

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號： P313835P

※申請日期： P3-12-10

※IPC 分類： H01L21/00

一、發明名稱：(中文/英文)

近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法

二、申請人：(共 2 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

1. 財團法人國家實驗研究院

2. 國立交通大學

代表人：(中文/英文) 1. 李羅權 2. 張俊豪

住居所或營業所地址：(中文/英文)

1. 台北市大安區和平東路二段 106 號 3 樓

2. 新竹市大學路 1001 號

國籍：(中文/英文) 中華民國 TW

三、發明人：(共 5 人)

姓名：(中文/英文)

1、 謝嘉民

2、 陳尊豪

3、 戴寶通

4、 王怡超

5、 潘犀靈

國籍：(中文/英文)

1、 中華民國 TW

2、 中華民國 TW

3、 中華民國 TW

4、 中華民國 TW

5、 中華民國 TW

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項 第一款或 第二款規定之事實，其實發生日期為：93年8月16日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

五、中文發明摘要：

本發明提供一種近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其係利用紅外波段的超快鈦藍寶石雷射(Ultrafast Ti:Sapphire Laser) 進行非晶矽的飛秒雷射退火(Femtosecond Laser Annealing, FLA)，樣品表面被超短脈衝照射的時候，超高的瞬時功率使得樣品表面發生對光子能量的非線性吸收並產生高密度的電漿，使得非晶矽達到融熔狀態。飛秒雷射退火藉由連續掃瞄的幫助可以將非晶矽再結晶成多晶矽，所得到的晶粒尺寸約可達 $0.8 \mu\text{m}$ ，再結晶過程所需要的雷射能量密度僅約 $45\text{mJ}/\text{cm}^2$ 。因此本發明提供一種近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用，可得到晶粒尺寸大的多晶矽，較佳之表面平整度，再結晶過程所需雷射能量密度低，可增進製程效率及電晶體的載子遷移率。

六、英文發明摘要：

七、指定代表圖：

(一)、本案代表圖為：第一圖

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關一種非晶矽退火的應用方法，特別是有關一種近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法。

【先前技術】

近年來液晶顯示器目前在市場上已經取代傳統陰極射線管監視器，再加上後 PC 時代來臨及資訊家電之需求，液晶顯示器所能應用之產品隨之增加，所以液晶顯示器產業被譽為下一個台灣的半導體產業。其中，主動式液晶顯示器(Active Matrix LCD)中關鍵元件-低溫複晶矽薄膜電晶體(low-temperature poly-Si TFTs, LTPS-TFT)由於具有高移動率、自我對準(Self-alignment)、以及與 CMOS 製程相容等優點，因此可以將元件體積縮小、儲存電容減少、畫素(Pixel)精細度與開口率提高、並可將驅動電路直接製作在顯示器基板上，是大面積 TFT LCD 產業發展的關鍵技術。

習知關於雷射退火結晶非晶矽的文獻皆屬於準分子雷射退火(ELA)，高能脈衝綠光，或穩定功率輸出綠光雷射退火的範疇，其所需的退火能量密度較高，且光能吸收效率對雷射波長，基材特性極其敏感，能得到較大晶粒所需的退火能量密度範圍也較小。

有鑑於此，本發明係針對上述之問題，提出一種近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其係利用紅外波段的超快鈦藍寶石雷射進行非晶矽的飛秒雷射退火，可得到晶粒尺寸大的多晶矽，及較佳之表面平整度。

【發明內容】

本發明之主要目的，係在提供一種近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其係利用紅外波段飛秒雷射退火的製程，使得非晶矽以非線性吸收能量的方式達到熔融再結晶形成多晶矽的過程，可得到晶粒尺寸大的多晶矽，及較佳之表面平整度。

本發明之另一目的，係在提供一種近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其係利用掃描的方式可得到均勻且大面積的退火區域，可應用在低溫多晶矽(Low Temp. Poly-Si)製程。

本發明之再一目的，係在提供一種近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其與壓縮脈衝寬度技術搭配更可進一步降低退火雷射能量，增加產能。

本發明之又一目的，其係利用超短脈衝之飛秒雷射進行非晶矽的退火，透過非線性吸收的過程進行能量的轉換，對基材特質較不靈敏，有利於量產時之參數優化。

根據本發明，其係利用近紅外波段飛秒雷射以掃描方式退火使非晶矽表面產生電漿，同時經由非線性吸收的過程引發非晶矽的相變，再藉由搭配掃描退火可得到晶粒大多晶矽，透過此一超短脈衝退火的過程，所需的退火能量密度遠小於線性吸收較強的準分子雷射退火所需能量密度，可以得到一個均勻的大面積退火區域。

底下藉由具體實施例配合所附的圖式詳加說明，當更容易瞭解本發明之目的、技術內容、特點及其所達成之功效。

【實施方式】

本發明在超短脈衝(50fs)鈦藍寶石雷射(amplified Ti:sapphire laser)非熱退火系統應用近紅外光($\lambda \approx 800 \text{ nm}$)飛秒雷射退火(FLA)薄膜電晶體(TFTs)元件製程中之非晶矽主動區結晶及佈植區活化步驟上。

請參閱第一圖為本發明雷射退火之步驟流程圖，步驟 S1 提供一基板，基板為設有非晶矽模的透明基板，其中非晶矽模可為一傳導材料、一半導體材料或一介電材料且摻雜有磷或硼離子；步驟 S2 近紅外波段飛秒雷射以掃描方式退火，使用一超短脈衝，其短脈衝波長為 800nm、脈衝寬 50fs、能量密度為 $45\text{mJ}/\text{cm}^2$ ，在該非晶矽材料上經由非線性吸收的過程引發非晶矽的相變產生高密度的電漿，使非晶矽材質相變到一多晶矽材質，多晶矽材質表面平整度小於 4.5nm，其晶粒包括大於 0.8 μm 之平均晶粒大小。

請參閱第二圖為本發明與其它雷射退火結晶比較表，本發明與準分子雷射退火及其他綠光雷射退火所得到的結晶機制、最佳晶粒尺寸、相對應能量密度的比較，在相同晶粒尺寸下飛秒雷射退火所需的能量密度遠小於其他退火技術，所需的退火總能量及脈衝數量也最小。

又本發明利用超短脈衝(50fs)鈦藍寶石雷射(amplified Ti:sapphire laser)非熱退火系統，可使非晶矽以非線性多光子吸收方式(multiple photo absorption)吸收紅外光能(800nm)成為複晶或單晶矽，此反應是不同於準分子雷射退火之線性熱吸收(吸收波峰 $\sim 300\text{nm}$)因此為非熱過程，另外其高重複率脈衝輸出(1-kHz)特性可增進製程效率及電晶體的載子遷移率。且矽材料對紅外光波長為穿透性，因此對鈦藍寶石短脈衝雷射能量幾無熱線性吸收，此可進一步降低退火熱效應及局部製程可能性，因飛秒雷

射本身為非熱之製程可以針對離子損傷處進行恢復而不經過再結晶之過程，可以使通道的晶體結構與源/汲極部分之晶體結構仍然呈連續的晶體構造，此外亦可使離子佈值之濃度分佈保持相同幾乎不會有擴散反應產生，減少擴散反應對於線寬要進行縮小時是非常關鍵之條件。

本發明是從非晶矽結晶開始，請參閱第三圖為高倍率電子顯微鏡(SEM)下之晶粒圖，利用 50fs 雷射脈衝在不同能量密度下以掃描與非掃描方式退火所得晶粒之 SEM 圖，在不進行掃描時所得到的平均晶粒尺寸皆小於 50nm，這是因為雷射脈衝結束後熔融區域快速冷卻時伴隨發生的隨機再結晶所造成的，但是使用掃描方式進行退火時，不同的能量密度下卻可以使得晶粒大小產生明顯的變化。第四圖為雷射能量密度與平均晶粒大小關係圖，從第四圖(a)得知，非晶矽經過飛秒雷射退火後的平均晶粒大小是隨著雷射能量密度增加而先增後減。在脈衝寬度 47fs、基板溫度 400°C、95%重複掃描時，有最大的晶粒約 800nm，矽表層方均根粗糙度 (Root-mean-square roughness, RMS roughness) 為 2.37nm。依照晶粒的大小，可以將晶粒成長分成三個區域，能量由低至高分別為部分熔融區、幾乎全熔區與完全溶解區。又從第四圖(b)可知，增加掃描的脈衝數目並不會增加結晶狀況，而在此飛熱退火方式中，較短的脈衝和較大的能量密度可以得到較大的晶粒。利用 AFM 量測到退火後樣品表面的方均根粗糙度一般皆小於 5nm，如第五圖為晶粒側面立體圖，遠優於準分子雷射退火樣品的表面平整度(約 15nm)。

第六圖為脈衝寬度為 50fs 時的拉曼譜線(a)及 XRD 結果(b)，圖中所附

為多晶矽之 TEM 影像，由拉曼譜線可知再結晶比例達 98%，具有相當好的結晶性，由 XRD 結果可知其結晶的優選方向(111)與其他雷射退火技術所得相同。第七圖為不同溫度下所得到的最大晶粒尺寸及相對應的能量密度(a)及不同脈衝寬度相對應的溫度變化所造成的晶格放大率(b)，基板溫度愈高所得最佳晶粒尺寸也越大，但所需的最佳能量較低。隨脈衝長度增加，因為溫度增加而得到的晶格尺寸放大率也逐漸減少。

由非晶矽結晶習知結果，也加以應用於活化摻雜。由第八圖 N-type (摻雜磷) 與 P-type (摻雜硼) 的摻雜離子濃度對深度的圖形得知，一般在電晶體製程的離子摻雜後都需要經過加熱活化使得晶格能夠修補，以得到較高的載子遷移率與開/關電流比，傳統常見的活化方式為爐管加熱與紅外光快速熱退火方式 (Rapid Thermal Annealing, RTA)，其中又以 RTA 方式因為不易造成摻雜離子擴散，因此較爐管加熱更適用於各種元件的活化製程，由第八圖可知：相較於 1050°C 之下的 RTA 製程得到的摻雜離子擴散情形，無論在室溫、100°C 與 200°C 環境下所做的飛秒雷射活化皆可得到較佳的離子分佈情形，從 (A) 和 (B) 兩圖可知飛秒雷射活化使得離子並無明顯的擴散發生，除了離子擴散情形較佳外，從第九圖可知在摻雜磷的試片經過能量密度 $\sim 30\text{mJ}/\text{cm}^2$ 飛秒雷射活化後，片電阻約下降至 100 ohm/sheet，較活化前降低許多 (活化前約 10^7 ohm/sheet)；另從第十圖可知摻雜硼的試片經過飛秒雷射活化亦可使得片電阻下降為 100~200 ohm/sheet。

上述之近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火方法所得之結晶矽及摻雜活

化區，整合於 TFT 元件，可得證其實效性。在 TFT 元件製程中，將非晶矽結晶成為多晶矽的步驟，若使用 SPC 方式與使用 FLA 方式得到如第十一圖汲極電流-閘極電壓圖 (Drain current-Gate voltage, I_d-V_g)，其載子遷移率為分別為 $13 \text{ cm}^2/\text{VS}$ ，及 $23 \text{ cm}^2/\text{VS}$ 。FLA 方式得到的載子遷移率約為 SPC 方式的兩倍，SPC 方式中之 FA 結晶參數為， 600°C 、18hr；FLA 結晶的雷射能量密度為 $45 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 、脈衝寬度為 50fs、掃描重複率為 95%，又由第十二圖載子遷移率變化圖所顯示，由爐管結晶矽 (SPC Si films) 及 FLA 活化之源汲極所構造之 TFTs 元件，其載子遷移率達到 $8.7 \text{ cm}^2/\text{VS}$ ，驗證 FLA 確可修補因摻雜而損壞晶格。以上所述係藉由實施例說明本發明之特點，其目的在使熟習該技術者能瞭解本發明之內容並據以實施，而非限定本發明之專利範圍，故，凡其他未脫離本發明所揭示之精神所完成之等效修飾或修改，仍應包含在以下所述之申請專利範圍中。

【圖式簡單說明】

第一圖為本發明雷射退火之步驟流程圖。

第二圖為本發明與其它雷射退火結晶比較表。

第三圖為高倍率電子顯微鏡下之晶粒圖。

第四圖為雷射能量密度與平均晶粒大小關係圖。

第五圖為晶粒側面立體圖。

第六圖為脈衝寬度為 50fs 時的拉曼譜線及 XRD 結果。

第七圖為不同溫度下所得到的最大晶粒尺寸及相對應的能量密度及不同脈衝寬度相對應的溫度變化所造成的晶格放大率。

第八圖為使用本發明後 N-type 與 P-type 的摻雜離子濃度對深度的圖形。

第九圖為試片摻雜磷的片電阻。

第十圖為試片摻雜硼的片電阻。

第十一圖為汲極電流-閘極電壓圖。

第十二圖為載子遷移率變化圖。

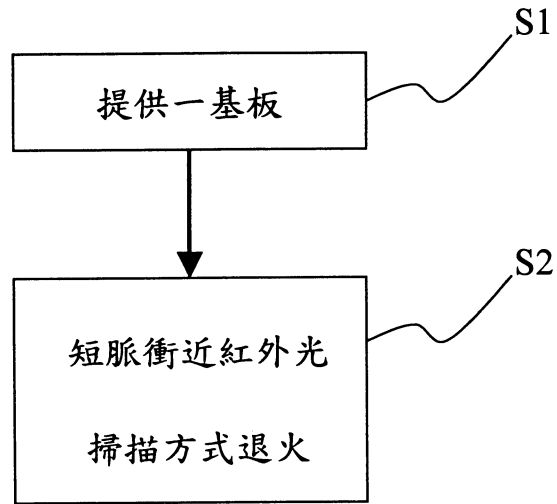
【主要元件符號說明】

十、申請專利範圍：

1. 一種近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，包括下列步驟：
提供一層非晶矽材料；以及
使用一近紅外波段飛秒雷射以掃描方式退火使該非晶矽材料相變到一多晶矽材料。
2. 如申請專利範圍第 1 項所述之近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其中該層非晶矽材料係選自一傳導材料，一半導體材料，或一介電材料。
3. 如申請專利範圍第 1 項所述之近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其中該層非晶矽材料具有一摻雜離子。
4. 如申請專利範圍第 3 項所述之近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其中該摻雜離子為磷或硼。
5. 如申請專利範圍第 1 項所述之近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其中該近紅外波段飛秒雷射之波長為 800nm 脈衝寬度 50fs。
6. 如申請專利範圍第 1 項所述之近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其中該短脈衝能量密度為 $45\text{mJ}/\text{cm}^2$ 。
7. 如申請專利範圍第 6 項所述之近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其中該短脈衝能量為雷射光子能量。
8. 如申請專利範圍第 1 項所述之近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其中該非晶矽材料上表面產生高溫後，更包括該非晶矽材料上表面對能量的非線性吸收並產生高密度的電漿。
9. 如申請專利範圍第 1 項所述之近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用

方法，其中該多晶矽材質晶粒包括大於0.8微米之平均晶粒大小。

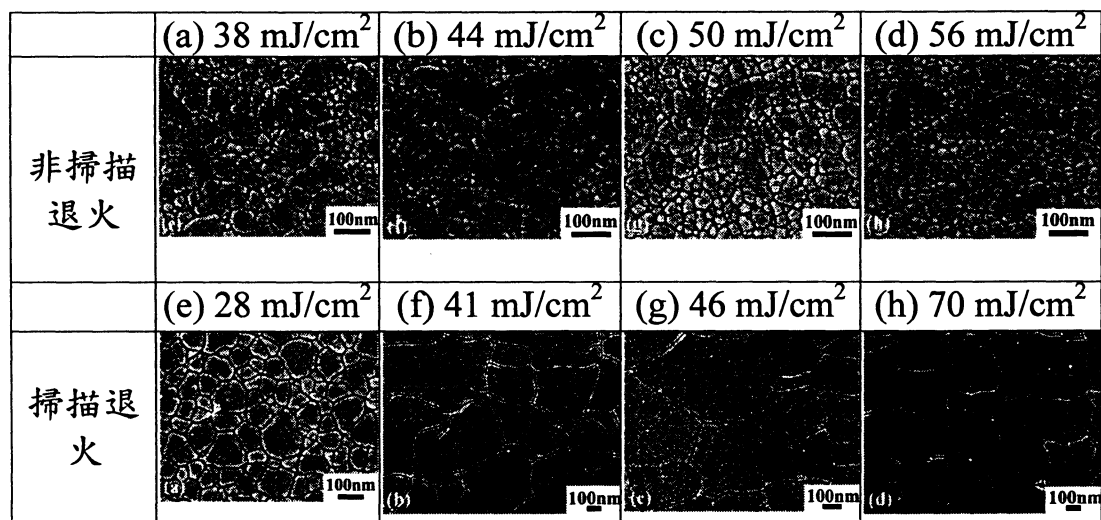
10. 如申請專利範圍第1項所述之近紅外波段飛秒雷射在非晶矽退火的應用方法，其中該多晶矽材質表面平整度小於4.5nm。



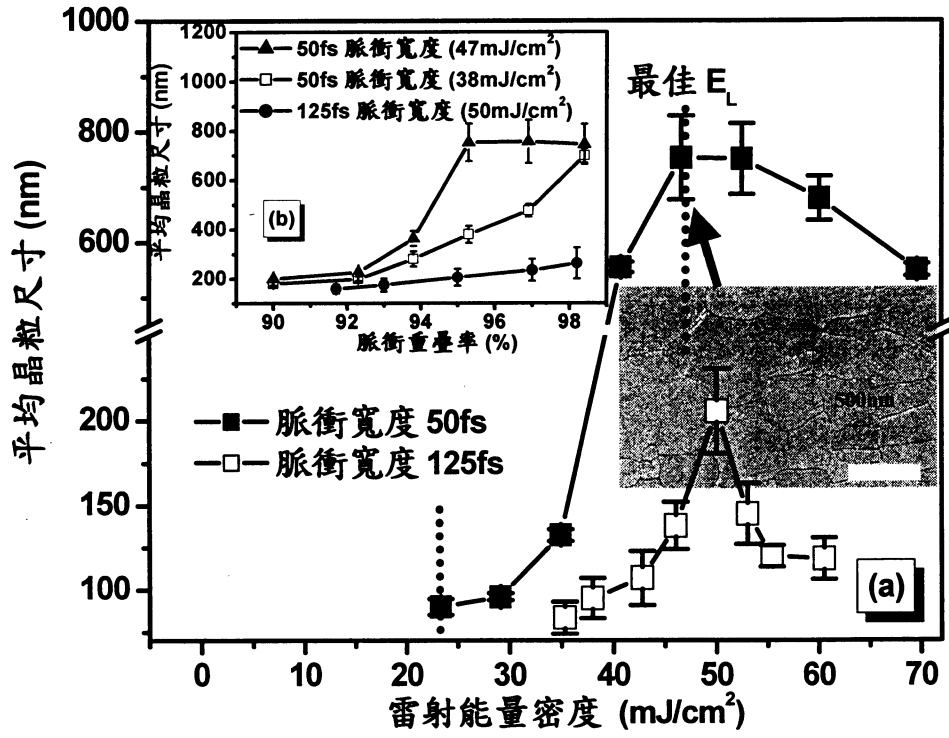
第一圖

	FLA	Single shot ELA	Multi shots ELA	SLS ELA	Green pulsed Laser annealing	Green CW laser annealing
Crystallization mode	line scan	SLG	SLG	SLS	SLS	CW-lateral crystallization
Optimal EL (mJ/cm^2)	~45	150-250	150-450	~900	>1500	
Maximum average grain sizes (μm)	~0.8	~1	~0.3	~10	~100 \times 0.5	~20 \times 3
Numbers of laser-shots	>20	1	10-100	~70	~20	
Total input energy (J/cm^2)	~0.9	>0.15	~10	~60	>30	>10

第二圖

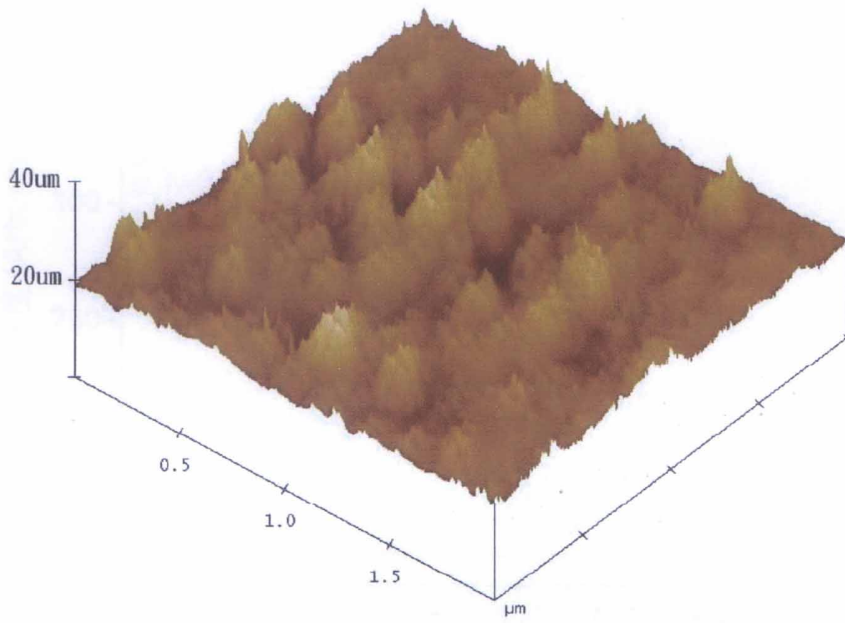


第三圖

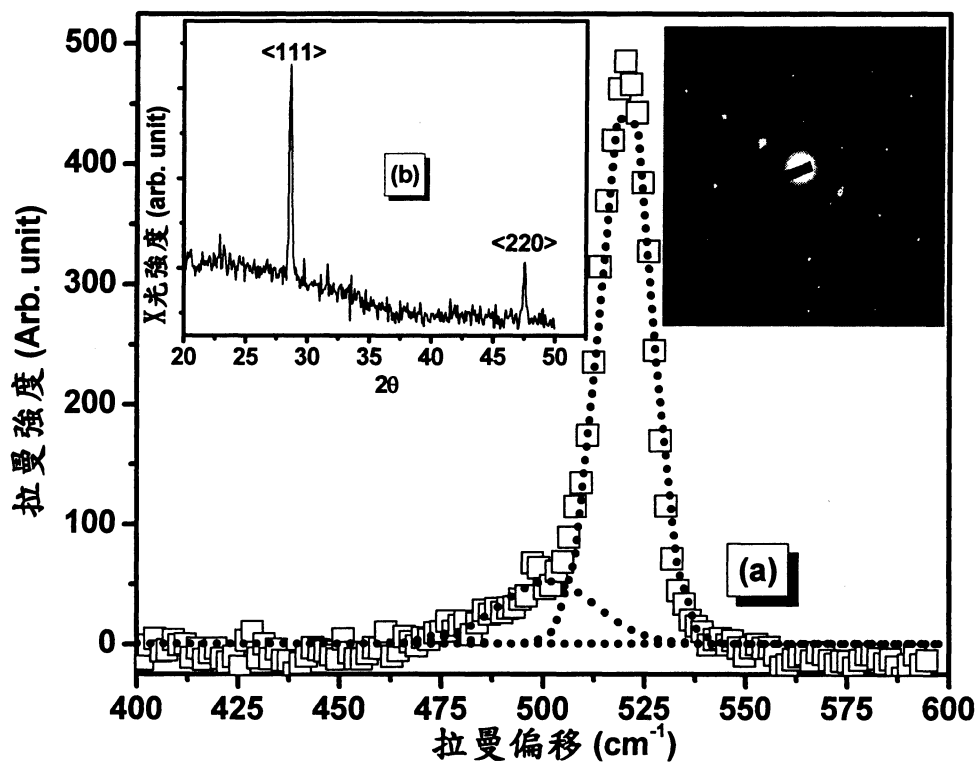


第四圖

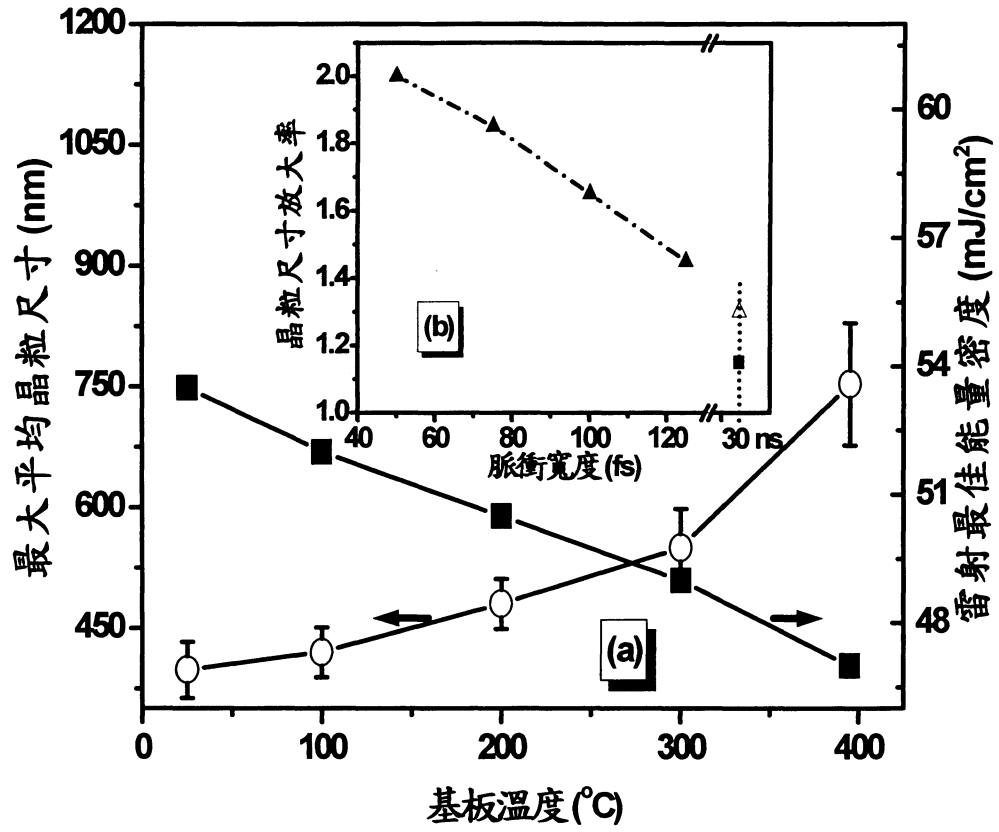
I245321



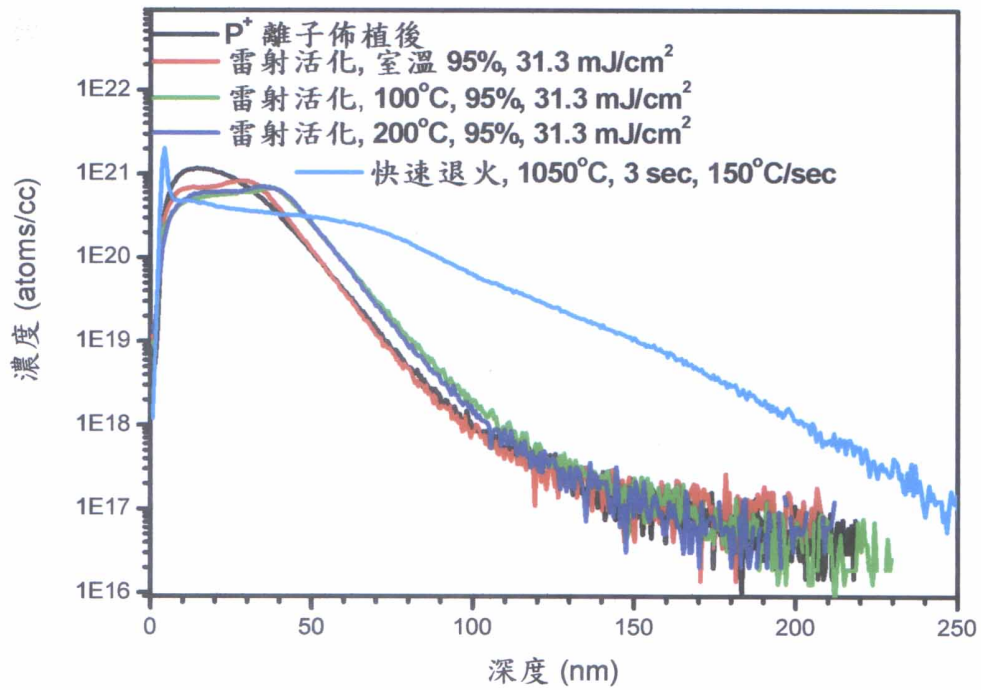
第五圖



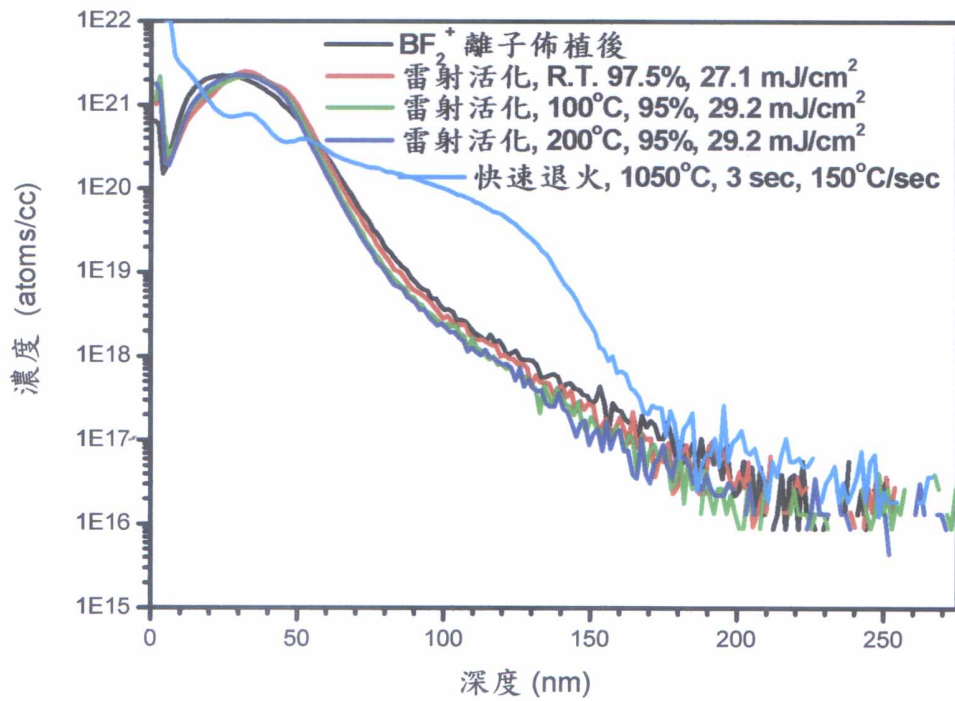
第六圖



第七圖

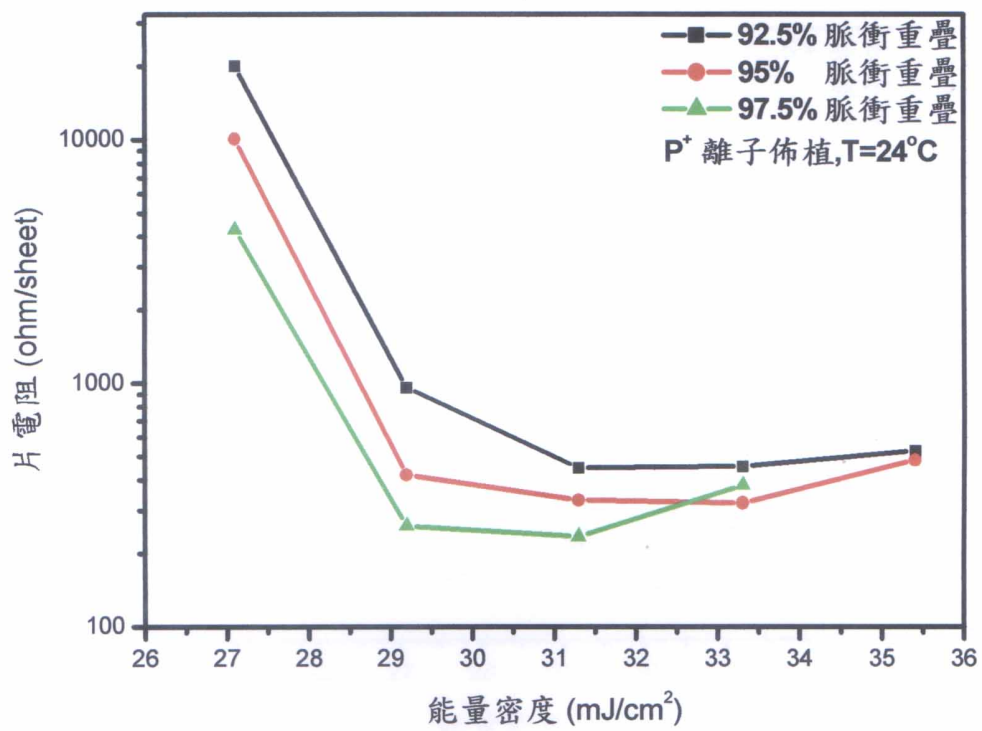


(A)

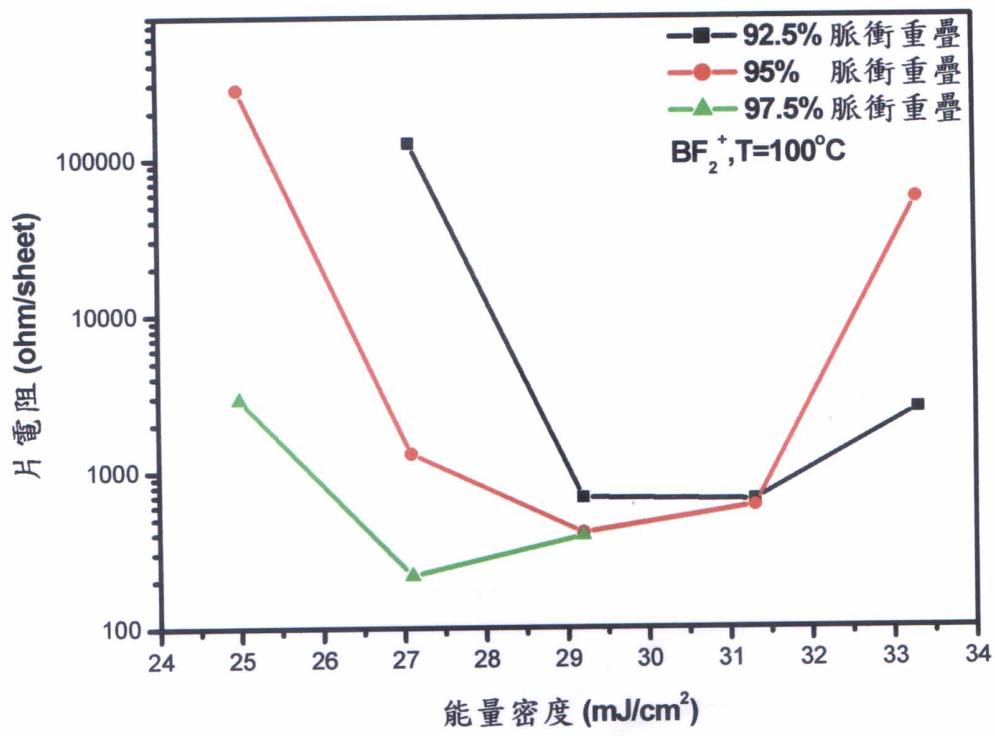


(B)

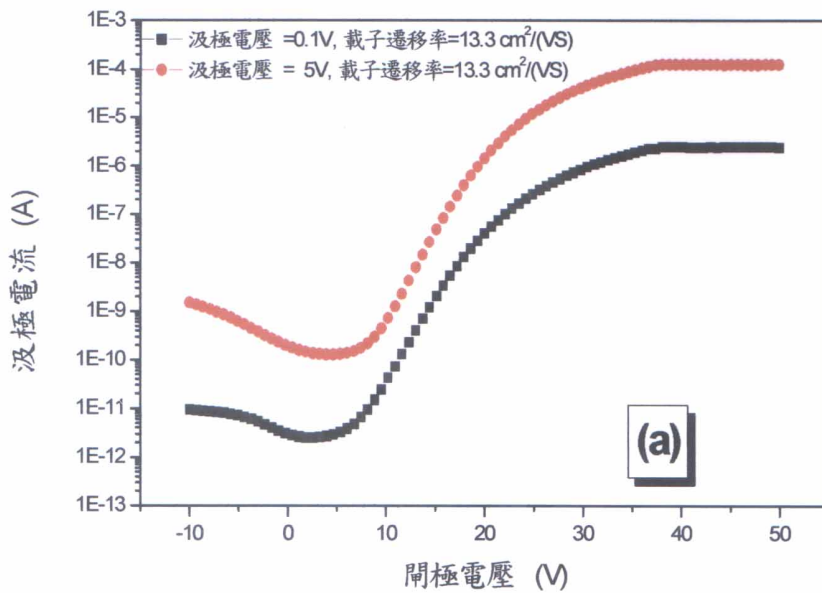
第八圖



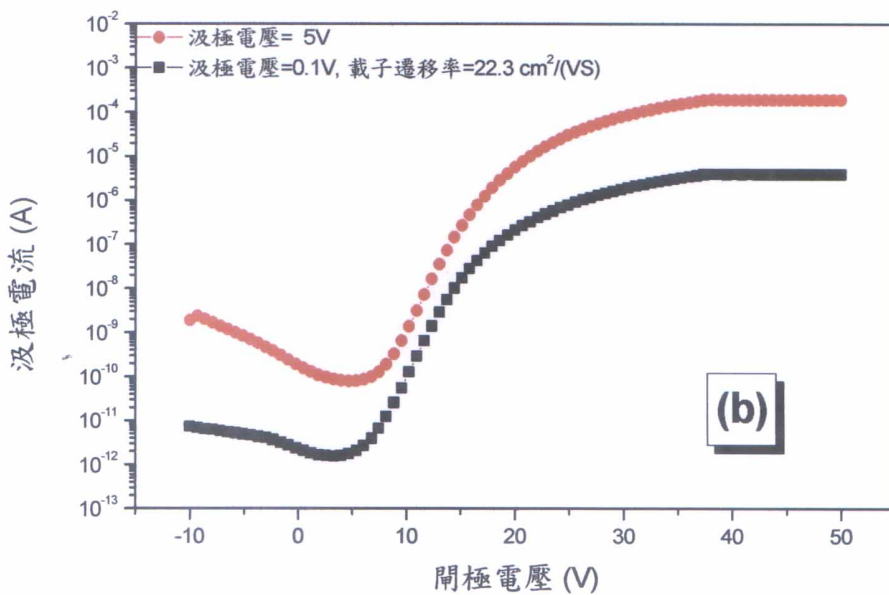
第九圖



第十圖

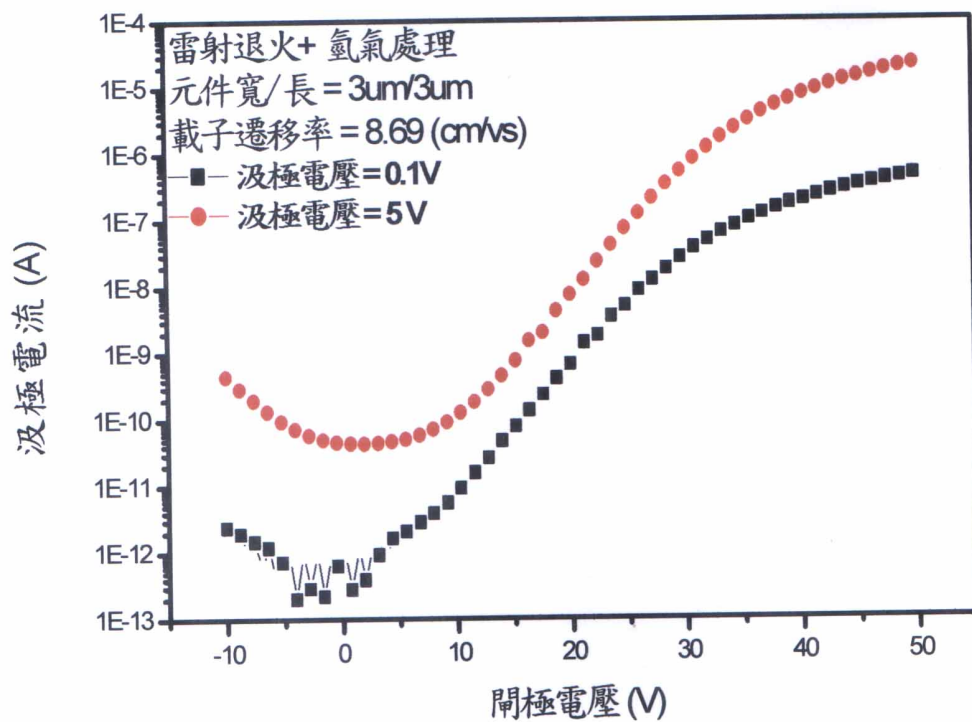


(A)



(B)

第十一圖



第十二圖