

AMOLED 顯示器關鍵製程檢測技術

AMOLED Display Critical Manufacture Process Inspection Technology

楊富程

Fu-Cheng Yang

因應主動式有機發光二極體 (active-matrix organic light-emitting diode, AMOLED) 顯示器對薄膜電晶體 (thin-film-transistor, TFT) 的需求，面板廠使用低溫多晶矽 (low temperature poly-silicon, LTPS) 以提升 TFT 的通道層之材料電子遷移率 (electron mobility)，目前以準分子雷射退火 (excimer laser annealing, ELA) 結晶化的製程為主流，然而此製程的品質目前僅能使用離線或破壞性的方式進行分析，因此目前無法針對此製程做全面性的檢測，針對全面性的檢測的問題目前尚未有好的解決方案，本文針對 AMOLED 顯示器所要引入製程的主要因素進行探討，並針對此檢測的問題提出了以非接觸式面形取像的結晶化分析的方法以解決目前檢測的問題。

Demand should AMOLED (active-matrix organic light-emitting diode) display of the TFT (thin-film-transistor), display manufacturer using the LTPS (low temperature poly-silicon) enhance the TFT channel layer materials electron mobility, ELA (excimer laser annealing) crystallization process for the mainstream. however the quality of the manufacturing process can only use offline or destructive analysis, so they can not do comprehensive inspection for this manufacturing process, there is no good solution for comprehensive inspection problems, in this paper, we introduce the main reason for the introduction of the manufacturing process, and for this inspection problems, we proposed the non-contact and area scan inspection method to solve the inspection problem.

一、前言

由於電子產品的發展與使用者需求，顯示器的發展從傳統的 CRT 顯示器進展到薄膜電晶體液晶顯示器 (thin-film-transistor liquid-crystal display, TFT-LCD)，不斷的朝向輕薄省電的方向開發，因此顯示器不再局限於居家使用，並朝向引入行動式裝置為趨勢，因此顯示器在手持行動裝置的市場將不斷的成長，圖 1 為全球手持裝置顯示器的市場預測，在此市場預測中發現主動式有機發光

二極體 (active-matrix organic light-emitting diode, AMOLED) 顯示器因有許多優勢具有大幅度的成長，因此國內外面板廠皆針對此顯示器的發展進行佈局。然而 AMOLED 顯示器具有自發光特性，其 TFT 需提供有機發光二極體 (organic light-emitting diodes, OLED) 足夠的電流才能驅動，針對此問題必須進行 TFT 的特性改善著手，接下來本文將對相關技術進行說明，第二節我們說明 AMOLED 顯示器與 LCD 顯示器之差異，由此可明確的了解 AMOLED 顯示器對 TFT 特性的要求，第三節針對

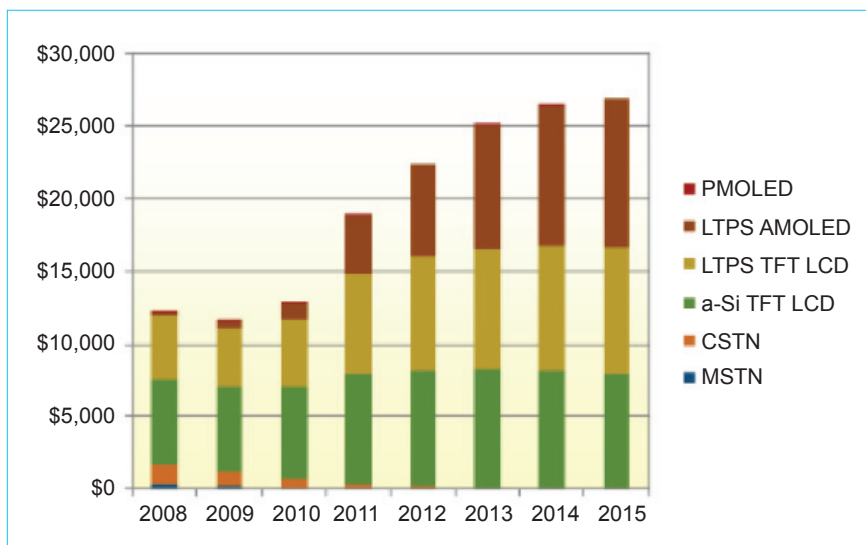


圖 1. 全球手持裝置顯示器的市場預測。

TFT 特性進行說明，由此可明確的了解可改良 TFT 的方法，第四節探討改良 TFT 相關製程的方法進行比較，由此了解目前面板廠所用的方法及待解決的問題，第五節介紹 LTPS 材料特性進行光學特性的分析，由此分析可了解相關可行的光學檢測方法，第六節將說明 LTPS 結晶特性檢測方法及實驗結果，最終為本研究的結論與建議。

二、AMOLED 與 LCD 顯示器之差異

AMOLED 顯示器與 LCD 顯示器主要的差異在其光源產生的機制，LCD 顯示器是由背光板提供光源，OLED 顯示器採自發光提供光源，OLED

其主要的發光機制是以是透過電流提供能量，藉由螢光 (fluorescent) 或磷光 (phosphorescent) 的方式發光，OLED 的結構如圖 2 所示，然後再呈現全彩的機制，可分為白光 OLED 配上 RGB 彩色濾光片，或使用 RGB 三色 OLED 整合而成，在顯示設計上依不同的應用有主動式有機發光二極體 (AMOLED) 顯示器與被動式有機發光二極體 (passive-matrix organic light-emitting diode, PMOLED) 顯示器的設計，表 1 為 AMOLED 與 PMOLED 顯示器的比較，其中以顯示畫面的觀點，主要的差異在於是否連續顯示發光，對應的是顯示畫面更新速度，現行手持式顯示器以觀看動畫為主，因此顯示設計採用 AMOLED 才能符合人眼

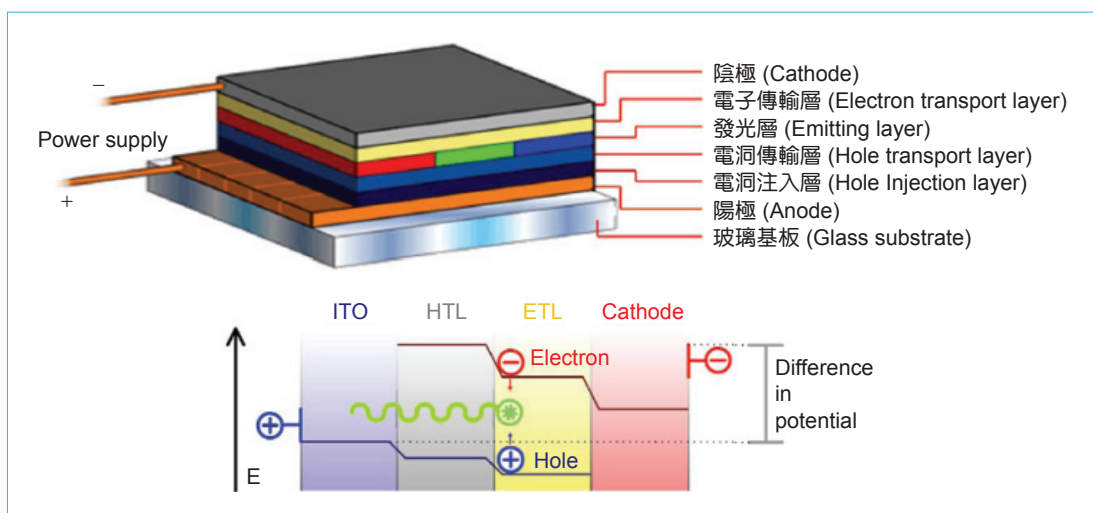


圖 2. OLED 結構與發光機制圖。

PMOLED 顯示器	AMOLED 顯示器
瞬間高亮度發光 (動態驅動) 面板外附加 IC 晶片 線逐步式掃描 成本低/高驅動電壓 設計變更容易製程簡單	連續發光 (穩態驅動) 內含 TFT 驅動 IC 線逐步抹寫資料 低電壓驅動/低耗電/製作成本高 發光元件壽命長製程複雜

表 1.

PMOLED 顯示器與 AMOLED 顯示器之比較表。

反應的需求。

圖 3 為 AMOLED 主動式驅動與 PMOLED 被動式驅動之電路示意圖，由圖可知，在被動式的架構下，掃描線 (scan line) 的訊號與資料線 (data line) 的訊號僅能在同一的時間點驅動一條線的畫素或稱像素 (pixel)，為了達到人眼可觀看的亮度，必須提高驅動的電流而影響元件的壽命。而主動式的架構下，因每一個畫素皆可儲存驅動的訊號，每一個畫素可自獨立且連續的顯示達成顯示動態畫面的需求，以主動式驅動的方式已用於現有的 LCD 的顯示器，LCD 顯示器以光板為光源，其 TFT 主要是提供控制液晶電容兩端的電壓訊號，因此 TFT 無需提供較大的電流。AMOLED 顯示器因需要驅動 OLED，因此 TFT 需要提供較大的電流，圖 4 為 LCD 與 AMOLED 所使用的 TFT 示意圖之比較，接下來針對 AMOLED 之 TFT 的特性做進一步說明。

三、TFT 特性簡介

以主動式驅動的方式，其主要的關鍵是在於可動態儲存顯示內容，並持續讓每一個顯示的畫素維持固定的灰階，所以需要 TFT 實現此功能，圖 5 為 NMOS (N-channel enhancement-type metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) 的結構示意圖，將此 NMOS 的 B 與 S 的輸入端接地，於 G 與 D 給與 V_{GS} 與 V_{DS} 的偏壓如圖 6 所示，由改變 V_{GS} 與 V_{DS} 的偏壓可讓 NMOS 操作在不同的狀態，其電流輸出電流 i_D 與 V_{GS} 與 V_{DS} 的特性曲線如圖 7 所示，當 $V_{GS} < V_t$ 時，NMOS 將操作於 cut off 狀態 i_D 為 0，當 $V_{GS} > V_t$ 且 $V_{DS} \leq V_{GS} - V_t$ 時，NMOS 將操作於 Ohmic 狀態， i_D 與 V_{GS} 與 V_{DS} 的關係如方程式 (1)，當 $V_{GS} > V_t$ 且 $V_{DS} > V_{GS} - V_t$ 時，NMOS 將操作於 active 狀態， i_D 與 V_{GS} 與 V_{DS} 的關係如方程式 (2) 描述。

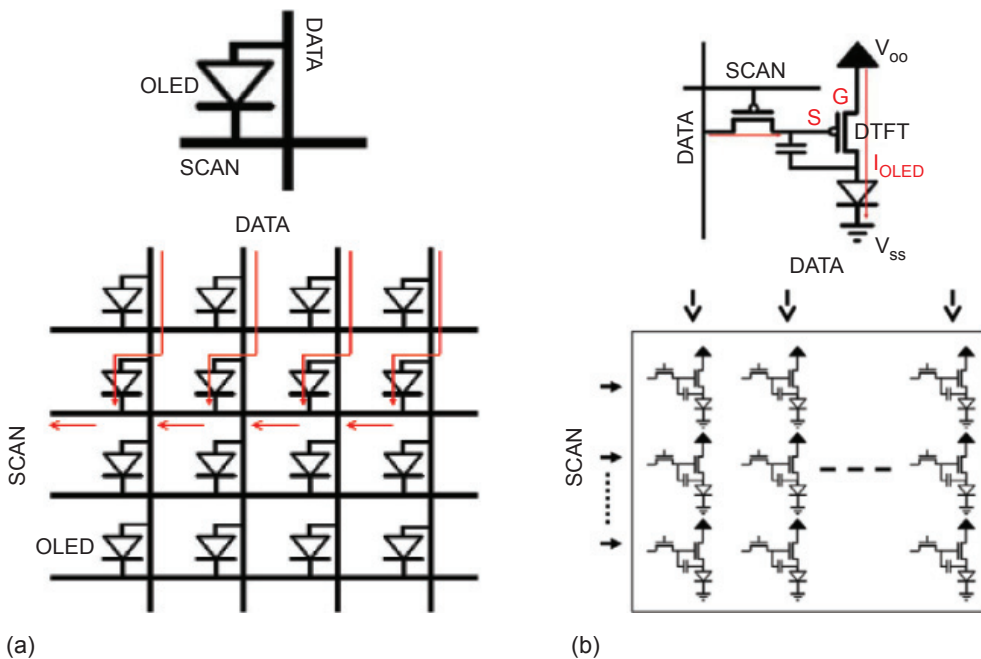
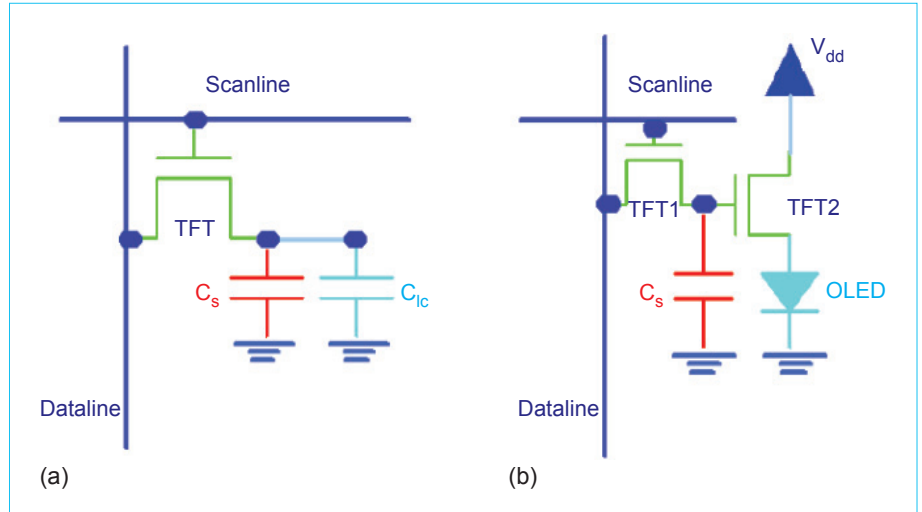


圖 3.

(a) AMOLED 主動式驅動與 (b) PMOLED 被動式驅動之電路示意圖。

圖 4.
(a) LCD TFT 與 (b) AMOLED
TFT 示意圖之比較。



以圖 4(a) LCD 顯示器之 TFT 為例，當掃描線的訊號於 $V_{GS} > V_t$ 時，NMOS 操作於 cut off 狀態，當掃描線的訊號於 $V_{GS} < V_t$ 時，當資料線的訊號輸入讓 NMOS 操作於 active 狀態， i_D 對儲存電容 C_s 進行充電，其電壓將由資料線的訊號所決定。掃描線的訊號轉為 $V_{GS} > V_t$ 時，再將 NMOS 操作於 cut off 狀態，此時電容 C_s 的電壓維持固定，讓 C_{lc} 持相同穩定的電壓，驅動液晶操作於預設的狀態，此時透過背光板與前後的偏光板，達成固定灰階的輸出，直到下一個掃描線的訊號，再以相同的模式改變灰階輸出。

以圖 4(b) AMOLED 顯示器之 TFT 為例，其中 TFT1 當掃描線的訊號於 $V_{GS} < V_t$ 時，NMOS 操

作於 cut off 狀態，當掃描線的訊號於 $V_{GS} > V_t$ 時，當資料線的訊號輸入讓 TFT1 操作於 active 狀態， i_D 對儲存電容 C_s 進行充電，其電壓將由資料線的訊號所決定，此時 TFT2 維持 Active 狀態並向 OLED 注入固定電流，其電流如方程式 (1) 所描述，當掃描線的訊號轉為 $V_{GS} < V_t$ 時，再 TFT1 操作於 cut off 狀態，此時電容 C_s 的電壓維持固定讓 OLED 注入固定電流，讓 OLED 自發光持續操作於預設的灰階狀態，直到下一個掃描線的訊號，再以相同的模式改變自發光灰階的輸出。

由以上的分析可知，OLED 的 TFT 需要提供電流，其可供應電流能力的關鍵來自於 TFT2 NMOS 的特性，因考量高開口率 (aperture ratio)，

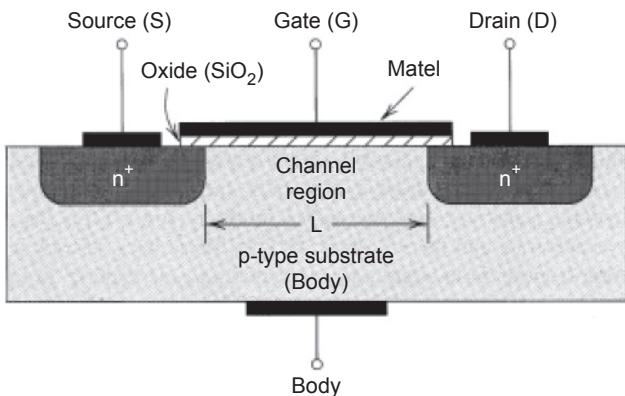


圖 5. NMOS 的結構示意圖。

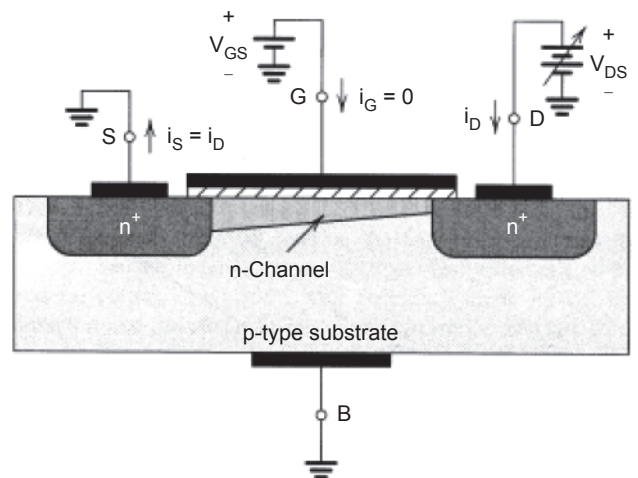


圖 6. NMOS 驅動方式圖。

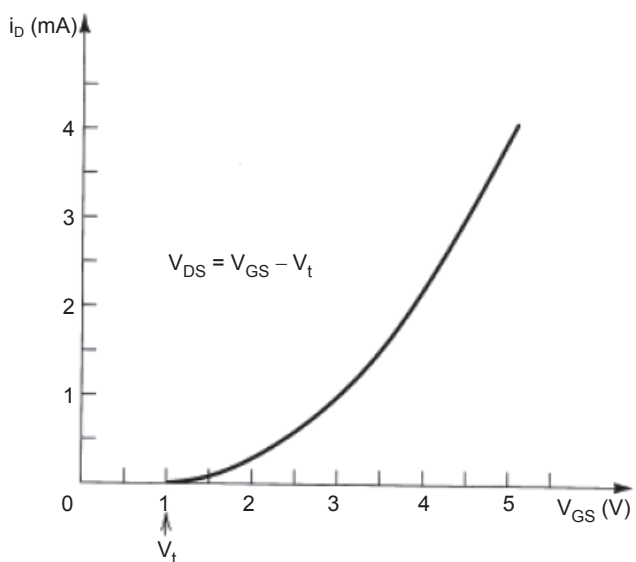
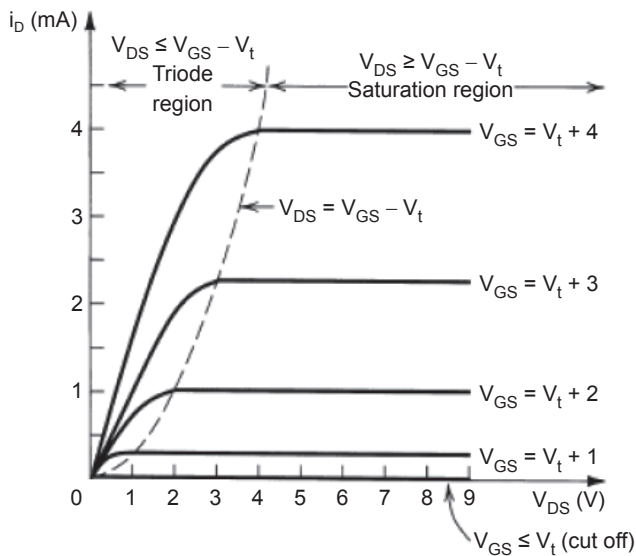


圖 7. i_D 與 V_{GS} 與 V_{DS} 的特性曲線 NMOS 驅動方式圖。

如圖 8 所示，以及未來將朝向高解析度的需求，TFT 的尺寸勢必朝向縮小面積的趨勢發展。雖然在不更改 TFT 尺寸下可提高電晶體的偏壓，達成較高電流，考量手持顯示器須考量省電以增長待機時間，原有 TFT 的通道層的材料將不足以在現有架構下滿足趨動 OLED 的需求，因此針對 TFT 的通道層的材料將以高電子遷移率 (electron mobility) 的材料以滿足 AMOLED 顯示器的需求，不同材料之 TFT 特性比較如表 2 所示，以目前面板廠所導入的材料選擇有兩種，其一採用 OTFT (oxide TFT)，其二採用 LTPS 以提升 TFT 的通道層的材料電子遷移率，考量 LTPS 具有較高的電子遷移

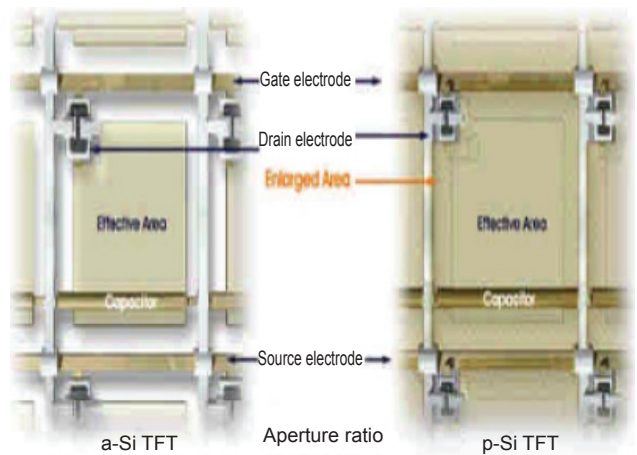


圖 8. 顯示器像素開口率比較示意圖。

率，有機會與面板驅動電路整合，可實現 system on glass 的可能性，以節省產品與生產成本，接下來本文再針對 LTPS 的製程的方法與現有面板廠使用的製程方法進行說明。

$$i_D = K [2V_{DS}(V_{GS} - V_t) - V_{DS}^2] \quad (1)$$

$$K = \frac{1}{2\mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)}$$

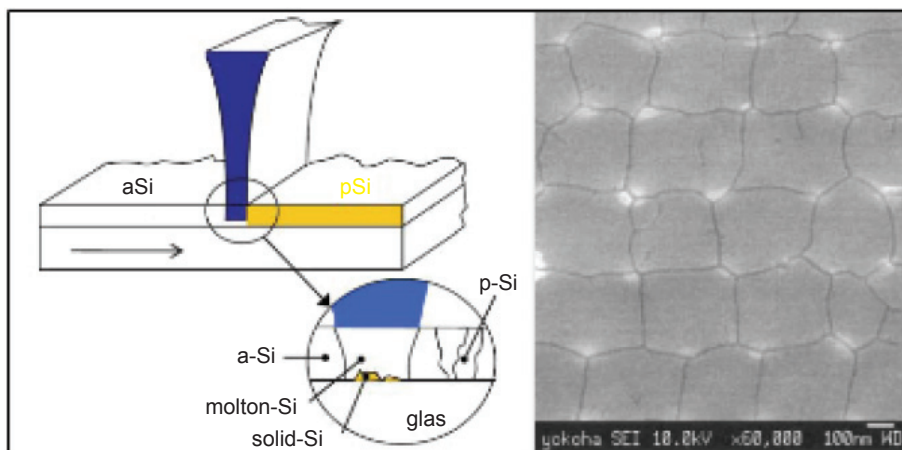
$$i_D = K(V_{GS} - V_t)^2 \quad (2)$$

其中， V_t 為臨限電壓 (threshold voltage)， L 為通道層長度 (channel layer length)， W 為通道層寬度 (channel layer width)， C_{ox} 為閘極-通道電容 (gate to channel capacitance)， μ_n 為電子遷移率。

表 2. 三種 TFT 之特性比較表。

	a-Si TFT	poly-Si TFT	Oxide TFT (IGZO)
Uniformity	Good	Poor	Good
Mobility	~1 cm ² /Vs	~100 cm ² /Vs	10 - 100 cm ² /Vs
Circuit Integration	No	Yes	Yes
NO. of Mask	4 - 5	5 - 11	4 - 5
Cost/Yield	Low/high	High/low	Low/high
Process Temp.	150 - 350 °C	450 - 550 °C	150 - 350 °C

圖 9.
ELA 結晶化製程示意圖。



四、LTPS 製程特性分

LTPS 結晶製程有許多不同的製程方法，不同製程的優劣特性比較如表 3 所示。以整體考量，ELA 結晶化的製程是較好的選擇，其製程的方式如圖 9 所示，透過雷射將非晶矽 (amorphous silicon, a-Si) 結晶化成 LTPS，此法具有較高的電子遷移率，並考量製程的溫度需較低溫，目前面板廠以 ELA 結晶化的製程為主流，其均勻性問題是目前面板廠導入此製程待克服的課題。然而此製程的品質目前僅能使用離線或破壞性的方式進行分析，因此無法針對此製程做全面性的檢測，全面性的檢測的問題目前尚未有好的解決方案。因此本團隊針對此檢測的問題開發了以非接觸式面形取像的結晶化分析的方法，以解決目前檢測的問題，以下針對 LTPS 材料特性進行分析，基於此實現可行的檢測方法。

五、LTPS 材料特性分析

由於我們開發以光學影像的方式實現檢測的功效，因此針對半導體的光學特性進行分析，當光入射到半導體介質時將會與介質內的電子進行作用，其作用的特性可分成兩種，其一當入射光的光子能量小於 E_c (critical points) 時，半導體的折射率會隨著光的頻率的增加而增加，消光係數趨近於零在此波段半導體成透明的狀態，此波段折射率與消光係數隨波長的特性如圖 10 所示。當入射光的光子能接近於 E_c 時，此波段的光子將與電子雲作用產生共振吸收，其折射率與消光係數隨波長的特性如圖 11 所示，以矽 (silicon) 由結晶的程度的不同可分成結晶矽 (crystalline silicon, c-Si) 與非晶矽及介於其中的多晶矽 (polycrystalline silicon) 其原子排列方式如圖 12 所示，以無結晶特性的非晶矽與結晶特性完整的結晶矽比較，其折射率與消光係數隨波

表 3.
不同結晶化製程的優劣特性的比較表。

Property poly-Si	Mobility	Large area capability	Uniformity	Throughput
As-deposited	△	○	○	○
Furnace annealing (SPC)	○	○	○	△
Rapid thermal annealing	○	×	×	△
Excimer laser annealing	◎	×	×	△

◎ = Excellent. ○ = Good. △ = Fair. × = Poor.

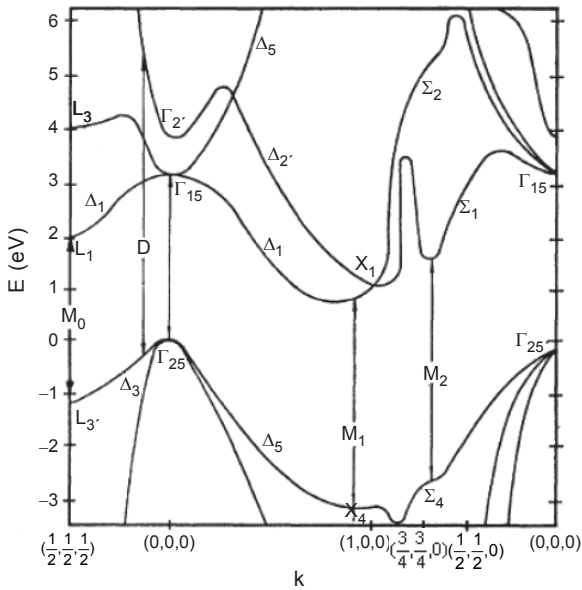
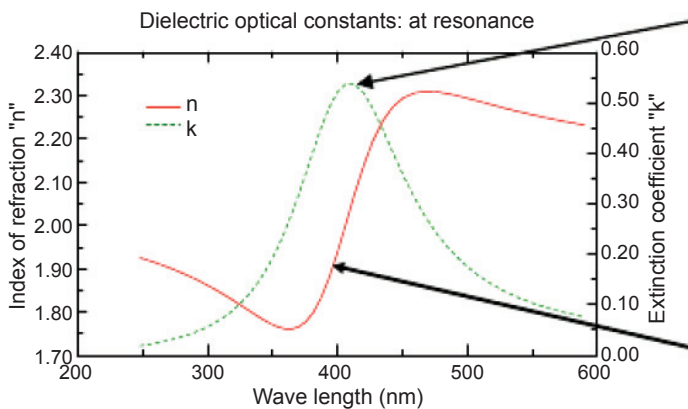
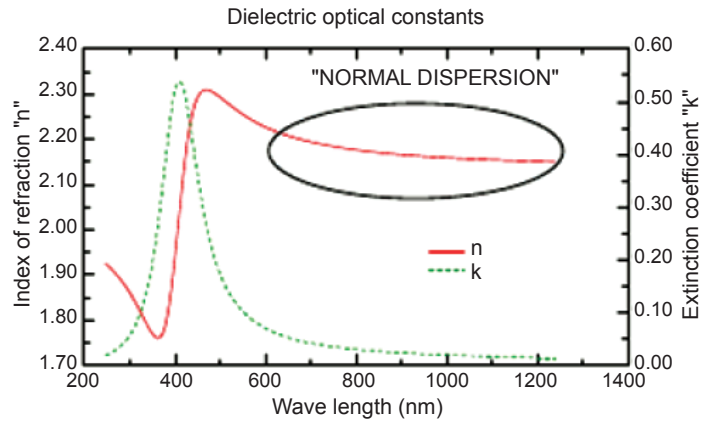
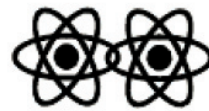


圖 10. 入射光的光子能量小於 E_c 時折射率與消光係數隨波長的特性圖。



Absorption due to e-cloud "bumping".



Electron clouds bump. Lose energy as heat.

Energy taken from dipoles given to k.

圖 11.

入射光的光子能量接近 E_c 時折射率與消光係數隨波長的特性圖。

長的特性如圖 13 所示，以非晶矽較無強列的共振吸收特性，而多晶矽本質上是介於結晶矽與非晶矽間，因此其光學特性將介於非晶矽與結晶矽間，其折射率與消光係數會依不同的結晶特性會有所不同的特性，因此 LTPS 的結晶特性可由折射率與消光係數的特性做分類，以下是本團隊依 LTPS 材料特性所建構的方法與實驗結果進行說明。

六、LTPS 結晶特性檢測方法

由於 LTPS 的結晶特性差異可由折射率與消光係數鑑別，因此我們採用對折射率與消光係數具高鑑別能力的技術進行建構。橢偏技術是分析薄膜材

料光學特性重要的技術，其主要的原理來自光斜向入射樣品時，反射光的偏振特性會產生非均向性的現象，其差異可由 Fresnel 方程式描述如圖 14 所示，由圖可看出 P 偏振與 S 偏振光的反射特性

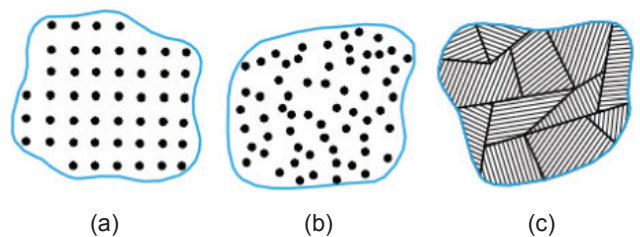


圖 12. (a) 結晶矽與 (b) 非晶矽及介於其中的 (c) 多晶矽其原子排列方式示意圖。

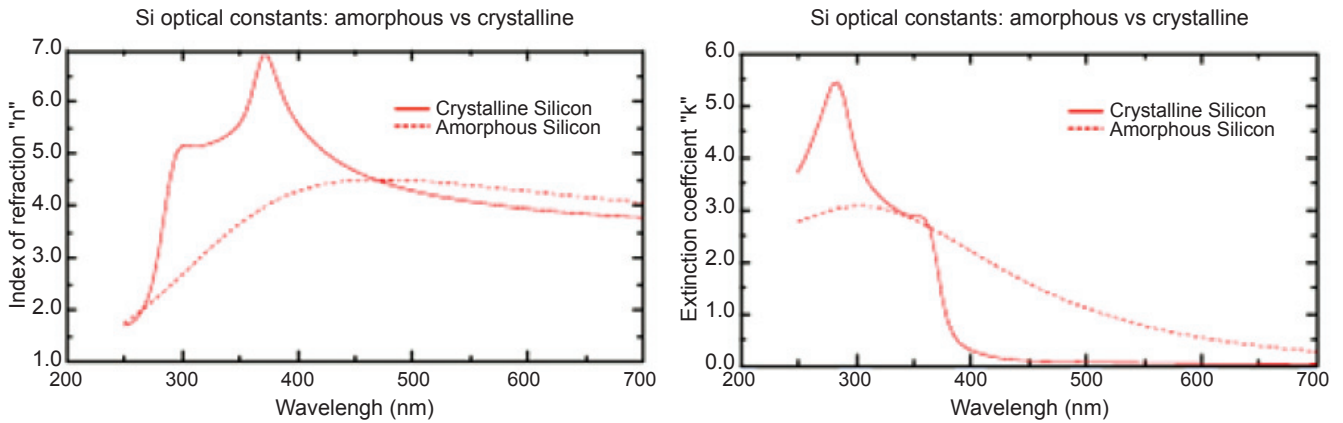


圖 13. 非結晶矽與結晶矽折射率與消光係數隨波長的特性比較圖。

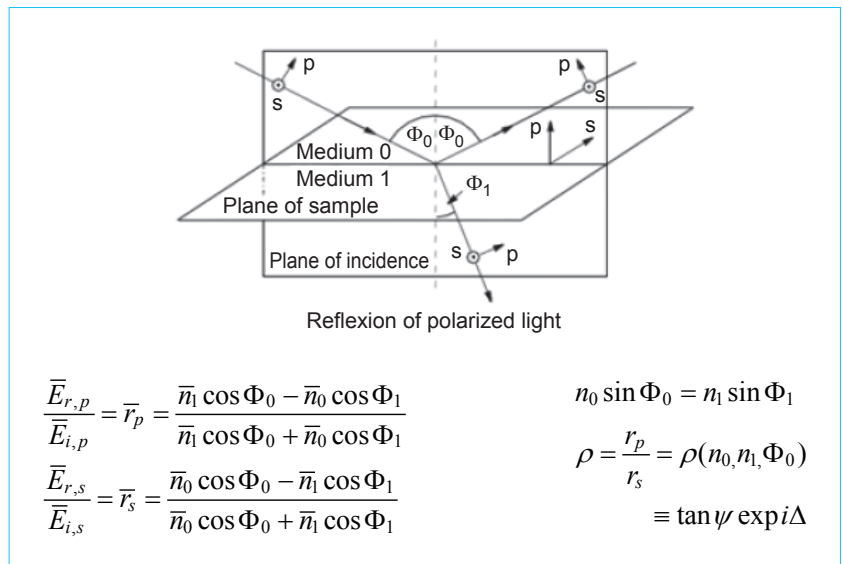


圖 14. 光斜向入射介質其反射光特性之數學描述。

的差異，此時將 ρ 定義為 P 偏振反射係數與 S 偏振光反射係數的比值，並可用橢圓參數 Δ 及 Ψ 表示，此參數與入射角度與入射介面兩端材質的折射率及消光係數有關，因此可用橢圓技術鑑別折射率與消光係數的差異，以光斜向入射介質其反射光偏振狀態之示意圖如圖 15 所示，當入射光設定成線偏振光，經由樣品反射後，因 P 偏振光與 S 偏振光其反射特性的差異而產生橢圓偏振光，再由橢圓偏振光的特性取得橢圓參數達成分析的目的，基於此我們建立了以 PCSA (polarizer compensator sample analyzer) 為核心的橢圓檢測架構如圖 16 所示。

在此架構下待測樣品將反射特定偏振狀態的

偏振光，透過 analyzer 後由光偵測器 (detector) 接收，輸出特定的光電流，因此針對具有折射率與消光係數差異的樣品，光偵測器輸出的光電流將會有差異，可由光電流的差異鑑別的樣品特性的差異，我們依不同結晶化的 LTPS 樣品特性，對本系統的入射角度與光源的波段及偏振狀態優化，取得鑑別率最佳化的組態，使用影像的架構進行建構，系統如圖 17 所示，圖 18 為傳統取像系統與本系統針對實際的樣品實際取像結果的比較，結果顯示，本系統確實可鑑別不同結晶化程度的樣品，可取得結晶化不均勻的特性，達成非接觸式面形取像的結晶化分析的功效。

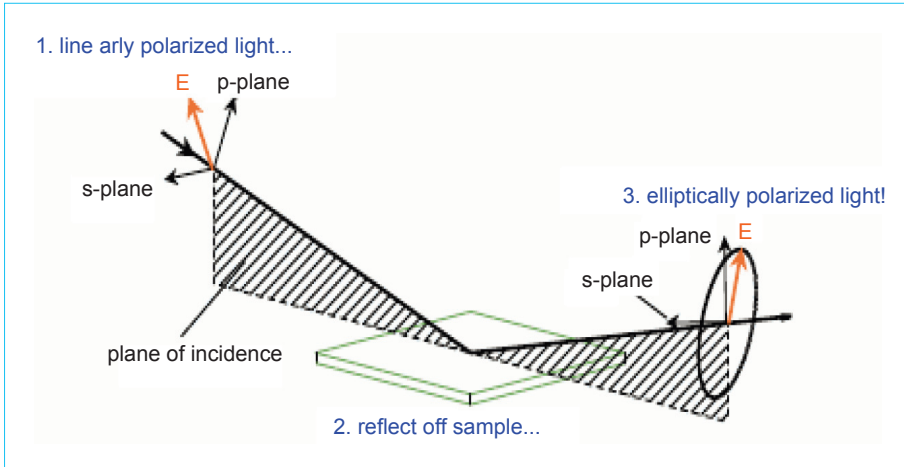


圖 15. 光斜向入射介質其反射光偏振狀態之示意圖。

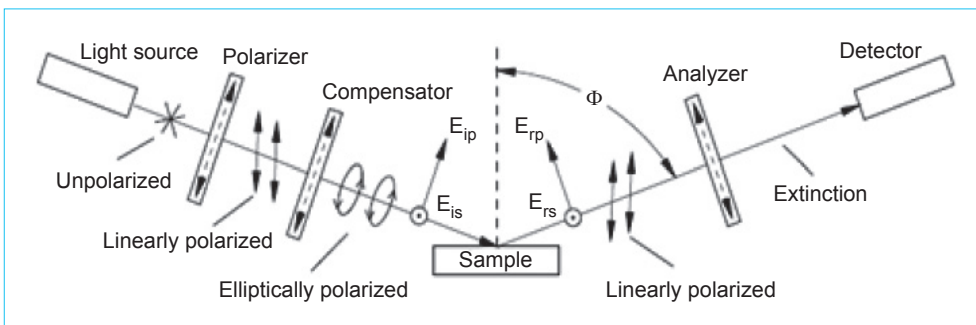


圖 16. 系統架構示意圖。

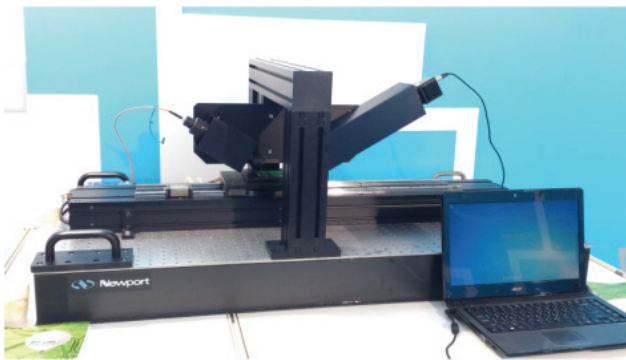
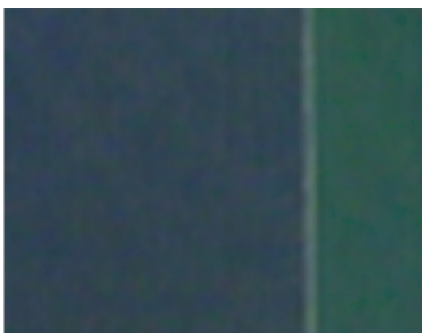


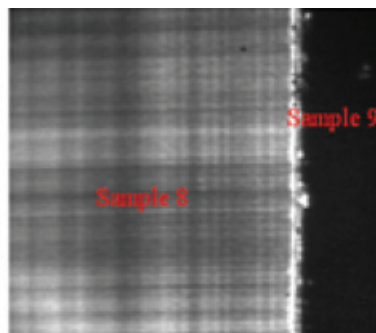
圖 17. 檢測系統實體圖。

七、結論與建議

AMOLED 顯示器具有許多優點，將可能成為新一代顯示器的主流，針對 AMOLED 的特性需求，面板廠已引入新的材料與製程，新的製程也導入了新的檢測需求，本團隊已針對 ELA 製程建立了非接觸面形取像的結晶特性分析技術，可解決目前僅能離線或破壞性檢測的限制。目前本系統採用面取像掃描的方式進行檢測，未來將建構線掃描檢測的系統，期望能搭配生產的速度達成即時全檢的



(a)



(b)

圖 18.

(a) 傳統取像系統與 (b) 本系統針對實際的樣品實際取像結果的比較圖。

目標，並期望導入生產線後能有助於面板廠，解決目前生產良率最關鍵的製程，以提升產品品質與降低生產成本強化產品國際競爭力，為國家帶來效益。

參考文獻

1. The Digital Display Revolution: Built on Excimer Laser Annealing, *Coherent, Inc White Paper* (2012).
2. Hayes & Horowitz (pp 142-162 and 244-266) and Rizzoni (chapters 8 & 9), Field-Effect Transistors, *ECE60L Lecture Notes* (2002).
3. R. Synowicki, *Optical Characterization by Spectroscopic Ellipsometry*, J. A. Woollam Co., Inc (2010).
4. 陳永志, 補償材料變異與提高開口率之 AMOLED 畫素電路設計, 國立成功大學電機工程學系碩士論 (2006).



楊富程先生為國立清華大學物理碩士，現任工業技術研究院量測技術發展中心儀器與感測技術發展組先進光學檢測技術發展部副經理。

Fu-Cheng Yang received his master in physics from National Tsing Hua University. He is currently a Deputy Manager in Advanced Optical Inspection Technology Development Department, Instrument & Sensing Technology Development Division, the Center for Measurement Standards at Industrial Technology Research Institute.