

氮化矽薄膜色差均勻性對太陽能電池片效能之研究

學生：邱玉銘

指導教授：柯富祥 博士

國立交通大學工學院半導體材料與製程設備學程碩士班

摘 要

本論文乃研究多晶矽太陽能電池(poly-crystalline silicon solar cells)抗反射層薄膜(Antireflection thin films)製程之技術，而抗反射 SiN_x 薄膜已經成為單晶或多晶矽薄膜太陽能電池製程關鍵步驟之一。目前業界皆以電漿輔助化學氣相沉積法(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, 簡稱 PECVD)法來進行沉積 SiN_x 薄膜。然而，從終端的應用產品上可發現到，實際太陽能電池片上呈現出差異性的抗反射層薄膜沉積顏色，造成太陽能電池模組外觀上突兀與不協調。在經由研究證實發現，此顏色差異源自於抗反射層薄膜厚度不同所表現。此外，抗反射薄膜厚度不均勻，會在介面處影響金屬燒結階段穿透程度與矽合金形成的可能性變化，而導致太陽能電池片上，並聯電阻與串聯電阻的電性變化，間接影響電池片光電轉換效益表現。

研究中針對 PECVD 進行沉積 SiN_x 薄膜過程中調整反應壓力、氣體流量變化、反應射頻、氣體比例變化、製程溫度對其抗反射薄膜生成的影響。根據實驗結果和參考文獻報導可歸納出(1) 氣體流量與反應壓力變異會明顯影響薄膜沉積生長率；(2) 反應射頻變異同樣明顯對增加薄膜沉積速率，

但卻導致結構鬆散；(3) 氣體流量比例 SiN_x 薄膜反射率；(4) 反應溫度方面則影響表面原子活性與遷移率，提升薄膜緻密性。這些製程參數條件對於進行沉積薄膜均勻性並沒有絕對的關聯性。

因此針對薄膜沉積顏色異常特徵性，特別進行載具設計實驗觀察其對其沉積薄膜特性與光學特性的影響。最終實驗結果發現變更載具與晶片接觸設計，可確實顯著改善晶片太陽能電池片上抗反射層薄膜厚度均勻性，意即能減少外觀上晶片顏色色差，同時可兼顧反射率與光電轉換效率。



Research on the color uniformity for the solar cells

Student : Yu-Ming Chiu

Advisor : Dr. Fu-Hsiang Ko

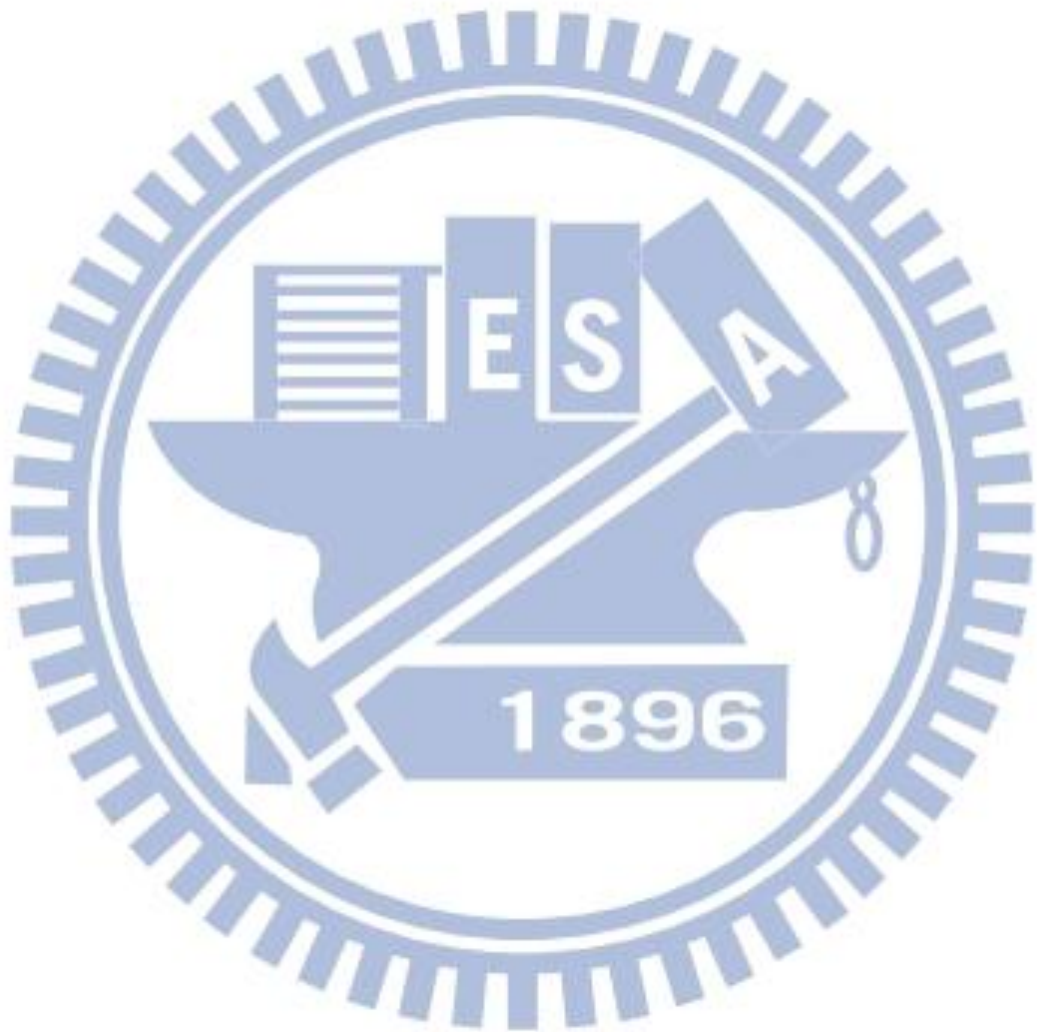
Degree Program of Semiconductor Material and Process Equipment
Nation Chiao Tung University

ABSTRACT

The research aims to study the fabrication of antireflection thin films for poly-crystalline silicon solar cells. The antireflection SiN_x thin films have already treated as the turnkey process for silicon solar cells. Plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) technique on SiN_x films is widely used in PV industry. Actually, the solar cells exhibit different colors in the thin films, which have led to unexpected and uncoordinated exterior. The causes of these variances in the films deposition colors, through this research, have been found to be the incongruity in thickness of the antireflection films. Otherwise, such disproportionate thicknesses have caused possible distortion in the contact formation and the formation of silicon alloy at its interfaces. Such disproportionate of antireflection thin films will impact metal penetration rate and silicon alloy in the interface. Hence, the arising of series and parallel resistance in the PV transforming performance deteriorates the cell efficiency.

In this thesis, various deposition parameters are performed by turning the process parameters (pressure, gas flows, MW plasma power, gas flow ratio and substrate temperature) of PECVD. We find that (1) the gas flow and the reaction pressure variations can significantly affect the growth rate; (2) the reaction of the RF variability was also significantly increase the film deposition rate, but it led to a loose structure; (3) gas flow ratio determines the reflective index; (4) the reaction temperature affect the activity of substrate surface atoms, and enhance film densification. In addition, the new carrier design can achieve improvement

in layer uniformity and a slight color difference. This approach maintains refraction index and optoelectronic transforming performance.



誌 謝

回顧這三年豐富的碩士班生活，感謝指導教授 柯富祥博士秉持著孜孜不倦的教導方式，這段時間一直以來對學生的照顧與不吝嗇的給予學生指導及鼓勵，讓我獲益良多，令學生十分感謝。同時也要感謝 吳耀銓博士、潘扶民博士在審閱的這段期間，給予我許多寶貴的意見與指正，使得本論文能更加完善。

另外要謝謝許多同學們(廖鈺傑、林泰宏、馬慶輝、巫振榮)在這段時間相互的照顧與激勵，讓我在交大碩士班這段期間增添許多難忘的回憶。同時也謝謝公司的同事、好友(陳重文、陳泳龍、莊健宏、林煥順、張智豪等等)，感謝大家在這段過程中，幫我分擔工作上的壓力也提供給我很多寶貴的想法與建議。

最後謝謝我的家人，在這段時間對我的支持與鼓勵，也是我在這段碩士班期間最大的原動力，讓我完全可以無後顧之憂順利完成學業與論文。在此祝福我的家人及所有關心及幫助我的親友們都能健康快樂。

目 錄

中文提要		i
英文提要		ii
誌謝		iii
目錄		iv
表目錄		vi
圖目錄		vii
第一章、	緒論.....	1
1.1	前言.....	1
1.2	研究動機與目的.....	4
第二章、	基本理論介紹.....	6
2.1	太陽能電池發展型態.....	6
2.2	光子能量、太陽光譜.....	7
2.2.1	光子能量.....	7
2.2.2	太陽光譜.....	9
2.3	太陽光電池的轉換原理.....	12
2.3.1	P/N Junction 型式.....	14
2.3.2	太陽能電池之等效電壓.....	16
2.4	太陽能電池基本參數.....	17
2.4.1	短路電流.....	18
2.4.2	開路電壓.....	18
2.4.3	填充因子.....	19
2.4.4	光電轉換效率.....	21
2.5	太陽能電池片結構簡述.....	21
2.6	太陽能電池光學性質與光學損耗.....	22
2.7	PECVD 薄膜成長過程概述.....	23
2.8	影響 PECVD 沉積因子.....	26
第三章、	文獻回顧分析(SiN_x 氮化矽沉積薄膜特性).....	28
3.1	Anti-reflection coating layer 抗反射層之理論.....	29
3.2	鈍化作用 Bulk & Surface Passivation	31
3.3	SiN_x 薄膜相對應光學效能特性.....	33
第四章、	太陽能電池製作流程與實驗設計.....	41
4.1	概述太陽能電池製作流程.....	41
4.2	實驗設計與量測方法.....	56
4.2.1	樣本準備動作.....	59
4.2.2	氮化矽薄膜沉積實驗設計方向.....	61
4.3	光學量測設備 Optical measurement.....	64

4.3.1	橢圓儀(Ellipsometer) / SE400 量測·····	64
4.3.2	Spectrometer system·····	66
4.3.3	ICOS Photovoltaic Inspection·····	67
第五章、	實驗結果與分析·····	69
5.1	實際沉積薄膜顏色與光學特性分析·····	69
5.2	In-line PECVD 沉積機制實驗影響·····	74
5.2.1	反應壓力·····	74
5.2.2	反應氣體總體流量·····	76
5.2.3	反應射頻功率·····	78
5.2.4	反應氣體流量比例·····	80
5.2.5	反應溫度·····	82
5.2.6	載具與沉積薄膜厚度、均勻度與反射率變化·····	84
5.3	效益測試結果·····	88
第六章、	結論與展望·····	92
6.1	結論·····	92
6.2	討論及展望·····	93
參考文獻	·····	96

表目錄

表 2-1 太陽光輻射之空氣質量定義，為其單位面積之入射功率·····	12
表 4-1 監控片規格表·····	60
表 4-2 氮化矽抗反射薄膜沉積條件·····	64
表 5-1 不同 IV 量測參數基準下光電轉換效益結果·····	72
表 5-2 標準 PECVD 氮化矽薄膜沉積製成參數·····	74
表 5-3 ICOS 抗反射薄膜厚度灰階校正表·····	88



圖目錄

圖 1-1 全球化石燃料可開採年限(截至在 2008 年底)	2
圖 1-2 不同的太陽能電池片技術在 1999~2010 年的市場佔有率變化.....	3
圖 1-3 NREL 太陽能電池片效率演進.....	4
圖 2-1 太陽電池種類的形成	7
圖 2-2 半導體材料『光導效應』現象.....	8
圖 2-3 太陽光輻射頻譜.....	10
圖 2-4 太陽光進入地球示意圖.....	11
圖 2-5 空氣質量定義示意圖.....	12
圖 2-6 光電轉換基本原理示意圖.....	13
圖 2-7 P-N junction 機制.....	15
圖 2-8 平衡狀態下的載子移動.....	15
圖 2-9 等效電路圖.....	17
圖 2-10 太陽能電池片 I-V 曲線圖.....	18
圖 2-11 I-V 特色曲線圖 $FF_{(a)} > FF_{(b)}$ (a) $FF_{(a)}$ (b) $FF_{(b)}$	20
圖 2-12 太陽能電池片結構示意圖	22
圖 2-13 太陽能電池片光學損耗成因	23

圖 2-14 PECVD 沉積機制說明圖.....	24
圖 2-15 化學氣相沉積機制.....	26
圖 3-1 太陽光入射基材光學干涉現象	31
圖 3-2 多晶矽晶界氫原子修補懸浮鍵	33
圖 3-3 SiN _x 塗佈膜厚(nm)與外觀顏色相對關係	34
圖 3-4 (a) R.I 介於 2.03~2.42 的抗反射薄膜厚度在平坦晶片表面上的光損耗 (反射+吸收)表現 (b) 藉由 PC1D 量測出對應的太陽能電池效益	36
圖 3-5 (a) R.I 介於 2.03~2.42 的抗反射薄膜厚度在晶片表面經粗糙處理上的 光損耗(反射+吸收)表現 (b) 藉由 PC1D 量測出對應的太陽能電池效益.....	37
圖 3-6 Corescans 在已上膠的晶片量測應用.....	38
圖 3-7 (a)粗糙化晶片上各抗反射層薄膜厚度的反射光譜表現 (b)不同波長下反射率與 AR 塗層厚度(1/thickness)的關係.....	40
圖 4-1 太陽能電池片 Solar cell 製造流程示意圖.....	42
圖 4-2 Cross section image of a Si (a)線鋸切割的晶圓片後的橫截面圖像 (b)多晶矽晶片蝕刻粗糙化的 SEM 下的表面.....	43
圖 4-3 Si 濕蝕刻後反射率表現.....	44

圖 4-4 表面粗糙狀況所呈現的反射情況.....	44
圖 4-5 水平式磷擴散爐管製程機器示意圖.....	46
圖 4-6 水平式爐管製程溫度趨勢圖.....	46
圖 4-7 摻雜分布趨勢圖(Dopant profile)	47
圖 4-8 PSG Remove 流程示意圖.....	48
圖 4-9 微波間接法.....	50
圖 4-10 影響反射係數因素示意圖.....	50
圖 4-11 金屬接觸高寬比例示意圖.....	52
圖 4-12 網印規格(此次實驗研究使用)	52
圖 4-13 Screen printing 示意圖.....	53
圖 4-14 燒結金屬化溫度 profile 與溫區功能.....	55
圖 4-15 Al- Si 合金相圖.....	56
圖 4-16 載盤電池片顏色差異現況.....	57
圖 4-17 監控片取樣量測定義.....	58
圖 4-18 5"電池矽晶片尺寸.....	60
圖 4-19 內嵌式載具外觀.....	61
圖 4-20 典型太陽能電池片 In-line 式 PECVD 機台.....	62
圖 4-21 典型太陽能電池片 PECVD 腔體示意圖.....	64
圖 4-22 橢圓偏振實驗之裝置原理示意圖.....	66

圖 4-23 里華全光譜橢圓儀.....	66
圖 4-24 Lambda 25, 35, 45 光學路徑.....	67
圖 4-25 ICOS 系統架構	
(a) ICOS PVI-6 光學檢驗設備儀器	
(b) 4 Side RGB LED 照明光學室.....	68
圖 5-1 各組監控片薄膜光學性質表現分析	
(a) & (b)	70
(c) & (d)	71
圖 5-2 監控片光學性質分析重現性.....	72
圖 5-3 抗反射層薄膜厚度對光電效率量測之影響.....	73
圖 5-4 反應腔體壓力對抗反射層薄膜厚度與均勻性之影響.....	75
圖 5-5 反應腔體壓力對抗反射層薄膜厚度與光學特性反射率之影響....	76
圖 5-6 反應氣體總流量對抗反射層薄膜厚度與均勻性之影響.....	77
圖 5-7 反應氣體總流量對抗反射層薄膜厚度與光學特性反射率之影響..	78
圖 5-8 反應功率對抗反射層薄膜厚度與均勻性之影響.....	79
圖 5-9 反應功率對抗反射層薄膜厚度與光學特性反射率之影響.....	80
圖 5-10 反應氣體流量比率對抗反射層薄膜厚度與均勻性之影響.....	81
圖 5-11 反應氣體流量比率反射層薄膜厚度與光學特性反射率之影響...	82
圖 5-12 反應溫度對抗反射層薄膜厚度與均勻性之影響.....	83

圖 5-13 反應溫度對抗反射層薄膜厚度與光學特性反射率之影響.....	84
圖 5-14 原載具設計示意.....	85
圖 5-15 實驗組:架空電池片載具示意.....	85
圖 5-16 載具方式對抗反射層薄膜厚度與均勻性之影響.....	86
圖 5-17 載具方式對反射層薄膜厚度與光學特性反射率之影響.....	87
圖 5-18 載具方式對應各位置薄膜沉積厚度變化與均勻性之表現.....	87
圖 5-19 ICOS PVI-6 within trays 抗反射薄膜顏色灰階分布圖.....	89
圖 5-20 光電轉換電性參數表.....	91
圖 5-21 光電轉換效率分布表.....	91
圖 6-1 a.載具設計變更圖示.....	94
圖 6-1 b.載具設計變更實例照片圖.....	95