

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別:研習)

「HVPE法進行Ga_N基板之製作研究」

服務機關:工業技術研究院
光電工業研究所

出國人 職稱:副組長
姓名:許榮宗

出國地區:德國

出國期間:2001/10/7-2001/11/8

報告日期:2002/1/2

目次

<u>摘要</u>	.....	3
<u>正文</u>	.....	4
<u>1. 目的</u>	.....	4
<u>2. 過程</u>	.....	4
(1) <u>德國Ulm大學研習</u>	.....	5
— <u>HVPE生長系統</u>	.....	5
— <u>HVPE實驗生長及結果</u>	.....	6
— <u>訪問Stuttgart大學</u>	.....	7
— <u>訪問Aixtron公司</u>	.....	7
<u>心得</u>	.....	8
<u>建議</u>	.....	8

摘要

本次研習主要於烏爾姆大學了解Aixtron公司所生產的單片式HVPE系統生長Ga_N厚膜之研究情形，目前其Ga_N生長速度可達70um/h，且因為試片可旋轉，膜厚均勻度良好，未來用於Ga_N基板之可行性頗高。然而，烏爾姆大學所擁有之Ga_N生長技術離生產可用之技術仍遠，一旦Ga_N厚度超過20um後，內部容易產生裂痕，目前仍無法消除之。雖然他們開始開發ZnO buffer layer技術，但是還屬於初步階段，未來還值得觀察。由於Aixtron於VPE相關之量產型機器有豐富的經驗，未來有關Ga_N基板等相關計畫若能與他們合作必然有加速之效果。

正文

1. 目的

GaN是近年來化合物半導體中最重要的材料之一，由於其能隙達3.4eV，較傳統的GaAs、InP、AlGaInP等化合物半導體材料都寬，適合短波長元件之應用，如藍綠、藍紫及紫外等發光二極體(LED)，藍紫光半導體雷射(Laser Diode 或LD)，和高功率、高頻電晶體元件等，而這些元件正是戶外全彩看板、及下世代的光碟機、高頻無線通訊系統、以及半導體照明光源系統所不可或缺者，可見GaN材料極為重要。

目前常用的GaN磊晶生長主要為MOCVD法，而大都以藍寶石(sapphire)為基板，然而，由於藍寶石基板和GaN磊晶之晶格常數及熱膨脹系數相差頗大，所生長的GaN磊晶層的差排密度常常高達 10^9cm^{-2} ，要得到低缺陷密度的磊晶層仍必須有GaN基板才能完全解決。

由於GaN大單晶生長條件接近生長鑽石者，必須於極高的溫度和壓力下才能進行，若要使用一如Si單晶生長的製作方法來製造，幾乎不可能。目前世界各地的研發中，常用的方法有昇華法和HVPE法，而且以HVPE法最佳，因為目前以經有日本住友電器和韓國的Samsung公司於實驗室裡使用HVPE法研發成功的報導，因此，本次赴德國烏爾姆(Ulm)大學研習，仍以參與HVPE法生長GaN基板為主，因為該大學有一台Aixtron公司生產之GaN HVPE生長系統，而Aixtron是目前世界上少數生產量產型MOVPE系統之公司，具有優異之VPE系統設計能力，未來若能合作開發將極具競爭力。

2. 過程

若扣除交通時間，本次研習自2001/10/8至2001/11/5止，共約一個月的期間，地點以Ulm大學為主。其中於10/17及10/24-25則分別訪問Stuttgart大學和Aixtron公司，以進一步了解德國各研發單位之GaN研發狀況。詳細之行程如下：

2001/10/7 去程，自台北至德國Ulm大學研習

2000/10/17 訪問Stuttgart大學

2000/10/24-25 訪問Aixtron公司

2001/11/7 回程，自德國Ulm大學至台北

詳細內容說明分述於下。

(1) 德國Ulm大學研習

● HVPE生長系統

圖1是Aixtron公司之HVPE系統示意圖，外管是直徑大約5-6 inch之石英圓管所製成，兩端以雙層O-ring隔離，可抽真空，O-ring處有水冷，以保持低溫。內部有HCl和HN₃進氣管各一支，直徑都約2 inch，另外還預留一支2 inch之圓管備用；GaCl管則為直徑約1 inch之圓管Ga melt置於半圓形石英坩堝內，其前後各以實心之石英塊隔間，以減少HCl之流量；Susceptor是可放置3 inch晶片之石英圓盤，經由氣動方式，該圓盤於生長時會旋轉，showhead上有5個大小約3mm的小孔，置於susceptor的斜上方1-2cm處，可將GaCl直接斜噴出至試片上，實際使用後，因為GaN會局部沉積於噴嘴上，噴嘴口的石英材料會因劣化而剝落，導致噴嘴口的尺寸變大；又為了避免生長完後外管上沉積白色粉末，放置內管於susceptor和showerhead外，並且於內外管中送入惰性氣體。圖2為其實體照片，上方可看到熱阻式加熱爐體，共有5個溫區，可分別控制不同溫度，而且爐體設計成可由中分掀起，通常在溫度低於300度以下時，為了加

速冷卻,可打開爐體以風扇吹之。然而,實際使用發現,由於各溫區很靠近,溫區間又無隔溫層, Ga區(zone2)和生長區(zone3-4)之溫度又分別為850及1050°C左右,各溫區之溫度干擾很嚴重,為了等溫度平衡常須花很多時間,造成操作上之不便。本系統其他之氣體及溫度控制之軟硬體都和Aixtron之MOCVD系統相同。附件1為使用之程式例。

- HVPE實驗生長及結果

為了瞭解機器之特性,本研習特別以GaN/sapphire template為基板進行實驗,其中之GaN層約1-2 μm 厚,為MOCVD所生長。經由不同生長時間之測試,本系統之生長速度約70 $\mu\text{m}/\text{h}$,由於生長當中基板有旋轉,2吋晶片之磊晶層厚度頗均勻。生長後,後段石英管及管路內會有白色粉末(NH_4Cl)沉積,必須每次清理。生長後,將試片折斷,以光學顯微鏡觀察其表面、斷面和內部,其中,內部乃自試片底部的光源穿透試片,聚焦於試片內部而得。

圖3-9是由編號v081~v087各試片中觀察所得,其中表面直接觀察時其照片呈淡紅色,而穿透光呈綠色。編號v081~v084試片以變化其生長時間為主,結果GaN厚度分別為24, 22, 70和76 μm ,由於v081/v082和v083/v084之生長時間相同,厚度之再現性頗佳。無論所生長之厚度為何,雖然試片表面常常很完整,或者僅僅有些大小不一的孔洞,然而,每片試片的內部都可發現呈三角形之裂痕。V085試片因為錯誤的設定條件,其生長速度達110 μm ,而且發現於GaN/sapphire 界面附近有Ga drop生成,並且併水平排成一列,為瞭解其再現性,以及對於消除應力的影響,再生長v086試片,結果發現Ga drop也常垂直延伸至表面,因此,對於消除應力之效果有限。

此外,為了解ZnO/sapphire template之影響,v087以MOCVD生長的ZnO template為基板,進行生長,結果發現其表面之生成物極

為零亂，可能是ZnO層與HCl或NH₃反應之原因，必須進一步研究。

- 訪問Stuttgart大學

M. Pilkuhn教授是Stuttgart大學物理系教授，預定於明年退休，目前其實驗室有40人左右。

F. Scholz是Stuttgart大學物理系磊晶生長之負責人，該大學目前有4台MOCVD設備，其中兩台為Aixtron之產品，機齡皆有約10年之久，與所內AIX200(1401)機器相當，其一以GaInP紅光高功率雷射元件生長為主，其二則於1年前修改為GaN量子點磊晶研究，另兩台為自組的小機台，各生長GaN和InP雷射元件之研究。其GaN方面之研發成果有：(1)使用AlN buffer layer，並添加少量氧氣，發現較GaN buffer佳；(2)使用temperature cycle技術生長InGaN/GaN QW時，可有效減少V-pit之缺陷。(3)GaN LD 經optical pumping得波長430nm，threshold 600kW/cm²。其中使用之磊晶片來自Osram，該公司的GaN LD已經達數百小時之壽命測試結果。

H. Schweizer是Stuttgart大學物理系元件製作之負責人，其設備除了有e-gun，sputter，SIMS，SEM等外，還有離子布值機和E-beam lithographer (CAIBE製)，目前以QD研究為主。

- 訪問Aixtron公司

由於Aixtron於MOCVD和HVPE生產設備方面有極強之設計和生產能力，國內大部分廠商都使用其設備進行生產，而該公司已推出實驗室型之GaN HVPE設備，未來往量產型設備發展之意願很高，故前往參觀與討論，以瞭解GaN基板研發之合作可能，結果Dr. Berned Schulte對該合作案很感興趣，原因是看到未來白光LED需要TIP GaN 元件，而GaN基板是製作TIP型GaN LED目前最佳之解決方案。

心得

Aixtron公司所生產的單片式HVPE系統的確可生長Ga₂N厚膜，生長速度可達70um/h，且因為試片可旋轉，膜厚均勻度良好，未來用於Ga₂N基板之可行性頗高。然而，烏爾姆大學所擁有之Ga₂N生長技術離生產可用之技術仍遠，一但Ga₂N厚度超過20um後，內部都會產生裂痕，無法完成消除之。雖然他們開始開發ZnO buffer layer技術，但是還屬於初步階段，未來還值得觀察。至於Stuttgart大學和Aixtron公司方面，他們在III-V材料及元件方面已經有很多經驗，尤其Aixtron於VPE相關之量產型機器有豐富的經驗，未來所內有關Ga₂N白光LED、Ga₂N基板、Ga₂N電子元件等相關計畫若能與他們合作必然有加速之效果。

建議

- 繼續與烏爾姆大學保持聯繫，瞭解Ga₂N/ZnO/sapphire方面之研究進展情形。
- 加強與Stuttgart大學進一步聯繫，於Ga₂N雷射元件、QD奈米級半導體製程技術方面洽談相關技術之合作事宜
- 與Aixtron公司合作Ga₂N基板量產技術之開發，Aixtron公司負責量產型HVPE設備之開發，光電所則適合製程之開發。

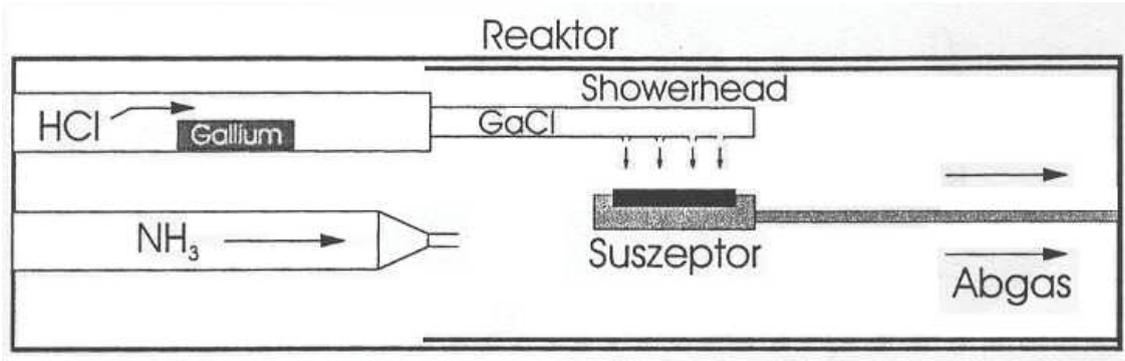


圖1. Aixtron公司之HVPE系統示意圖

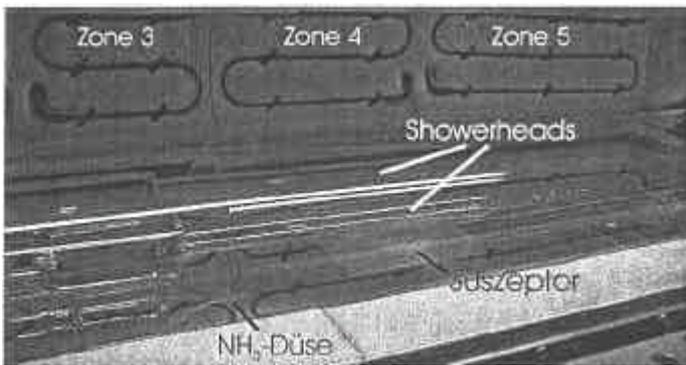


圖2. Aixtron公司之HVPE系統實體照片



圖3. 試片v081剖斷面之cracks, 倍率: 500, GaN厚度約22um

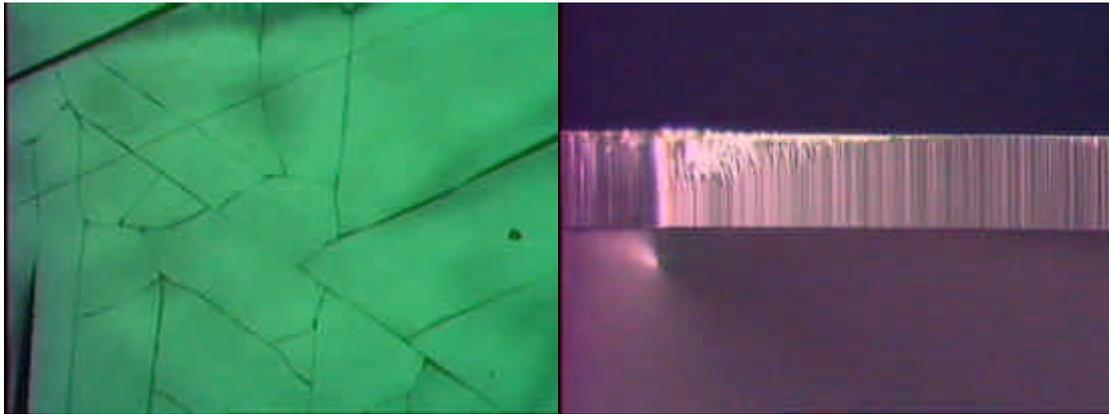


圖4. 試片v082表面之cracks及剖斷面，倍率：100和500，GaN厚度22um

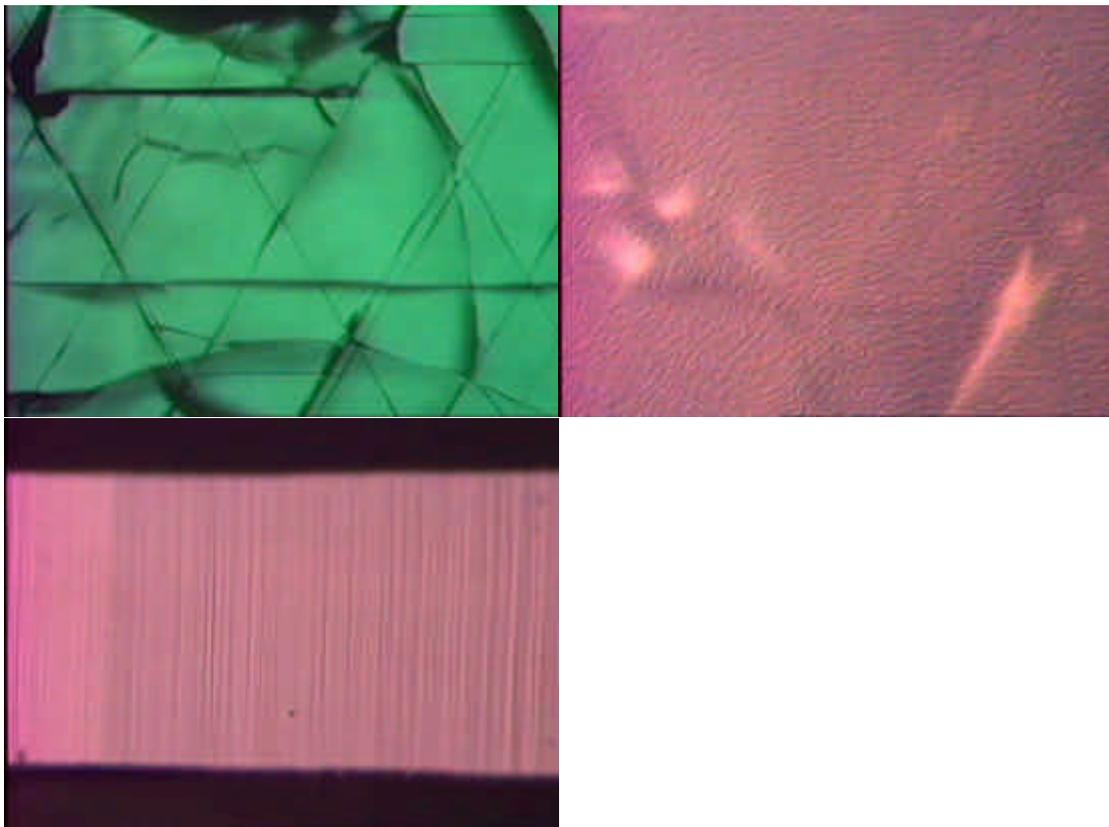


圖5. 試片v083內部之cracks、表面及剖斷面照片，倍率：100、200和500，GaN厚度70um

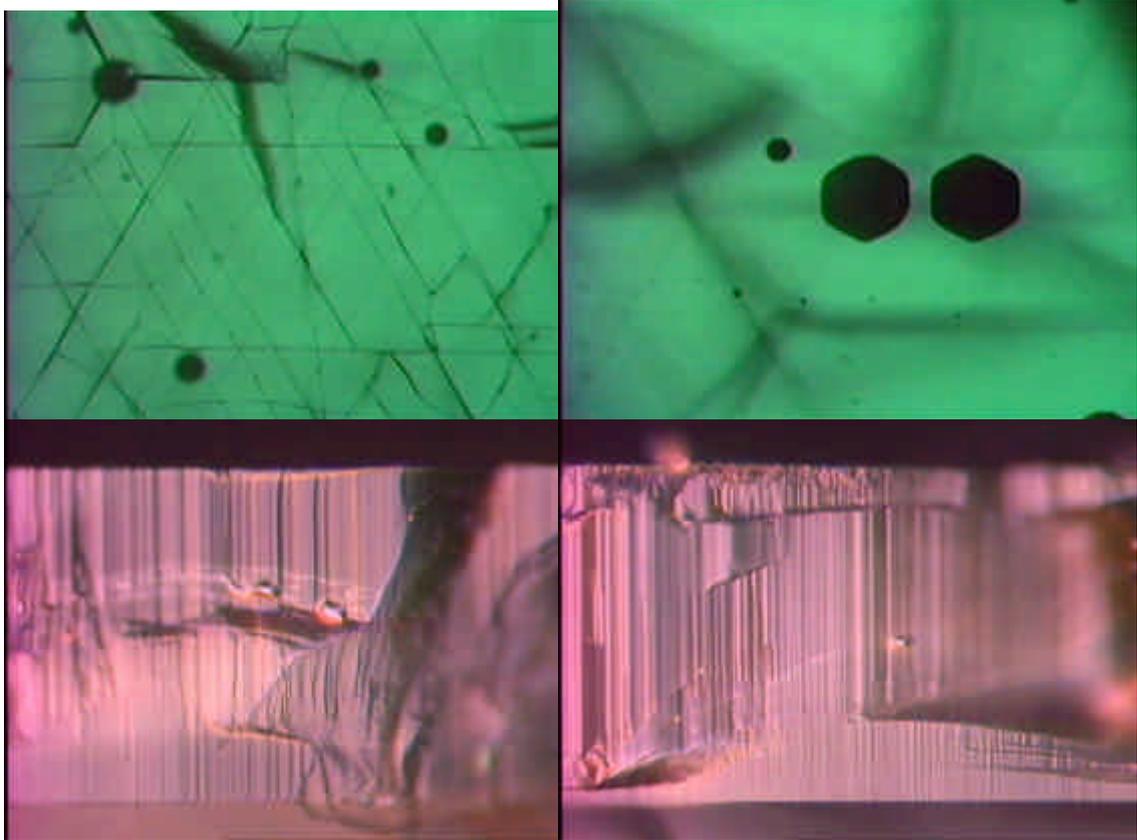


圖6. 試片v084內部之cracks、孔洞及不同位置之剖斷面Ga drops照片，倍率：100、200、500和500，GaN厚度76um

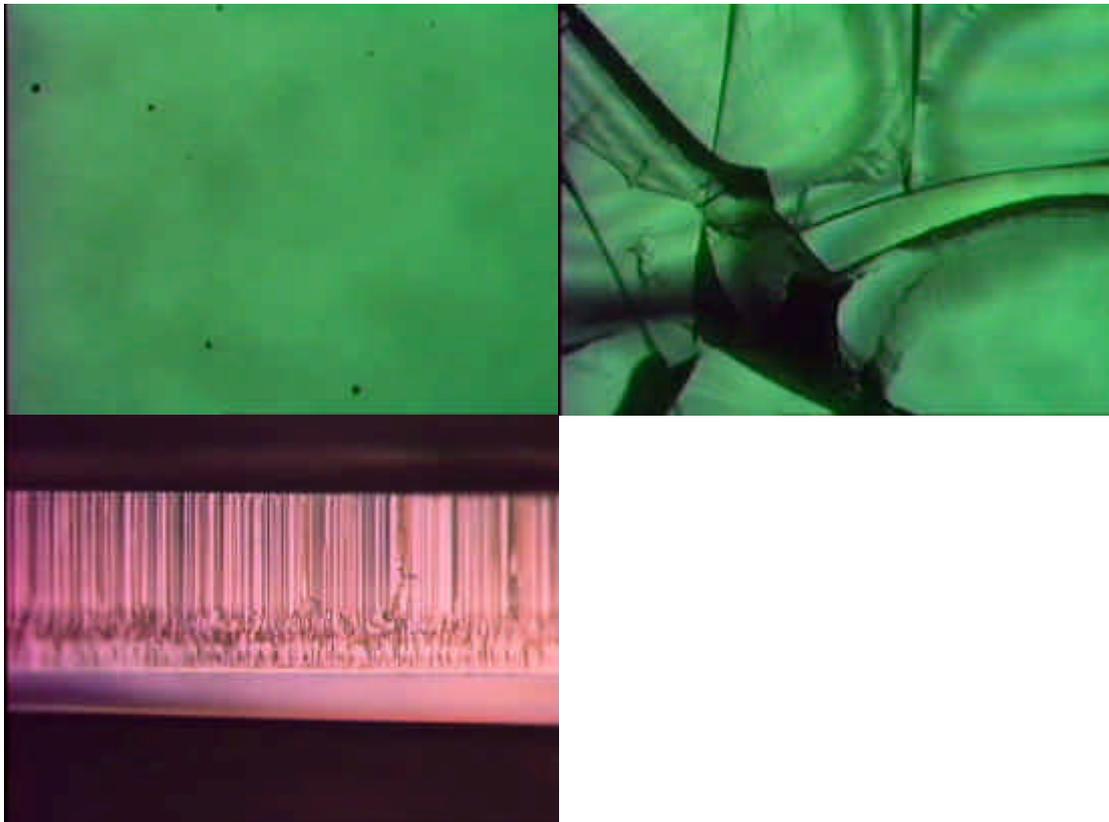


圖7. 試片v085內部之小孔洞、大裂痕及剖斷面照片，倍率：100、100和200

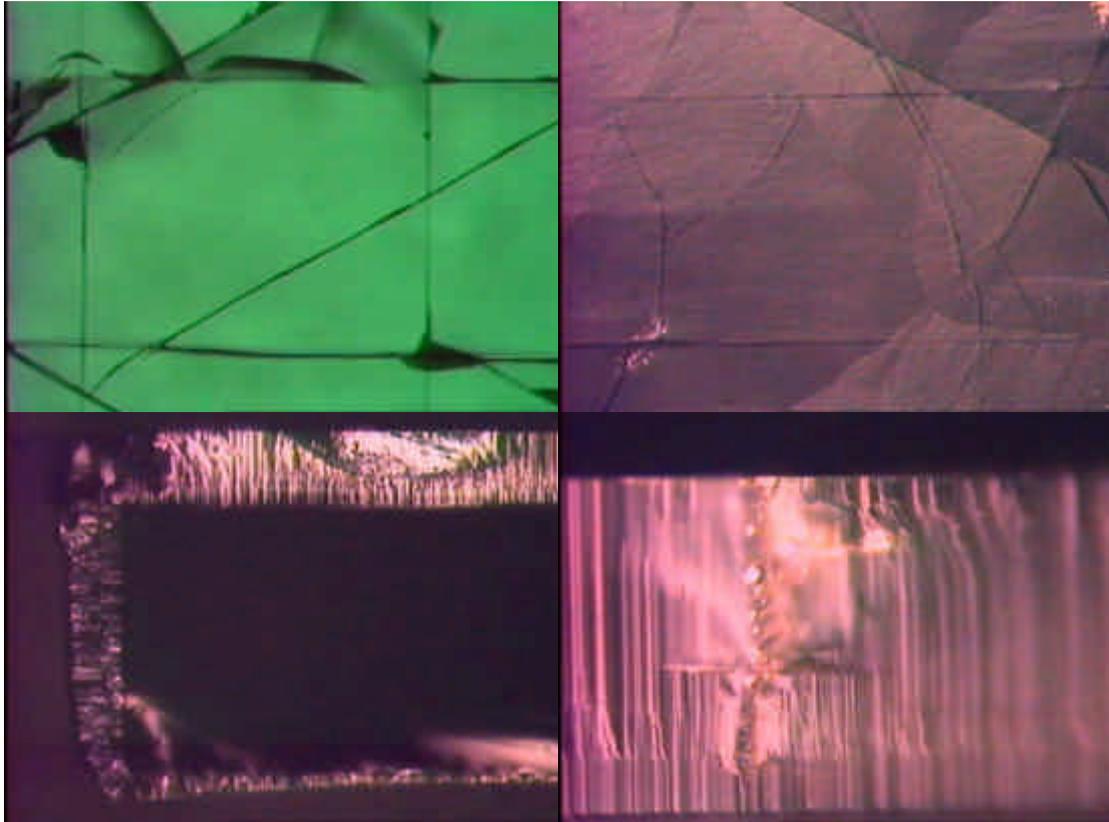


圖8. 試片v086內部及表面之cracks、孔洞、邊緣之剖斷面、及內部之剖斷面Ga drops照片，倍率：100、100、100和500

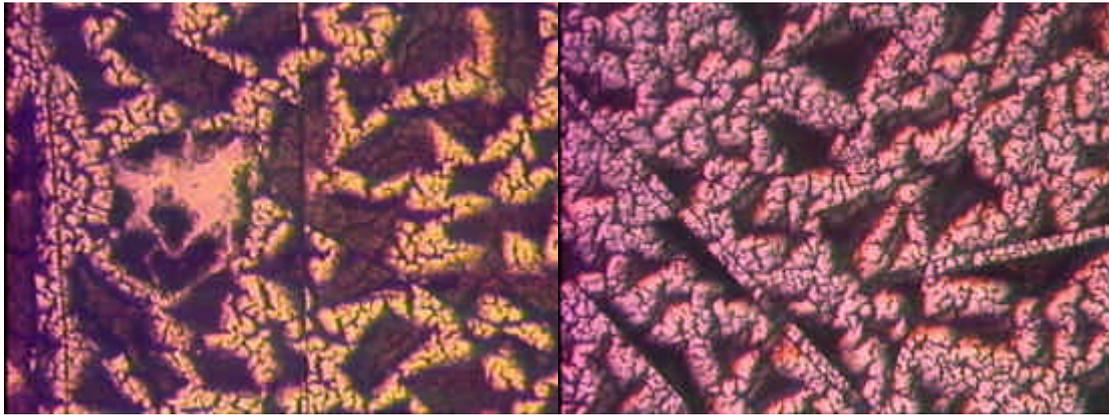


圖9. 試片v087表面照片，先於sapphire上生長10umZnO，再生長GaN之情形。倍率：100、100