品螢光的激發及發散做訊息的擷取，產生螢光澄清化的光學切片效果，提升螢光顯微影像品質。

簡介

光學切片主要是透過去除背景雜訊，獲得樣品三維信息的能力，且能透過 2D 影像澄清特性，連續擷取 Z 軸樣品圖，透過電腦軟體，組成清晰的 3D 立體影像，利用得到的螢光影像，也可以進行量測分析，例如：共定位分析，而通常使用的方法為**共軛法**。



(共焦軛顯微鏡簡圖)[1]

因此使用共軛焦顯微鏡，以點對點構成面的方式進行掃描，利用成像共焦面處的一小孔(Pinhole)，阻擋非焦面的螢光雜光進入感測器中雖然改善了掃描樣品的影像品質，此種照光角度易產生兩種缺點：(1)Z 軸越深照光度衰減越嚴重，無法取得較大型樣本(組織、胚胎……)Z 軸深處的清晰影像；(2)尚未被對

焦拍攝的 Z 軸平面亦接受照光而容易 Bleaching，對活體樣本也較容易產生光毒性，但**缺點是耗費較長的掃描時間**。

研究方法

將雷射光路經過兩反射鏡(前鏡用來調整高度、後鏡用來調整角度)調整反射鏡使光平行進入準直儀，避免光強度太強會使用減光鏡，降低光強度，如下(減光鏡圖)：



(減光鏡圖)

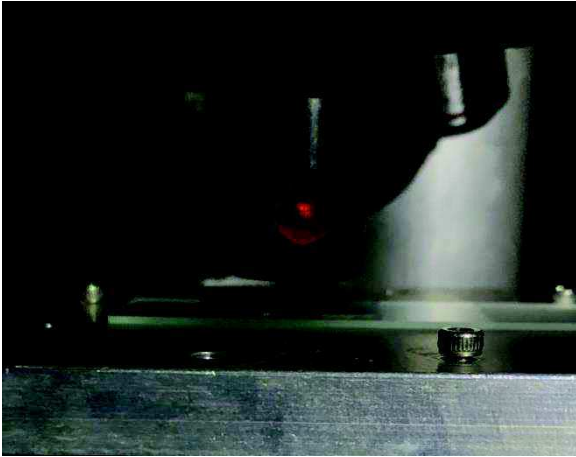
其中濾片上 ND 表示透光率，ND2 透光率為原來 $\frac{1}{2}$ ；ND4 透光率為原來 $\frac{1}{4}$ ，以此類推。

將樣品放到樣品檯上，經過各個光的反射鏡，利用共軛法，藉由控制顯微鏡上 x、y、z，找到焦聚位置將樣品成像到焦平面上，藉由光偵測器(CCD)傳輸訊息至電腦，進行掃

描，裝上奈米移動裝置到顯微鏡上，並連結至電腦，由電腦控制物鏡移動，在軟體處理，進行樣品分析。

進度報告

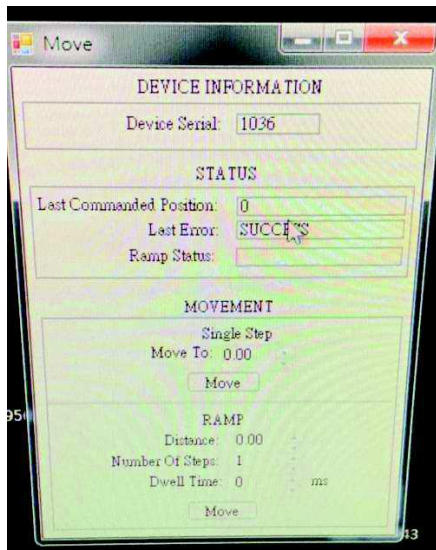
練習將光調進到靶中心，此時入射光是平行進入顯微鏡中，如下圖(一)



圖(一)

接著將練習用樣品放入，藉由電腦軟體(Nano Capture)找到光強度最高的位置，以及調整樣品檯位置，使樣品在焦聚上。

接著學習安裝 objective lens nanopositioning system，並利用電腦學習如何操作如圖(二):



圖(二)

結論

目前我的實驗進行到，將光調入顯微鏡當中，使光聚焦微鏡焦平面上，未來可放入螢光細胞，進行光學切片分析，量測分析的內容包括 Area、Threshold area、Intensity、Histogram、Profile 在一個點上，以及放入樣品使樣品呈現在顯、Colocalization、FRAP、FRET 等，在影像醫學傳統上使用的工具包含 X 光、磁振造影、超音波與核子醫學四種儀器設備，解析上只能分辨毫米級的構造；用生物體經由雷射光的照射下所自然產生的二倍頻與三倍頻訊號，進行的倍頻顯微術，能夠獲得高解析、非侵入式的虛擬光學切片。

參考文獻

- [1] http://abrc.sinica.edu.tw/icm/app_out/main/theorem.php
- [2] <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%B1%E8%81%9A%E7%84%A6%E6%98%BE%E5%BE%AE%E9%95%9C>

利用光空間調製器製作數位全像

S06210060 蕭育暉

林宗欣

*Email: s06210060@tmail.com

摘要

運用 LC 2012 SLM Configuration Manager 程式控制光空間調製器，使光穿透後形成不一樣的穿透度，也就是灰階，再用另一道同調光源的光做干涉，進而在干涉處形成一個全像。

簡介

光波在不同角度傳輸時累計相同的相位或光程所形成的等相位曲面，即稱為波前。波前帶有一道光波的資訊，若是某一波前是來自物體的反射光，波前能在不同角度於眼睛成像，即能從不同角度看到該物體，這就是三維物體的光波特性。因此我們可以了解，帶有相位訊號的波前是實際物體的重要光學訊號。我們的眼睛或是照相機只能感測到不帶有相位訊號的光強度訊號，所以一個相機所拍攝的影像都只有某個特定角度的二維訊號。如果我們能藉由將一個物體的波前訊號重建出來；該重建的波前夠寬廣，我們就有機會可以看到其不同角度的影像，這種以波前重建來展示原物體三維訊號的方法，稱之為「全像術」，或稱為全像光學，而這種展現波前訊號的光學元件就稱為全像片。

全像術的起源：全像光學是在 1948 年由匈牙利裔的英國科學家蓋博(Dennis Gabor)所發表。全像片的形成一般是要以解析度超高的底片來記錄光波的干涉條紋，而該干涉條紋是由物光與一個容易取得的參考光干涉而成的；同時，若要重建原物體波前時，則需要以原參考光來照射，藉由底片的極細紋路的繞射來產生波前的重建。在進行全像拍攝時，這物光與參考光的光程差一旦超過光波的同調長度(coherent length)，干涉條紋將因為有極快晃動而無法被底片紀錄，因此，

同調光源是全像術的一個必要條件。雷射的發明所帶來的第一個重要貢獻，就是科學上終於取得足夠好的同調光源。蓋博所發明的全像片屬於同軸(in-line)全像片，但是蓋博的同軸全像有個缺點，在重建時，原來用來照射全像片的參考光，與重建時產生的原物體波前(虛像)與伴隨產生的原物體波前的共軛波(conjugate wave, 實像)皆在同一個光軸上，非常難以觀察(當時還沒有雷射光的發明)。

離軸式全像術：1962 年由美國密西根大學的利思(Emmett Leith)與特尼克斯(Juris Upatnieks)提出的離軸式(off axis)全像術。這種方法的特色是物光與參考光的方向不在同一個軸上，而是夾一個角度。當角度越大時，直接的穿透光與被重建出來的光波就有機會完全分開來，也就是被重建的波前不再與入射光夾雜在一起。這樣的光學架構就需要同調長度更長的光源，雷射光可以達成這目標。

研究方法

先用電腦程式學會精確的控制光空間調製器，選用 633nm 的雷射光做穿透，控制 0 階~255 階間的灰階(gray level)，可控制多少光被濾掉，控制亮與暗處。接下來用同調光源從不同角度做干涉，進而形成

數位全像。該技術是一種記錄被攝物體反射光波中全部訊息的照相技術，並結合雷射攝影術與影像轉換術產生出的商品，其圖案的色彩具有3度空間的虛擬立體效果。全像片最大的缺點，是必須有足夠的光源與適當的角度才能展現其特色，因此終究必須與傳統印刷結合。

進度報告

本實驗的基礎為利用 LC 2012 SLM Configuration Manager 程式控制光空間調製器，進而達到想呈現的全像哪裡亮哪裡暗的效果，光空間調製器是一種可編程、可使光波在時間及空間上動態改變其特性的器件；光空間調製器可以機輸入光波信號用函數關係調製輸出光信號。目前實驗進度還在熟悉此程式，無法熟練地控制此光空間調製器。



(圖一)光空間濾波器

結論

我接下來的研究方向是把如何熟悉的操作 LC 2012 SLM Configuration Manager 程式的方法訓練好，才能有接下來的找同調光源的干涉角度及如何呈現最後的數位全像。

參考文獻

- [1] <https://kknews.cc/zh-tw/news/4nkn16x.html>
- [2] <http://scimonth.blogspot.com/2017/02/bl>

[og-post 27.html](#)

- [3] <http://www.phys.ncku.edu.tw/~optlab/modernoptics/hologram1/preindex.htm>

- [4] https://www.digitimes.com.tw/tw/dt/n/shwnws.asp?id=0000432550_zf74f62o6ul3z5ldy7bpq

<http://www2.nsysu.edu.tw/optics/holography/hologra.htm>

利用反向製程製作高分子發光二極體

廖智惶(S05211035)

黃家逸教授

S05211035@thu.edu.tw

摘要

由於在有機發光元件中，元件的外部量子效率會因為有機層和玻璃基板等高折射率材料的影響，因此如何提高元件的光取出效率一直是相關領域研究團隊相當重視的一個課題。

過去常見製程中，因為在聚合物發光二極體 (polymer light-emitting diode) 在結構堆疊上發光方向會經過玻璃基板，導致出光效率有所削弱。本課題利用反向製程改變了 PLED 的出光方向，使光線不會困於玻璃中，進而增加 PLED 之光取出效率。此製程有兩項優點：(1)在未增加成本的狀況下增加其外部量子效率 (2)大面積製備容易。這兩項優勢對於元件製備上及出光表現有較佳的結果。

我們對於發光層施予不同的旋轉塗佈參數，分別為 6000 rpm、7000 rpm 以及 8000 rpm，並且製作了反向流程的 PLED 發光元件以及正向流程 PLED 發光元件，找出最佳化的 J-V-L curve。實驗結果發現，在正向流程與反向流程中，當發光層的轉速為 8000 rpm 時(厚度 32 nm)，前者元件在 22 V 時擁有 72 cd/m² 的最大亮度，以同值最大亮度來比較後者 14 V 即可得到同等亮度，此外亮度表現上在 17 V 時達到 96 cd/m² 的最大亮度，亮度峰值表現上有 30% 的亮度增益。

由上述研究結果顯示，我們成功製備反向製程的 PLED 發光元件，透過改變元件發光方向，以及簡易、低成本製備的方式下，做到低電壓且擁有較好的光取出效率。

關鍵字:高分子發光二極體、反向製程、間歇式薄膜成長、旋轉塗佈、光取出效率

高分子發光二極體(PLED)簡介

PLED 為 polymer light-emitting diode 的縮寫，稱為高分子發光二極體 (PLED)，由英國劍橋大學的杰里米伯勒德及其同事首先發現 [1]。聚合物大多由小的有機分子以鏈狀方式結合在一起，以旋塗法形成高分子有機發光二極體。PLED 作為 OLED 的重要分支，兼具了 LCD 的輕薄、省電、高解析顯示、主動發光、高應答速率、省電冷光源等技術外，由於本身製程具有

低成本、光色調變容易、應用於可撓曲性面板等多項特點。

正向高分子發光二極體樣品製作

濕蝕刻 (Wet etching)

將大小為 2.5 cm×2.5 cm 的 ITO 玻璃基板使用 PI 膠帶將玻璃的中間以長條形黏住達到保護的效果再將玻璃浸泡在 ITO 蝕刻液中浸泡約 15 分鐘後取出 ITO 玻璃，兩側未被膠帶保護的 ITO 將會被蝕刻掉留下中間被膠帶保護住的長條形部分，剩下的長條形 ITO 部分將會成為此實驗的陽極。

電漿清洗 (Plasma cleaning)

完成蝕刻製程後會使用濺鍍機在 ITO 玻璃表面打上電漿不僅能達到表面清潔的動作還能將 ITO 做介面改質使後續製程和 ITO 的相容性更高

旋轉塗佈 (Spin coating)

將清洗過後的 ITO 玻璃放置在旋轉塗佈機上使用 PEDOT (厚度 48 nm) 作為我們的電動傳輸層 (HTL) 以初轉 (1000 rpm, 3 sec), 二轉 (3000 rpm, 20 sec) 的方式塗佈後, 使用加熱平台以 (100 °C, 2 min) 進行軟烤後, 在放置回旋轉塗佈機上使用 PFO 混合甲苯作為我們的發光層 (EL) 以初轉 (1000 rpm, 3 sec), 二轉 (6000 rpm (厚度 52nm)、7000 rpm (厚度 46nm)、8000 rpm (厚度 32nm), 3 sec) 的方式塗佈後, 再次利用加熱平台以 (100 °C, 2 min) 進行軟烤, 即完成塗佈。

熱蒸鍍 (Thermal evaporation)

將氟化鋰透過熱蒸鍍的方式將其蒸鍍在 PFO 上作為電子傳輸層幫助電子注入發光層, 厚度約略為 30nm, 最後鍍上 Al (厚度 100 nm) 作為陰極通入電子, 破真空後即取得元件。

結論

本研究將結構從原先的正向製程 ITO → PEDOT:PSS → PFO → LiF → Al 改為反向製程 Al → LiF → PFO → PEDOT:PSS → ITO, 並且利用間歇式薄膜成長[2] (intermittent growth) 的方法使氧化銻錫 (Indium Tin Oxides) 在未退火的狀態下也能維持較好的電性(片電阻值為 23 Ω/cm²)。利用反向製程改變了 PLED 的出光方向,

使光線不會困於玻璃中, 進而增加 PLED 之光取出效率。

我們對於發光層施予不同的旋轉塗佈參數, 分別為 6000 rpm、7000 rpm 以及 8000 rpm, 並且製作了反向流程的 PLED 發光元件以及正向流程 PLED 發光元件, 找出最佳化的 J-V-L curve。實驗結果發現, 在正向流程與反向流程中, 當發光層的轉速為 8000 rpm 時, PLED 具有較優異的發光強度和出光效率。

從正向製程之亮度-電壓圖中可知道, 電壓需要達到 22 V 時擁有 72 cd/m², 反向製程之亮度-電壓圖中可知道, 電壓於 14 V 即可得到同等亮度, 此外亮度表現上在 17 V 時達到 96/m² 的最大亮度, 亮度峰值表現上有 30 % 的亮度增益。而且在正向製程之電流密度-電壓圖中可看到, 電壓於 22 V 時電流密度只能達到 43 mA/m² 的最大電流密度, 而反向製程之電流密度-電壓圖中, 電壓於 15 V 即可得到同等電流密度, 此外在 17 V 時達到 52 mA/m² 的最大電流密度, 電流密度峰值表現上有 20% 的增益。由上述結果可知, 反向製程比起正向製程具有較大的亮度以及電流密度。

參考文獻

- [1] J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Mackay, R. H. Friend, P. L. Burns, and A. B. Holmes (1990) "Light-emitting diodes based on conjugated polymers," Nature 539-541.

利用具有網格之液晶薄膜檢測有機溶液及氣體

李鼎燊(S05212001)*

黃家逸 副教授

*dicksonlee870404@gmail.com

摘要

本實驗題目為「利用具有網格之液晶薄膜檢測有機溶液及氣體 Organic solvents detectors using TMPTA /liquid crystal composited films」，液晶薄膜是由高分子單體 Trimethylolpropane triacrylate (TMPTA)、向列相液晶(HTW114200-100)以及光啟始劑 IRG184 三種材料所組成。利用黃光微影讓光阻在玻璃基板上產生網格圖案化，之後和一具有水平配向的玻璃基板進行封盒，接著灌入液晶並利用照射紫外光，最後三種材料形成液晶薄膜。拆盒後，將丙酮、純酒精以及甲苯各別放置在液晶薄膜上，量測紅光雷射穿透液晶薄膜後光強度對時間的變化。

簡介

液晶，又稱為液態晶體(liquid Crystal)，為相態的一種，具有特殊的光電特性。液晶相需具有特殊形狀分子組合時才會產生，具流動性，又擁有在較低溫度正長常結晶的光學性質，而不同種類的液晶則須在各自對應的溫度範圍內才可實現液晶相。而液晶的組成物質為有機化合物，若同時具有兩種物質的液晶，便是以分子間力量組合而成。液晶對電磁場極為敏感，具有很高的實用價值。而高分子液晶薄膜，是指當在非交聯型態時的液晶聚合物經適度交聯，並經由方形盒狀聚合於內部之片狀聚合物。液晶薄膜包含了液晶的各向異性及聚合物的橡膠彈性，因此具有良好的外場回應性、分子協同作用和彈性。

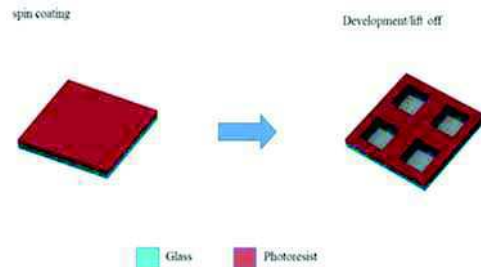
研究方法

(1) 配製液晶混合液

使用向列型液晶 HTW，液晶高分子材料 TMPTA、光起始劑 IGACURE® 184。

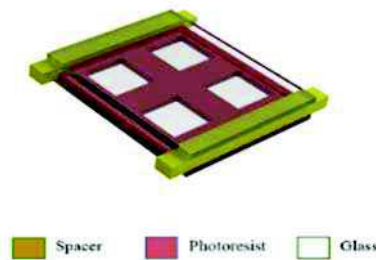
將以上三種材料按比例配製成液晶混合液(65% TMPTA / 33% HTW / 2% 光啟始劑)。

(2) 黃光微影製程



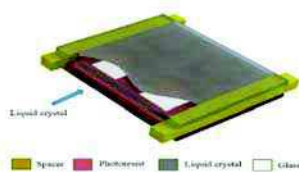
圖一：網格黃光微影製程。

(3) 液晶盒製作



圖二：液晶封盒組裝。

(4) 固化液晶薄膜

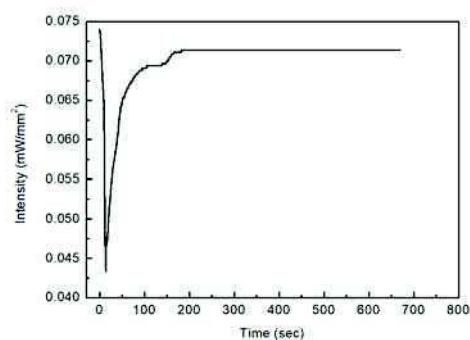


圖三：灌入液晶並照射 UVA 波段紫外光使其成膜。

結果與討論

丙酮溶劑

有網格薄膜因含有柱狀結構，無論是液體在薄膜中開始反應造成光散射的程度，抑或是溶液揮發後光強度逐漸增加的情形，雷射光強度變化量皆明顯多於無網格薄膜。有網格薄膜因接觸面積較多，溶液對薄膜的反應時間也少於無網格薄膜。整體而言，丙酮溶液在有網格薄膜上的光強度變化量最為顯著。

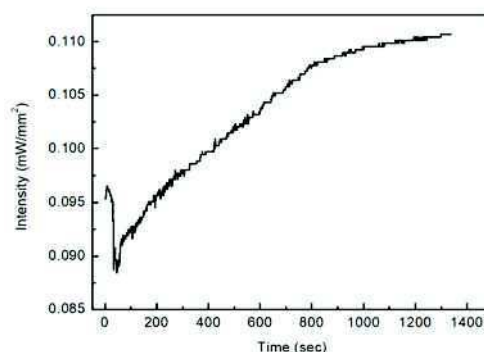


圖四.丙酮噴灑在有網格薄膜上強度對時間的反應圖。

丙酮蒸氣

丙酮溶液的沸點為 56°C ，在恆溫 70°C 的反應下，從 0 秒開始散發丙酮蒸氣，在蒸氣持續的接觸薄膜的情況下，丙酮蒸氣會造成光強度的散射，光強度

也開始下降。薄膜內部的液晶分子持續受到蒸氣的影響造成配向的變化，造成光強度再度上升。



圖五：有網格薄膜檢測丙酮蒸氣。

結論

本專題研究了液晶薄膜對化學溶液的反應機制，發現了液晶薄膜與化學溶液反應後會產生穿透率有明顯改變的光學特性。另外我們在薄膜表面利用黃光微影技術製作網格圖案，希望能透過黃光製程做出帶有柱狀的液晶薄膜，讓溶液能接觸到更多(深入)的面積，以藉此做出更高靈敏度的薄膜，同時也有節省成本的概念。

參考文獻

- [1] C. K. Chang, H. L. Kuo, K. T. Tang, and S. W. Chiu, "Optical detection of organic vapors using cholesteric liquid crystals," *Applied Physics Letters* 99, 073504 (2011).
- [2] Y. Inoue, Y. Atsumi, A. Kawamura, T. Miyata, "Thermoresponsive liquid crystalline polymer membranes that undergo phase transition at body temperature," *Journal of Membrane Science* 588, 117213 (2019).

利用具有光阻網格垂直配向液晶樣本優化檢測汞離子水溶液

劉原銘(S05212002)*

黃家逸 副教授

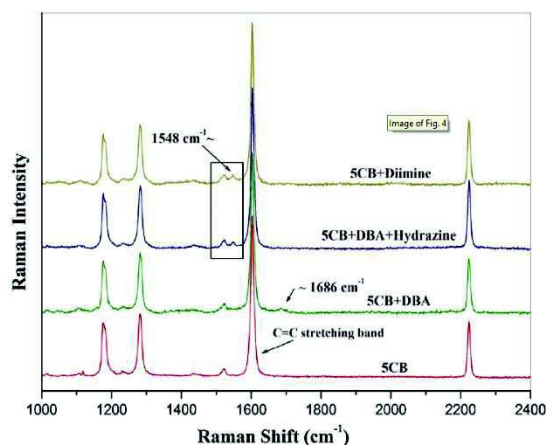
*Email: s05212002@thu.edu.tw

摘要

本專題的題目為「利用具有光阻網格的垂直配向液晶樣本優化檢測汞離子水溶液」。滴入不同濃度 Hg^{2+} 水溶液在偏光顯微鏡中觀察亮暗態變化並且找出檢測極限。最後，將樣本放至在氬氬雷射($\lambda = 633 \text{ nm}$)光路中，量測 Hg^{2+} 水溶液濃度之樣本的光穿透率。

簡介

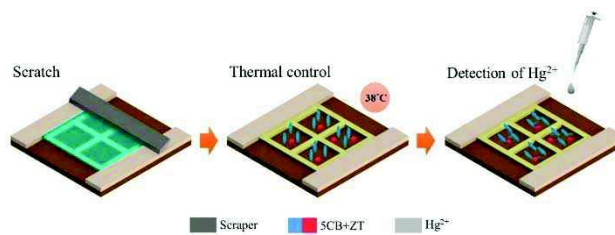
在現代工業發展非常迅速，造成的負面影響，例如空汙、水汙.....等。工廠排放大量含汞廢水，在日本九州熊本縣發生的「水俣病」，成因是汞中毒，不久後在新瀉縣發生第二次汞中毒的危害，患者輕則手足麻痺、失智、聽力及語言障礙；重責痙攣、精神錯亂，最後導致死亡，至今仍無方法治療。本專題將會製做出高敏感度、裸眼辨識、方便攜帶且即時檢測的光阻網格樣本，為人們的安全和生態環境把關[1]。在參考文獻[2]中，利用銅網格加入 5CB 摻有 4-decyloxy benzaldehyde (DBA) 的液晶進行聯氨氣體的檢測，並使用拉曼光譜儀進行材料的頻譜分析。實驗的進行方式為，將玻璃基板沉積垂直配向膜(DMOAP)，然後銅網格放置在基板上，並滴入 5CB+DBA 進行液晶配向，使用偏光顯微鏡觀測是否配向成功，即呈現暗態。將製作完成的樣本置於充滿聯氨氣體的腔體 30 分鐘，再次使用偏光顯微鏡觀測，樣本呈現亮態。重複實驗，陸續降低聯氨氣體的濃度，利用偏光顯微鏡拍照紀錄。分別將檢測不同濃度聯氨氣體的偏光顯微鏡圖片灰值化，利用 Adobe Photoshop 分析亮態區域的亮度。最後使用拉曼光譜儀分析 5CB、5CB+DBA 和 5CB+DBA+Hydrazine，分析 DBA 與 Hydrazine 反應產生的鍵結，如圖一。



圖一：拉曼光譜各別分析 5CB、5CB+DBA、5CB+DBA+Hydrazine、5CB+Diimine(DBA 與 hydrazine 反應後的新鍵結)。

研究方法

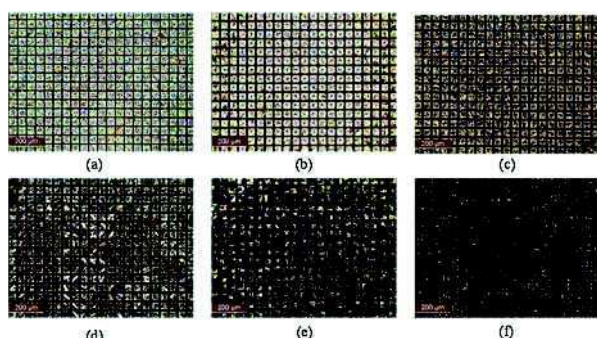
滴入 Hg^{2+} +SDS 於光阻網格樣本上，靜置幾分鐘後，當 Hg^{2+} 與 ZT 結合，複合分子由於重力作用擾動 5CB 的垂直排列，導致樣本在正交的偏光顯微鏡下觀察呈現亮態，若沒有則保持暗態，如圖二



圖二：樣本製程。

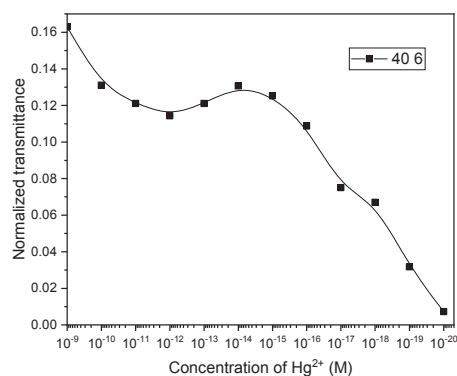
結果與討論

將 5CB+ZT 溶液填入光阻網格中，接著在偏光顯微鏡下檢測不同濃度的 Hg^{2+} 水溶液，由 10^{-9} M 逐漸降低至樣本的檢測極限。根據圖三(a)至圖三(f)，隨著 Hg^{2+} 水溶液濃度逐漸下降，樣本在偏光顯微鏡下的亮態均勻性也逐漸降低，尤其在檢測 10^{-20} M Hg^{2+} 水溶液時，暗態面積遠大於亮態面積。因此，此光阻網格樣本的檢測極限為 10^{-19} M Hg^{2+} 水溶液。



圖三. 利用偏光顯微鏡下檢測(a) 10^{-9} M、(b) 10^{-12} M、(c) 10^{-16} M、(d) 10^{-17} M、(e) 10^{-19} M 以及 (f) 10^{-20} M 的 Hg^{2+} 水溶液。

圖四為光阻網格樣本在不同 Hg^{2+} 水溶液濃度 (10^{-9} M 至 10^{-20} M) 下的穿透率。黑色點為實驗數據。當 Hg^{2+} 水溶液濃度降低時，樣本的穿透率也隨之減少。這個結果與偏光顯微鏡下看到的結果[圖三(a)至圖三(f)]相同。當 Hg^{2+} 水溶液濃度降低時，在每個光阻網格單元內的 Hg^{2+} 離子也越少。由於 ZT 無法和足夠多的 Hg^{2+} 結合，因此被擾動的液晶分子數量降低，暗態的面積就逐漸大於亮態面積。



圖四: 光阻網格樣本檢測 10^{-9} M 至 10^{-20} M Hg^{2+} 水溶液濃度之光穿透率圖。

結論

本專題研究利用具有光阻網格的垂直配向之液晶樣本檢測 Hg^{2+} 水溶液。相較於銅網格而言，光阻網格上的 DMOAP 分子對液晶的垂直配向能力較大，因此在偏光顯微鏡下的光阻網格邊角具有較優異的暗態。光阻網格樣本的亮暗態對比度高，裸眼便能明確地分辨待測 Hg^{2+} 水溶液。光阻網格樣本具備其他優點，包括環保、高敏感度、即時檢測、可調式尺寸、輕便攜帶、實用性高以及操作簡單。

參考文獻

- [1] Chen Chih-Hsin, Lin, Yi-Cheng, Chang, Hao-Hsiang and Lee Adam Shih-Yuan, "Ligand-Doped Liquid Crystal Sensor System for Detecting Mercuric Ion in Aqueous Solutions," *Analytical Chemistry* 87, 4546 (2015)
- [2] LV Pengyu and XUE Yahui, DUAN Huiling, "Stability and evolution of liquid-gas interfaces on superhydrophobic surfaces," *Advances in Mechanics* 46, 201604 (2016)

具有網格之平面隱形眼鏡膜開發溼度感測器

王亭勻(S05212031)*

黃家逸 教授

*Email: s05212031@thu.edu.tw

摘要

使用黃光微影技術圖案化在塑膠基板上的光阻，接著把此塑膠基板與另一片玻璃基板封成空盒，將隱形眼鏡膜液灌入空盒中，拆盒後即可得到具有網格結構的平面隱形眼鏡膜。將具有網格結構的平面隱形眼鏡膜浸泡在三種水溶液中(包含水、75%酒精以及99%酒精)，等待一段時間後，將隱形眼鏡膜自溶液中拿起，並於空氣中放置一段時間後，量測此膜在不同溶液下的繞射強度以及繞射角度。

一. 簡介

繞射光柵 (diffraction grating) 是光柵的一種。是當光源在經過規律排列的狹縫或小孔洞時，使光波產生相位或振幅改變的光學元件。它通過有規律的結構，使入射光的振幅或相位，亦可同時受到周期性空間調製。繞射光柵在光學上的最重要應用是作為分光器件，常被用於單色儀和光譜儀上。而相較透射與反射光柵，反射光柵則是備應用較廣泛。

二. 研究方法

高分子的溶解是一個相對緩慢的過程，可分為溶脹和溶解兩個階段，溶脹是指溶劑分子擴散進入高分子內部，使其體積膨脹的現象。溶脹是高分子材料特有的現象，其原因在於溶劑分子與高分子尺寸相差懸殊，分子運動速度相差很大，溶劑分子擴散速度較快，而高分子向溶劑中的擴散緩慢。

[1]

三. 結果與討論

3.1 三維繞射光強度分佈比較圖

圖 1 至圖 4 為圖案化平面隱形眼鏡膜在光束剖析儀分析下的三維繞射強度分佈圖。由圖 3 和圖 4 可觀察到，浸泡過 75% 和 99% 酒精的隱形眼鏡膜之零級繞射光沒有變

化。圖 2 至圖 4 可觀察到，一級繞射光則是在滴入水、75% 酒精和 99% 酒精後皆有大幅度的上升。此外，浸泡過不同溶液後，隱形眼鏡膜的繞射光點間的距離會變大，換句話說繞射角度增加。而浸泡過溶液的隱形眼鏡膜之光斑以及光強度的改變可歸因於隱形眼鏡膜的溶脹。

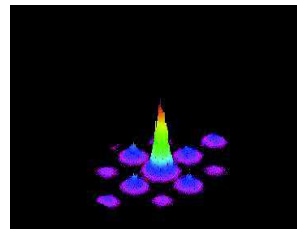


圖 1. 未經過溶液浸泡之隱形眼鏡膜的三維繞射圖。

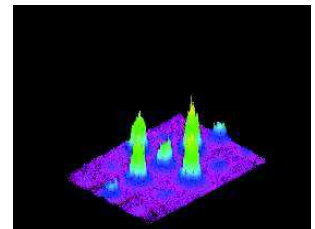


圖 2. 經過水浸泡之隱形眼鏡膜的三維繞射圖。

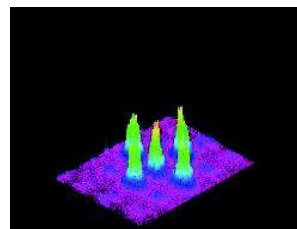


圖 3. 經過 75% 酒精浸泡之隱形眼鏡膜的三維繞射圖。

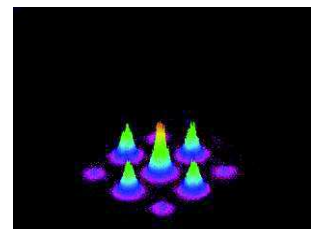


圖 4. 經過 99% 酒精浸泡之隱形眼鏡膜的三維繞射圖。

3.2 溶液對隱形眼鏡膜繞射光強分析

首先，比較各個樣本的零級繞射光強度。觀察到未經過溶液浸泡的隱形眼鏡膜之零級繞射光強度為 6 W/cm^2 ，但是經過溶液浸泡過後的隱形眼鏡膜之零級繞射光強度落在 2 W/cm^2 至 2.5 W/cm^2 之間。因此，經過溶液浸泡過後，隱形眼鏡膜之零級繞射光強度變弱。接著，比較各個樣本的一級繞射光強度。未經過溶液浸泡的隱形眼鏡膜之一級繞射光強約 1.5 W/cm^2 ，而經過溶液浸泡過後的隱形眼鏡膜之一級繞射光強度落在 1.5 W/cm^2 至 2.5 W/cm^2 之間。因此，經過溶液浸泡過後，隱形眼鏡膜之一級繞射光強度變強。由零級繞射光強度的變弱以及一級繞射光強度的變強可以得知，繞射光有從零級繞射光轉移至一級繞射光的現象。[2]

圖 5 為未經過溶液浸泡的薄膜之原子力顯微鏡圖，圖 6 為經過水浸泡的薄膜的原子力顯微鏡圖。由圖 7 得知，經過水浸泡後的薄膜表面形成許多孔洞。這是因為水分子進到平面隱形眼鏡膜中造成溶脹，過度延展隱形眼鏡的網絡(Network)，當水分揮發後，導致孔洞的形成。相反地，未經過溶液浸泡的薄膜具有較均勻的表面，如圖 5。

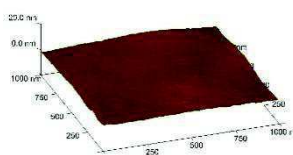


圖 5. 未經過溶液浸泡的薄膜之原子力顯微鏡圖。

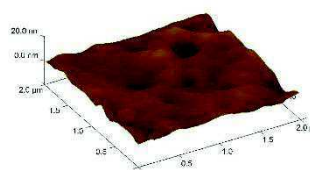


圖 6. 經過水浸泡的薄膜之原子力顯微鏡圖。

結論

實驗結果發現，未浸泡溶液的隱形眼鏡膜之零級繞射光強度高於一級繞射光強度，然而浸泡過水的隱形眼鏡膜之一級繞射光強度高於零級繞射光強度。這個結果起因於隱

形眼鏡膜在水中的溶脹效應以及隱形眼鏡膜具有保水的特性。當隱形眼鏡膜浸泡在水中時，膜中的網絡結構會被水分子撐開，導致隱形眼鏡膜在水中取出後具有需多小孔洞，這些小孔洞導致隱形眼鏡膜的折射率下降。[3]當隱形眼鏡膜自水中取出並放置一段時間後，由於其保水的特性使得其網絡結構依然含有些許的水分，所以隱形眼鏡膜所處的環境折射率增加。再者，隱形眼鏡膜折射率的下降以及其所處環境折射率的增加導致零級繞射光減弱而一級繞射光增強。此外，浸泡 99%酒精的隱形眼鏡膜之零級繞射光強度高於一級繞射光強度，然而浸泡 75%酒精隱形眼鏡膜之一級繞射光強度高於零級繞射光強度。這是結果起因於 75%酒精比起 99%酒精含有較多的水分。[4] 實驗結果得知平面隱形眼鏡膜對水分具有高度敏感性，期望藉由此特性開發為集水氣應用在惡劣的環境中。

參考文獻

- [1] J. S. Papanu, D. S. Soane, A. T. Bell, and D. W. Hess. "Transport models for swelling and dissolution of thin polymer films," *Journal of Applied Polymer Science*. 38, 859 (1989).
- [2] Vincent Odent, Ernesto Berrios-Caro, and Marcel G. Clerc. "Harnessing diffraction grating in an in-plane switching cell submitted to zigzag lattice," *Journal of Applied Optics*. 55, 28 (2016).
- [3] W. R. Klein & B. D. Cook, "Unified Approach to Ultrasonic Light Diffraction" *IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics* 14, 123 (1967).
- [4] Nobuhiro Kawatsuki and Masao Uetsuki. "Method for manufacturing phase gratings of a combination pattern-refraction modification type." *European Patent EP0220652B1* (1986).

“論文專題”評分項目

書面報告	6分 8分 10分	口頭報告	6分 8分 10分
表達邏輯、清晰度	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	表達邏輯、清晰度	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
整體組織	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	整體組織	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
資料完整度、正確性	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	ppt 內容	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
研究方法適當性、困難度	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	對研究方法的熟悉度	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
成果/進度	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	相關原理認知度	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

具有碗狀結構的共平面切換電極之藍相液晶盒

馬翊宸(s05212036)*

黃家逸 副教授

*Email: s05212036@thu.edu.tw

摘要

本實驗製作了共平面切換電極(in-plane-switching, IPS)以及具有高深寬比的碗狀結構共平面切換電極(Bowl-type IPS, BIPS)。利用兩種電極封盒並灌入藍相液晶並進行量測，比較它們的驅動電壓和反應時間。實驗中 BIPS 藍相液晶盒的驅動電壓為 42 V，IPS 電極的藍相液晶盒為 69 V，BIPS 電極具有高深寬比從而能為液晶盒內的藍相液晶分子提供較強的橫向電場。兩者的反應時間皆為 2.2 ms，因為微米尺度的 BIPS 電極無法將藍相液晶切割成奈米尺度的晶格，所以藍相液晶的晶格不會受到太大的影響，因此反應時間不會改變。

簡介

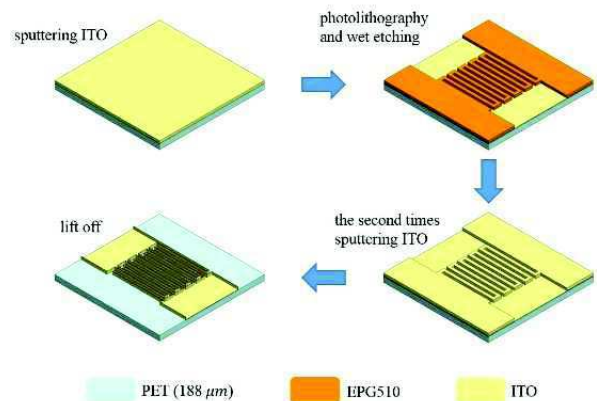
液晶顯示器(Liquid crystal Display, LCD)已廣泛使用在許多的電子裝置上，然而仍然具有反應時間緩慢的缺點。近期科學家發現藍相液晶(Blue phase LC, BPLC)擁有快速的反應時間以及無需配向的優點[1-2]。然而，藍相液晶的高驅動電壓的缺點一直無法被有效克服。

本專題研究製做具有碗狀結構共平面切換(Bowl-type in-plane-switching, BIPS)電極的藍相液晶盒以及具有 IPS 的藍相液晶盒。實驗結果發現，前者液晶盒的驅動電壓小於後者液晶盒大約 40%。因此，BIPS 電極能夠有效降低藍相液晶盒的驅動電壓。這是因為 BIPS 電極提供強大的橫向電場驅動藍相液晶分子轉動。

研究方法

使用磁控濺鍍機在塑膠基板上沉積 500 nm 的 Indium Tin Oxide (ITO)薄膜。接著於 ITO 薄膜上塗佈 EPG510 正光阻。將樣本進行軟烤，再利用紫外光對樣本進行曝光 20 秒。將曝光完成的塑膠基板使用顯影劑進行顯影。顯影完成後，使用 RO 水定影。最後，可得到電極圖案的光阻。接著使用濕蝕刻法將 ITO 薄

膜蝕刻成電極圖案，再透過第二次黃光微影將光阻圖案對位在具有電極圖案的 ITO 薄膜上。對位完成後，即可進行第二次 ITO 薄膜沉積。將沉積完 ITO 的塑膠基板，使用舉離法 (lift-off) 把有光阻圖案的部分去除，即可得到 BIPS 電極，如圖一。IPS 電極的製作方法也如同 BIPS 電極。

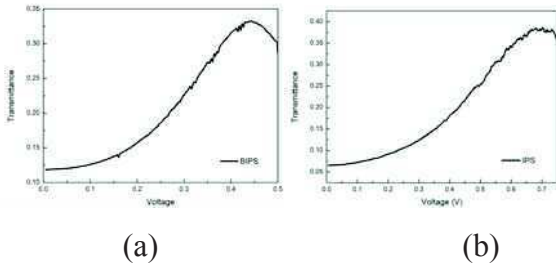


圖一：具有碗狀結構共平面切換電極的製作流程圖。

將清洗過後的素玻璃與 BIPS 電極組裝成空盒，在其中灌入藍相液晶。將藍相液晶加熱至 33°C，使其呈現各向同性，然後以 0.1°/min 降溫速度降溫至 24.5°C，再用強度為 2 mW/cm² 的 UV 光對樣本進行固化。最後，即得到具有 BIPS 電極的藍相液晶盒。

結果與討論

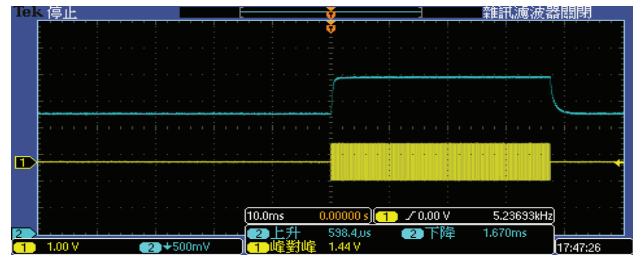
本實驗中，IPS 電極寬度為 $10\ \mu\text{m}$ ，電極間距為 $10\ \mu\text{m}$ ，電極高度為 $100\ \text{nm}$ ，液晶層厚度為 $10\ \mu\text{m}$ 。在 BIPS 電極的實驗中，電極寬度為 $10\ \mu\text{m}$ ，電極間距為 $10\ \mu\text{m}$ ，電極高度為 $10\ \mu\text{m}$ ，液晶層厚度為 $10\ \mu\text{m}$ 。



圖二: (a) IPS 電極藍相液晶盒和(b)BIPS 電極藍相液晶盒的穿透率對電壓關係圖。

圖二(a)與圖二(b)分別 IPS 電極藍相液晶盒和 BIPS 電極藍相液晶盒的穿透率對電壓關係圖。實驗結果發現，BIPS 電極藍相液晶盒的驅動電壓為 $42\ \text{V}$ ，而 IPS 電極藍相液晶盒的驅動電壓為 $69\ \text{V}$ 。因此，前者的驅動電壓相較於後者顯著下降。這因為 BIPS 電極為高深寬比的結構，所以 BIPS 電極在藍相液晶盒中提供的橫向電場強度比 IPS 電極提供的橫向電場強度較大。由於較強的橫向電場強度使得光經過液晶層具有較大的相位差，所以具有 BIPS 電極的藍相液晶盒擁有較低的操作電壓。

接著，對兩個藍相液晶盒進行了反應時間的量測。輸入給具有 IPS 電極的藍相液晶盒之操作電壓為 $69\ \text{V}$ ，輸入給具有 BIPS 電極的藍相液晶盒之操作電壓為 $42\ \text{V}$ ，波型皆為方波，頻率皆為 $1\ \text{kHz}$ 。IPS 電極藍相液晶盒以及 BIPS 電極藍相液晶盒具有相近的反應時間(約為 $2.2\ \text{ms}$)，分別如圖三(a)與圖三(b)。



圖三: (a) IPS 電極藍相液晶盒的反應時間。



圖三: (b) BIPS 電極藍相液晶盒的反應時間。

結論

上述實驗結果可以得出，將 IPS 電極改為 BIPS 電極結構，能夠將操作電壓由 $69\ \text{V}$ 降低至 $42\ \text{V}$ ，而且藍相液晶的反應時間不會受到影響。雖然還高於商用液晶驅動晶片的電壓($10\ \text{V}$)，但 BIPS 電極能夠降低藍相液晶的驅動電壓。未來，減少電極間隙或使用 Kerr 常數大於 $10\ \text{nm}\ V^{-2}$ 的藍相液晶能夠進一步降低驅動電壓。

參考文獻

- [1] M. Kim, M. S. Kim, B. G. Kang, M. K. Kim, S. Yoon, S. H. Lee, Z. Ge, L. Rao, S. Gauza, and S. T. Wu, "Wall-shaped electrodes for reducing the operation voltage of polymer-stabilized blue phase liquid crystal displays," *Journal of Physics D: Applied Physics* 42, 235502 (2009).
- [2] S. A. Jiang, W. J. Sun, S. H. Lin, J. D. Lin, and C. Y. Huang, "Optical and electro-optic properties of polymer-stabilized blue phase liquid crystal cells with photoalignment layers," *Optics Express* 25, 28179 (2017).



東海大學應用物理系