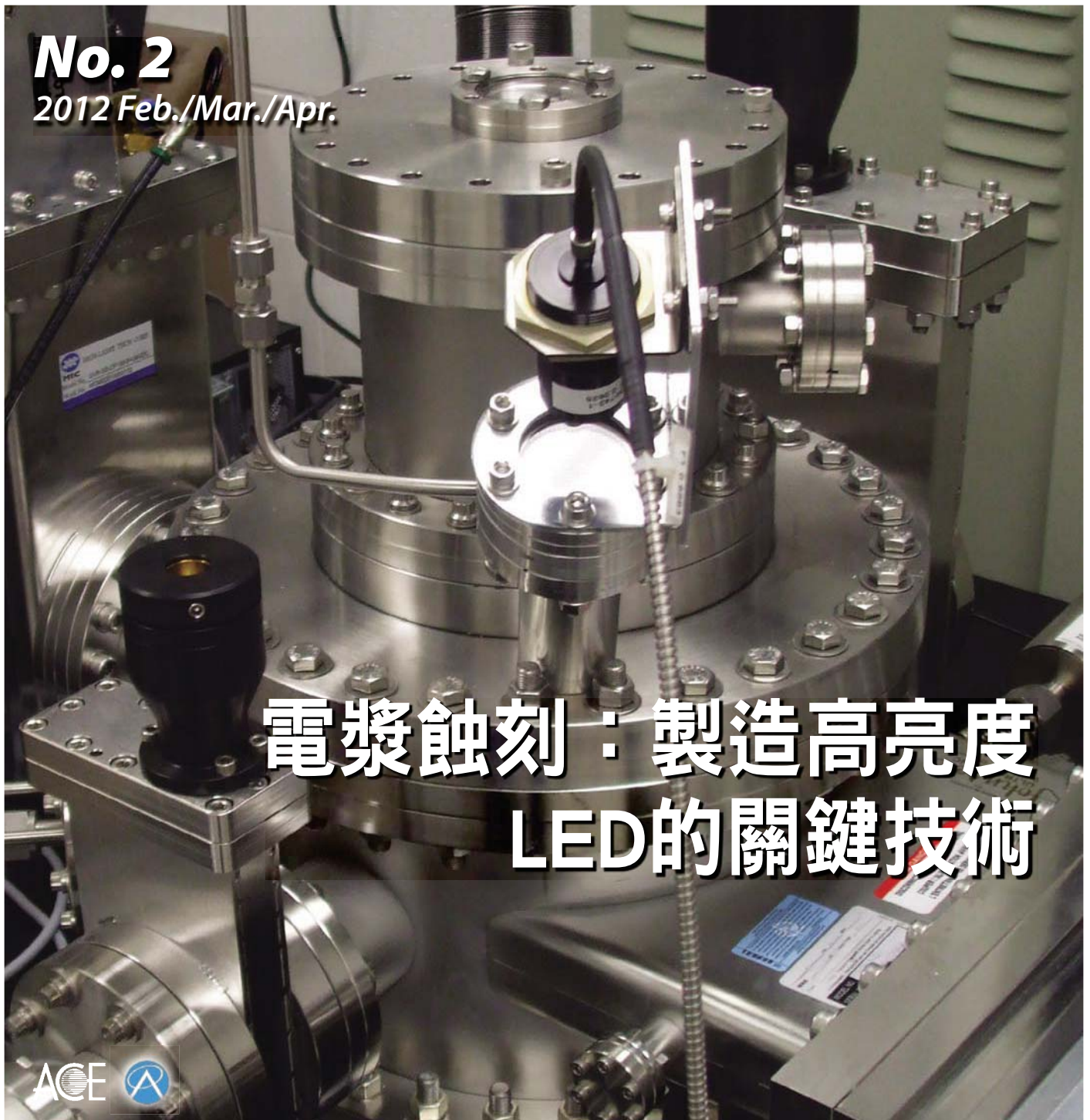


化合物半導體

CS COMPOUND SEMICONDUCTOR • TAIWAN

No. 2

2012 Feb./Mar./Apr.



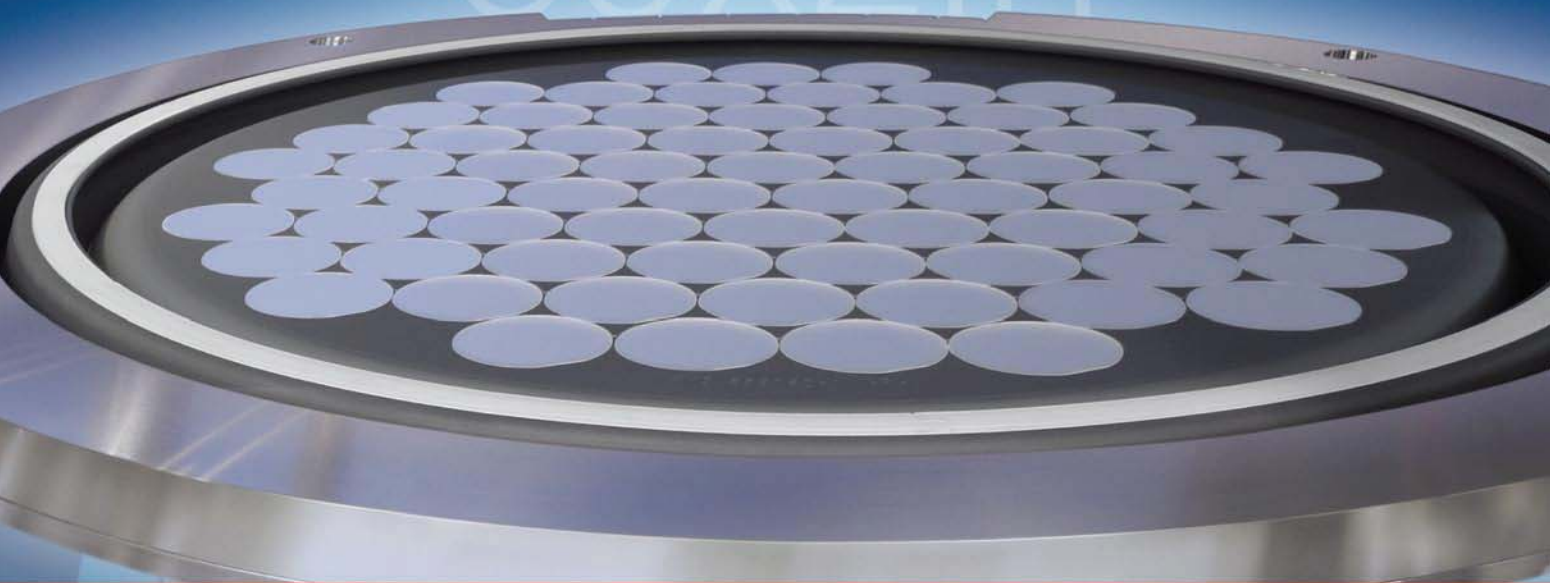
電漿蝕刻：製造高亮度 LED的關鍵技術

ACE

AIXTRON

Industry's largest and most productive MOCVD Reactor

69x2in



CRIUS® II-L



- Highest Throughput
- Lowest Cost of Ownership
- Seamless Product Transfer
- 69x2, 16x4, 7x6 or 3x8 inch

ALWAYS ONE STEP AHEAD

AIXTRON SE · info@aixtron.com · www.aixtron.com

TAIWAN INT'L TILs LIGHTING SHOW 台灣國際照明科技展



展出項目

- 家用照明
- 商業照明
- 工業照明
- 辦公照明
- 戶外照明
- LED技術
- 燈具零件暨配件
- 照明控制系統
- 照明生產設備、儀器、檢測設備

3月 13-16 2012

台北世界貿易中心展覽一館

www.TILS.com.tw



委辦單位：



經濟部國際貿易局

主辦單位：



中華民國對外貿易發展協會



台灣區照明燈具輸出業同業公會



COMPUTEX TAIPEI



Shaping the Future!



JUNE 5 - 9 2012

www.ComputexTaipei.com.tw

For further information, please find your nearest TAITRA office online :
<http://branch.taiwantrade.com.tw>

Organizers:



Venues:

TWTC Nangang Exhibition Hall
TWTC Exhibition Halls 1 & 3
Taipei International Convention Center

Control Your Wafer Quality

SEMICON® Taiwan2011 Sep. 7-9
See us at Booth #A708 - Hall 1

創新技術發表會 Sep. 7 12:30-13:00
See us at Booth #3052

G&N

Wafer Grinder 晶片研磨機

- 穩定度高, CoO(Cost of Ownership)最低
- 鑽石磨輪適用各種半導體材料(Si or GaAs III-V group)精密陶瓷、金屬或玻璃材料之研磨
- 真空吸著固定材料, 厚度設定可由面板任意輸入
- 研磨輪可選用#400~#2000
- Table直徑300mm

MPS 2 R300DCS



ISIS

Contactless Layer Thickness Measurement 光學式晶圓厚度、翹曲度量測儀

- 適用於Bumped Wafer, Multifoils Wafer in Packing, Photoresist Layer, MEMS SOI, GaAs, Glass, TSV等
- 可同時顯示多層不同材料厚度(最多8層)
- 量測光點直徑最小(min 8 μm)
- 單一機台同時適用多種不同晶片尺寸(2"-12")
- 內建翹曲度及內應力(Stress)量測, 並可選配粗糙度(Roughness)量測功能



SemDex 301

E+H

Automatic Wafer Geometry Gauge / Sorter 全自動晶圓量測分類儀

- 6"-8"晶圓專用, 雙機械手臂傳送
- 可量厚度、TTV、翹曲度、電阻值、P/N
- 五個Station, 可任意設定多進多出分類模式, Throughput可達200wafer/hr以上
- 支援SECS/GEM功能
- 支援WaferStudio 3D功能

MX 204-608



E+H

Wafer Geometry Gauge 非接觸式晶片量測儀

- 非接觸式電容感應量測方式
- 最小刻度為0.1μm, 重覆性誤差0.25μm
- 測量時間5 sec./wafer
- 可測量Thickness, Flatness, Warp, Bow
- 支援Wafer Studio功能

MX203-series



HOLOGENIX

Slip Line Detection System 全自動晶圓邊緣缺陷檢查設備

- 多元化製程應用(磊晶、氧化、擴散、拋光、SOI等)
- 全片或單一區塊表面量測檢驗
- 全自動晶圓片表面缺陷檢驗
- 光學非接觸式量測
- 可圖像顯式量測缺陷處

Slip Finder



ISIS

Fully Automatic Wafer Inspection System 全自動光學式晶圓厚度、翹曲度檢測設備

- 高效率的晶圓自動化傳送
- 最大晶圓量測尺寸為12", 並可同時擺放兩個FOUP
- 非接觸式量測, 最薄可量厚度為2.5μm, 並可依據量測結果自動計算bow/warp
- 可支援SECS/GEM傳輸協定

SemDex A32



Chunson 冲成有限公司
JC's Chunson Limited

TEL:+886-2-3234-1279 <http://www.chunson.com>
FAX:+886-2-3234-7056 E-mail:info@chunson.com

2012年2/3/4月 No. 2

董事長

王耀德 Owen Wang

總經理／發行人

施養榮 Douglas Shih

主編

于嘉言 Nelson Yu
nelson@arco.com.tw

美術編輯

曹宇容 Rebecca Tsao
rebecca@arco.com.tw

廣告刊登

Tel: 02-2396-5128 分機204

發行・訂閱

Tel: 23965128 分機233
Fax: 23967816

發行所

A member of the ACE Group
亞格數位股份有限公司
台北市八德路一段五號七樓
Tel: 886-2-23965128 (代表號)
Fax: 886-2-23967816

Compound Semiconductor

Published by

Angel Business Communications Ltd,
Hannay House, 39 Clarendon Road,
Watford, Herts WD 17 1JA, UK
Tel: +44 (0) 1923-690200
Web site: www.compoundsemiconductor.net

Editor in Chief

David Ridsdale-david.ridsdale@angelbc.com

Director of Solar & IC Publishing

Jackie Cannon- jackie.connon@angelbc.com

行政院新聞局出版事業登記證局版

北市誌字第2320號

中華郵政北台字第6500號執照登記為雜誌交寄

版權所有，非經書面同意，不得轉載



亞岱國際集團經營出版、展覽與會議、公關、
創業投資顧問及相關網站，為全球最大高科技產業
整合行銷服務集團之一。

©2012 版權所有 翻印必究



技術前瞻 · Trend

8

高效率二維氮化鎵藍光發光二極體陣列

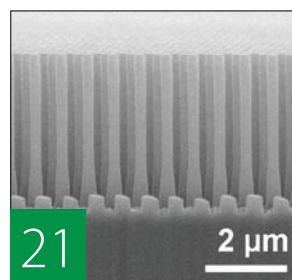
氮化鎵鎵奈米柱結構其獨特的物理性質，如低缺陷密度之晶格品質以及有效釋放材料應力所衍伸之量子侷限斯塔克效應等特性，在國際學術上已獲得廣泛的討論。也因其可以同時提升發光元件的自放光與光淬取效率，產業界也投入相當的人物力於此前瞻的研究當中。然而，對於氮化鎵奈米柱結構其物理及光電特性的探討，卻只有少數的論文發表。

CS精選 · CS Features

21

電漿蝕刻：製造高亮度LED的關鍵技術

每個HBLED製造商的目標都是花更少的錢獲得更多的光輸出。面對強大的競爭和多技術障礙，至關重要的是所有生產步驟的推進都要產生最佳的效果。優化的電漿蝕刻提供了幾種方法以改善元件的輸出並降低製造成本，從而實現雙重贏利。



23

理論學者揭示是Auger機制引起LED發光效率的降低

24

揭開高電子遷移率電晶體HEMT性能退化之謎

28

稜錐結構引領單片白光LED邁向光明

33

反置磊晶提高LED發光效率

36

大幅降低氮化物生長的溫度

目前金屬有機物化學氣相沉積（MOCVD）設備的銷售額已經達到了驚人的水平。根據IMS Research的研究報告，在2010年中，MOCVD設備的出貨量達到了800台左右，今年的出貨量預計還將增加4%。



6

產業新聞

40

廣告索引

16

市場瞭望

2012 LED產能持續提升 高亮度LED比重增加

SEMI最新Opto/LED Fab Watch報告指出，全球LED製造產能將比2011年成長27%，預計達200萬片，LED製造設備支出2012年則預計將下滑18%。其中，2012年台灣產能將佔全球25%，蟬連第一，台灣設備支出則預計達3.21億美元，佔全球第二。值得一提的是，台灣廠商在大陸地區的投資約佔大陸設備支出四分之一，加上台灣本地的投資金額，可達5億美元，顯見台灣廠商在LED設備市場的影響力。

受惠於LED背光電視的普及，以及中國政府的補貼政策與刺激經濟方案的資金奧援下，近年全球高亮度發光二極體(HB-LED)的產能擴充大幅成長，但隨著政策的調整與大環境的變動，2012年全球的有機金屬化學氣相沉積系統(MOCVD)的機台採購金額預計將下滑40%，新機台的採購數量將較去年大幅減少，部分投資將轉向現有機台的升級，這也使得整體LED相關的設備支出將呈現五年來的首次下滑。至於非MOCVD的設備支出則預計2012年將呈增長態勢，主要因為製造商須達生產最佳化，並提升產品設計品質，特別在微影、蝕刻、測試和封裝設備的支出最明顯。

目前LED的照明市場規模約為25億美元，預計在2020年將超過300億美元。台灣政府今年投入約新台幣24.24億元實施LED路燈示範計畫，包括LED路燈示範城市計畫、LED路燈節能示範計畫、擴大設置LED路燈節能專案計畫，預計帶動新台幣44.81億元產值。

從地區來看，2012年台灣產能預計將以25%的佔有率蟬連全球第一，其次是中國的22%。設備支出方面，2012年中國設備支出預估將以7.19億美元居全球之冠，其次是台灣3.21億美元，而日本和韓國緊接在後，分別為3億美元和2.6億美元。至於新品圓廠興建部份，SEMI估計2011年全球有29家新LED晶圓廠，2012年則預測將有16家新品圓廠上線。

SEMI台灣暨東南亞總裁曹世綸表示：「近年TV背光需求成長及LED照明市場擴大，台廠億光、晶電和光寶皆表示今年營收預計將優於去年，SEMI更預估2020年LED將超過300億美元市場規模。面對如此活絡的市場，SEMI在全球LED製造重鎮，包括台灣、中國、韓國皆舉辦國際LED製程展，透過整合SEMI資源，我們希望幫助台灣廠商連結全球市場，尋找合作夥伴、提升全球競爭優勢。」

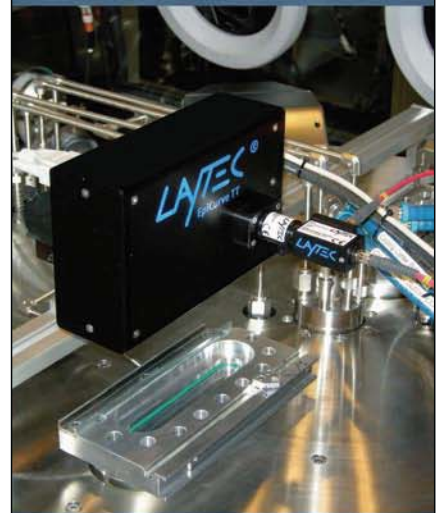
執行主編

于嘉言

nelson@arco.com.tw

讓您的產能
最大化
提高您的競爭力

EpiCurve® TT:
使所有晶片都達到三
族元素均勻組成的一
致性



LayTec模組化即時監控
產品，能實現全程磊晶
生長控制以及提供彈性
化升級選擇

LAYTEC
in-situ metrology

LayTec 台灣獨家代理
佳霖科技股份有限公司
聯絡人: 楊順和
聯絡電話: +886 (0)3 553 65 25
Email:
michael_yang@challentech.com.tw

產業新聞 ◆ Market News

溫度穩定的新一代 Oslon SSL LED 更具平穩效率

歐司朗光電半導體的Oslon SSL LED 代表了高亮度輸出。新一代高功率LED 的效能更是得到極大改善，光率提升約 20%，必將獲得使用者一致好評的。不單如此，在溫度升高之下，這LED 的光通量仍非常穩定。要能做到這一點，必須要保持一個相當穩定的發光效率，即便在高溫作業下亦是如此。由於這樣的最佳條件，因而大幅簡化了照明設計的發工作。

透過新一代的Oslon SSL LED，歐司朗光電半導體可提供溫度極為穩定的光源。這種LED在暖白光下（3000K）一般可提供98 lm的光通量，操作電流為350mA，即便晶片的作業溫度達85°C時亦能有這樣的表現。在典型的96 lm/W發光效率（指光通量與消耗電力輸出之間的比率）之下，這是目前市場上能找到最有效率的1 mm²晶片LED。高光通量結合3.1V的順向電壓，與上一代相比之下提升了約25%的效率。對於照明解決方案的製造商來說，照明開發工作變得更為輕鬆，即以更少的LED便可達到同樣的光通量，而且光效亦無折減。

晶片科技、螢光粉轉換及封裝的最新發展，是Oslon SSL達成最佳效能的秘訣。其光通量的高溫穩定性，即便在「炎熱」的應用環境下都能運作，大幅簡化了溫度管理。歐司朗光電半導體德國總部的市場經理Martin Wittmann表示：「效率的提升不僅說明瞭客戶所要支付的初始成本降低，也讓開發照明解決方案變得更加輕鬆。」

新的歐司朗Oslon SSL LED有屬EC類「暖白光」（3,000K），適合室內

照明如筒燈；也有屬PC類「冷白光」（5,000K），適用於戶外照明。跟上一代歐司朗的Oslon SSL產品系列一樣，新款LED也是3毫米 x 3毫米的小型元件，並提供兩種不同的透鏡。拜封裝反射性所賜，照射到旁邊或後面的燈光將會反射回來，可以再利用。Martin Wittmann補充說道：「因此，這一代的LED結合了螢光粉轉換與反射性封裝，確保在不同的角度看來同樣達成最佳的光色一致性。」

SUSS MicroTec和GenISys在接觸式微影類比軟體上進行合作

SUSS MicroTec與奈米級製造軟體方案供應商GenISys，日前宣佈一項合作，將在SUSS MicroTec的接觸式微影設備上結合GenISys類比軟體Layout LABTM。

GenISys的Layout LABTM已經完成了SUSS MicroTec接觸式微影設備目前所有光學系統的精確模型。SUSS MicroTec和GenISys將聯手推廣帶有微影類比軟體Layout LABTM的接觸式微影設備技術。微影設備和配套類比軟體的結合對於從事元件開發的用戶而言，是實現高性價比的關鍵成功因素。

「MO曝光光學系統是SUSS目前最複雜的、最新的曝光光學技術，可在接觸式微影機上實現照明整形和光罩版圖優化。」SUSS MicroTec集團總裁兼執行長Frank P. Averdung說，「與GenISys類比軟體的結合是一項關鍵技術，可實現大量不同源圖形的輕鬆建模。」

GenISys副總裁Nezih Unal表示，「Layout LAB專門針對接近式光學微影，是一個專業的全3D類比平臺，可在大量類比運算後，優化出光罩版圖和曝光條

件。節約成本，縮短產品上市時間。」

意法半導體突破LED相機閃光燈極限

意法半導體（STMicroelectronics）將讓尺寸精巧的數位相機和智慧型手機能夠滿足用戶提高內建閃光燈輸出功率的要求，同時支援更先進的用戶控制功能。

意法半導體的新晶片STCF04是一個內建的閃光燈/手電筒雙模式相機閃光燈控制器，能把LED閃光燈模組的最大功率從當今一般的幾瓦功率設計提高到40W以上，發出戶外安全泛光燈級別的亮度。新產品還可提供更多的閃光燈和手電筒亮度控制功能，閃光燈模式有8個用戶可選亮度，手電筒模式有12個用戶可選亮度，並提供一個光線感測器輸入。控制器晶片內建閃光燈和手電筒安全計時器、溫度感測器和短路保護功能。

STCF04採用意法半導體獨有的架構設計，整合1個超級電容、1個高電流MOSFET開關離散元件和多支高功率白光LED燈，是高亮度緊急閃光燈以及相機和相機手機閃光燈的理想選擇。

MOSFET離散元件是STCF04的功率高於同類產品的關鍵所在，因為其它品牌的控制器只整合一個小功率的MOSFET。新產品讓設計人員能夠用LED閃光燈替代傳統的高功率氙閃光燈（xenon flash），以滿足當今高解析度相機感測器對更高光能的要求，同時並擁有設計精巧且簡單的優勢。

意法半導體已開始向兩大主要合作夥伴村田（MURATA）和歐司朗（OSRAM）提供STCF04樣片。株式會社村田製作所是市場領先的超級電容製造商，歐司朗則是全球領先的智慧型手機

Market News ◆ 產業新聞

閃光燈模組供應商，這兩家公司並已開始展示採用該晶片的最新產品。

瑞薩電子發表LED照明用途的高效率驅動器IC 內建調光功能

瑞薩電子宣布推出全新LED驅動器IC—R2A20135SP。這款最新的驅動器IC系列產品是專為高準確度、高效率LED燈光系統所設計，採用晶片式調光功能，並可將所需的安裝區域縮小40%，成為LED照明設備製造商的理想解決方案；瑞薩電子亦推出搭載新驅動器IC的R2A20135EVB-ND1評估板，協助系統設計人員進行開發。此外，瑞薩電子並提供高效能功率MOSFET系列，可與LED照明系統的驅動器IC搭配，做為採用此二類型裝置的套裝解決方案。

LED照明系統結合低耗電量、高效率與長效使用壽命等特色，近年來廣受矚目，全球各產業無不爭相採用，以節省用電量及二氧化碳排放。LED不只在工業與商業設備中受到廣泛採用，在戶外與家庭用途的照明設備也隨處可見，而LED產品的市場預期將持續呈現大幅成長。

2011年瑞薩電子開始量產高效率R2A20134 LED驅動器IC，除具備高功率係數、能執行如LED開關切換功能外，更專為可內嵌於LED燈管用途所設計。其驅動器IC可使LED照明系統的規格進一步縮小且提升效能，在新推出的R2A20135SP裝置中並增加了TRIAC調光支援。整合調光功能後便不需專用的外接電路，省去所需的電路板空間與材料費用。

AIXTRON新的研發中心接收首台乾式吸附設備

Aixtron SE為其新的研發中心選擇

CS Clean Systems的乾式吸附設備。11台CLEANSORB廢氣處理系統將用於位於德國和中國Aixtron研發中心的MOCVD設備和製程。

總共有11台CLEANSORB CS200SC型設備安裝在了德國亞琛Dornkaul的Aixtron研發中心，以及中國蘇州工業園區（SIP）新的培訓設施中。蘇州培訓中心是Aixtron與久負盛名的蘇州奈米技術和奈米仿生研究所（SINANANO）建立的合資企業。在構建和運行後，CLEANSORB乾式吸附設備將由設在上海的CS CLEAN SYSTEMS（中國）辦事處提供直接服務。

對於MOCVD生長和III-V族磊晶結構蝕刻的氣體和液體有機金屬前體來說，在毒性、自燃和腐蝕性方面非常關鍵。CLEANSORB乾化學吸收技術不使用活性炭或其他可燃材料。通過室溫下的乾化學反應，有害氣體被轉換為穩定的固體副產品，無需加熱或產生污染廢水。

密封的CLEANSORB吸收柱設計可確保MOCVD用戶絕不會接觸到有毒的MOCVD副產品。在吸收壽命結束時，CLEANSORB柱返回到本機CS Clean Systems服務合作夥伴進行維護。在翻新和再充新鮮化學吸收劑後，再將吸收柱運回給客戶進一步使

用。**CS/Taiwan**

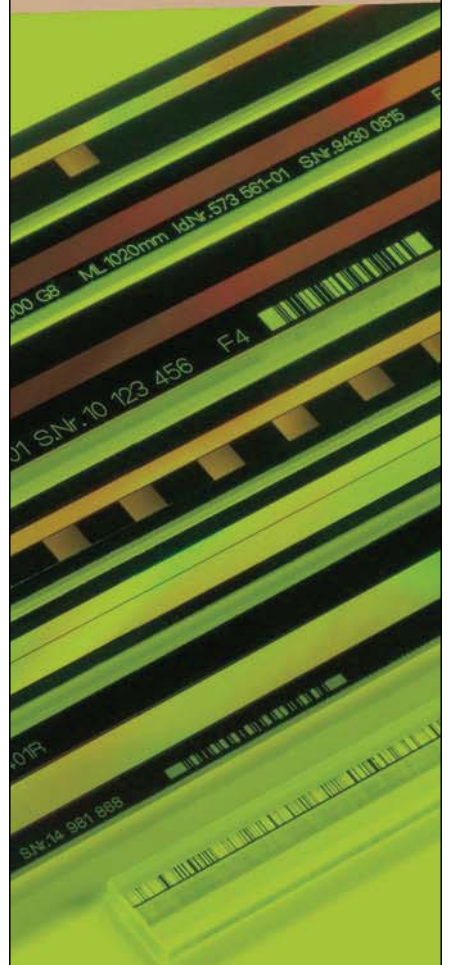


CLEANSORB乾式吸附設備CS200PS
PRIMELINE系列具備可再充CLEANSORB柱

HEIDENHAIN
領先創新

世界首見 LIC 4000 真實絕對式光學尺，意謂不需要電池記憶定位設備原點。最重要的是用 EnDat2.2 資料傳輸可讓定位設備更加安全。

具備最長27米量測長度及1奈米解析度



HEIDENHAIN CO., LTD
海德漢股份有限公司
www.heidenhain.tw

高效率二維氮化鎵藍光發光二極體陣列

李亞儒／國立臺灣師範大學光電科技研究所

邱清華、郭浩中、盧廷昌、王興宗／國立交通大學光電工程學系

林尚佑(Shawn Lin)、Sameer Chhajed、Jong Kyu Kim、E. Fred Schubert／

The Future Chips Constellation, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York

氮化鎵奈米柱結構其獨特的物理性質，如低缺陷密度之晶格品質以及有效釋放材料應力所衍伸之量子侷限史塔克效應等特性，在國際學術上已獲得廣泛的討論。也因其可以同時提升發光元件的自放光與光淬取效率，產業界也投入相當的人物力於此前瞻的研究當中。然而，對於氮化鎵奈米柱結構其物理及光電特性的探討，卻只有少數的論文發表。本文章提出一個新穎的奈米電極製作技術，系利用斜向電子束蒸度的技術，藉由奈米柱本身對於電子束蒸度氣流的屏蔽效應，直接在二維奈米柱陣列上製作奈米電極，最終達到電激放光。握們所提出的二維氮化鎵藍光發光二極體陣列在注入電流為二十毫安培時 ($I=20\text{ mA}$)，其光輸出功率約為 $3,700\text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。我們相信此創新的奈米電極製作方式，將會為奈米結構的光電元件開創新的契機。

前言

隨著地球能源逐漸匱乏，再加上全球暖化與環保意識抬頭，新穎綠色能源的開發顯得格外重要。近年來，利用半導體發光二極體(LED)之固態照明技術，以其節能省電、高壽命、環保、多樣性等種種優點，逐步漸進地取代傳統照明工具 [1]。除了應用在照明外，LED高光

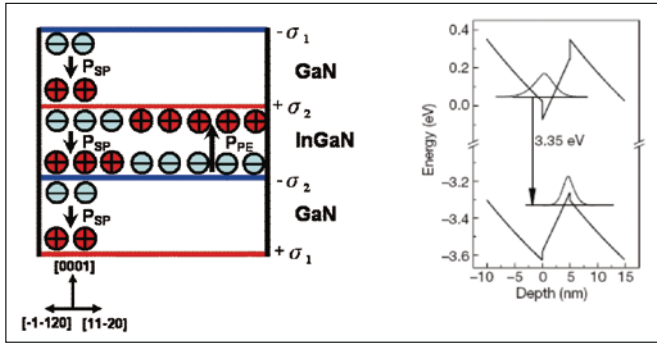
電能轉換效率的特性，使其亦被廣泛地應用在如液晶顯示器、手機或是大型彩色顯示光學當中，具有相當大且前瞻的市場應用潛力 [2,3]。以白光發光二極體而言，現階段的發展主要集中在氮化鎵鎵材料上，其技術發展主要集中在 1. 磊晶品質的改善來增加輻射複合(Radiative recombination)效率，亦即提升LED內部量子效率[4-11] 2. 降低光子在表面全反射的機率，進而提升LED汲光效率 (Light extraction) [12-15] 以及 3. 改善在高電流注入的情形下，發光效率因在氮化鎵/氮化鎵量子井中polarization charge不匹配所造成的下降(Efficiency droop) [16-20]。本文章將提出一新穎LED結構—高效率奈米柱發光二極體陣列(High efficiency nanorod LED arrays)；此新穎的結構將可同時改善並克服上述現階段氮化鎵發光二極體開發上的主要瓶頸。

相關背景知識

1. 氮化鎵/氮化鎵量子井結構之發光機制

一般而言，氮化鎵/氮化鎵量子井乃為現今製作白光發光二極體的基本結構，且氮化鎵材料大多沿著[0001]方向成長，亦即是成長在c-plane的藍寶石基板。成長在c-plane的藍寶石基板除了有著與氮化鎵晶格常數不匹配的問題

外，氮化鎵因其成長為hexagonal wurtzite結構，也會在c-軸上產生spontaneous polarization。除此之外，piezoelectric polarization也會因晶格常數的不同而產生的應力 (strain)，在III-Nitride的介面發生。如此一來，總的polarization 會產生electrostatic charges 累積堆疊在氮化鎵合金介面，進而產生所謂的量子侷限史塔克效應(Quantum-confined Stark effect—QCSE) [21-23]。量子井層中之能帶 (energy band) 會因此傾斜，使得電子與電洞之波函數彼此分離，導致二者波函數之重疊積分 (overlap integral) 減少，降低載子複合效率與LED內部量子效率，如圖一所示。為了解決壓電場所造成LED內部量子效率降低的問題，不少相關技術：如發展非極性(non-polar)與半極性(semi-polar)的LED，以就是以a-或是m-plane 來成長氮化鎵/氮化鎵量子井 [24-27]。可是，在要這些特殊晶格方向面上成功地控制threading dislocations 與 basal-plane stacking faults有相當的難度，而且需要磊晶多方面的實驗配合。然而，由上述對於QCSE的描述，我們知道如果在氮化鎵/氮化鎵量子井中，因為晶格常數不同所產生的應力可以獲得適當程度的釋放 (Strain release)的話，橫跨在氮化鎵/氮化鎵量子井之piezoelectric filed 將會下降，位能傾斜度將會變小，

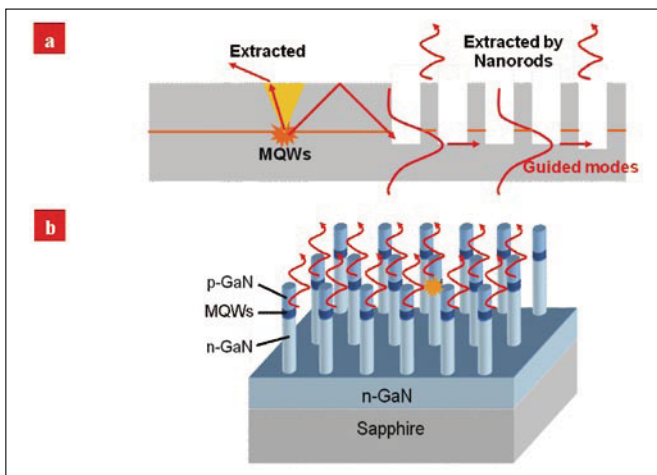


圖一：Spontaneous 與 piezoelectric polarizations 在氮化鎵鎵/氮化鎵量子井中所造成的 electrostatic charges (左圖) 以及位能函數的傾斜 (右圖)

內部量子效率也會獲得提升。在文獻當中已有針對氧化鋅 (ZnO) 奈米柱成長在藍寶石基板上並利用與雷射激發功率相關的拉曼散射光譜 (Excitation-power-dependent Raman scattering spectrum) 來探討不同奈米柱尺寸對於應力釋放的程度。沿用此觀點，倘若我們將傳統的氮化鎵鎵/氮化鎵量子井發光二極體製作成二維奈米柱陣列的話，原本存在於氮化鎵鎵/氮化鎵量子井中的應力將會得到釋放，piezoelectric field 也會獲得舒緩，更重要的是，此技術將可提升載子複合效率與提供更加穩定的 LED 發光頻譜輸出。

2. 發光二極體之汲光效率

在汲光效率的提昇方面，傳統的 LED 結構因其半導體層與空氣間的折射係數差異太大，大部分從量子井出射的光線都會因為全反射而被侷限在 LED Chip 當中。因此，如何打開半導體



圖二 (a)：氮化鎵鎵發光二極體利用 nanorod arrays 消除原本存在於 LED chip 內的 guided mode 之示意圖 (b) 二維奈米發光二極體陣列結構示意圖

層與空氣介面間因全反射的侷限，是增加光取出效率的重要議題。倘若我們將傳統的發光二極體結構製作成二維奈米柱陣列的話，如此一來元件將會增加了很多表面面積，此對於汲光效率的提昇將有很大的貢獻。因此，理論上可以把在量子井內的自放光輻射 (spontaneous emission) 耦合 (couple) 到自由空間中，消除原本存在於 LED chip 內的 guided mode，如下圖二所示。

3. 高注入電流之下，發光效率的下降

對一般氮化鎵鎵材料發光二極體而言，當注入電流很小時通常是幾個為毫安培，其發光效率最高；然而，隨著注入電流慢慢加大，所對應的發光效率則會漸漸地減小，這就是所謂的 Efficiency droop 的效應，如圖三所示，此效應嚴重的影響 LED 在實際上的應用。

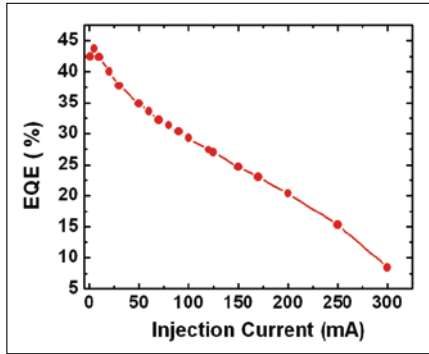
雖然 LED 的應用相當的多元與廣泛，然而，大部分的應用

RABOUTET S.A.

鉬材料製造商。
分子束外延材料。
可用於專業的清洗
和消毒。

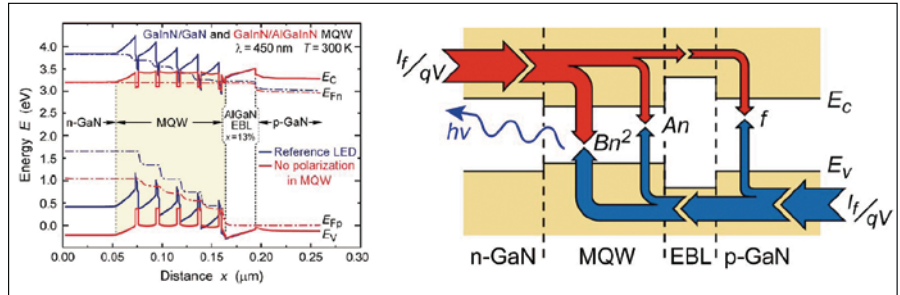
RABOUTET S.A.
地址：250 Av Louis Armand
Z.I Des Grand Prés
F-74300 Cluses France
電話：33 (0)4 50 98 15 18
傳真：33 (0)4 50 98 92 57
電子郵件：info@raboutet.fr
http://www.raboutet.fr

技術前瞻 ◆ Trend



圖三：典型氮化鎵鎵/氮化鎵量子井光發光二極體其發光效率/外部量子效率(External quantum efficiency, EQE)對注入電流的關係

都需要在將LED操作在高功率的情況下，也就是操作電流必須要大於350mA，從圖三我們可以知道在這樣大的注入電流下，LED的發光效率相當的低。這成此效應可能的物理原因仍頗具爭議，包含了注入載子從活性層區域溢流[16,19,20]、Auger複合[28]、注入電流的熱效應 (junction heating) [29]、以及載子從高錒位置的侷限低位能區域逃逸[30]等等解釋。其中，如圖四所示，因為在氮化鎵鎵/氮化鎵量子井polarization charge不匹配所造成在n-side的導電帶 (conduction band)比在p-side來的高，使得在高注入電流下，電子很容易溢流出活性層(MQWs)而與在p-side的電洞做非輻射複合一上述的物理機制，是目前針對efficiency droop形成的原因，最為廣泛接受的解釋。因此，存在於氮化鎵鎵/氮化鎵量子井中的polarization charges可以說是造成LED efficiency droop的主要原因。如先前所言，倘若我們將傳統發光二極體元件縮小為直徑約為100-200 nm的二維奈米發光二極體陣列的話，原本因應力而存在於氮化鎵鎵/氮化鎵量子井中的piezoelectric polarization將可獲得緩和。如此一來，注入電子溢流出活性層



圖四：理論計算氮化鎵鎵/氮化鎵量子井光發光二極體存在(藍色)與抵消(紅色) polarization charges下的能帶以及注入電子溢流出活性層(MQWs)到p-GaN與電洞做非輻射複合的示意圖

(MQWs)到p-GaN與電洞做非輻射複合的機率便會降低，efficiency droop 的情形也會獲得改善。

由此我們可以知，本文章所提出的奈米發光二極體陣列是一個新穎且高突破性的結構，它可以從本質上來解決困擾氮化鎵鎵發光二極體許久的問題；包含了同時改善內部量子效率、提升汲光效率及緩和在高電流注入效率下降等重要議題。

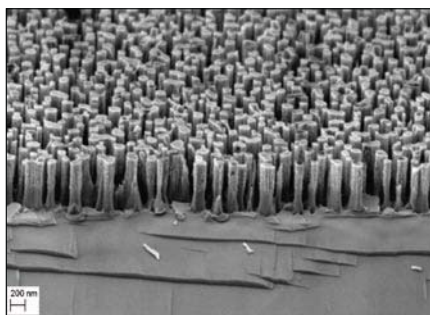
國內外相關研發狀況

針對氮化鎵奈米柱陣列的形成，在很多國際的期刊中已有發表 [31-33]，此結構預期達到的效應包含了先前提到藉由形成奈米柱來釋放應力、降低壓電場效應以及光取出效率的提昇。然而，大部分形成奈米柱陣列結構多是利用長晶的方式直接生成的，包括日本Sophia大學Kishino教授[34]、美國New Mexico 大學Hersee教授等研究群[35]，國內清華大學物理系[36]與中山大學物理系[37]都有教授以MBE進行氮化鎵奈米柱成長。不過，電激發氮化鎵奈米柱發光二極體陣列的研究，除了韓國Chungbuk大學有零星的報告外[31,32]，全球研究者並不算多。大部分的關於電激發氮化鎵奈米柱發光二極體陣列的研究主要是並將奈米

柱之間先以不導電的聚何物(polymer)加以填充，例如spin-on Glass (SOG) [32]、SU-8 [38]、polymethyl methacrylate (PMMA) [39]，來將每根達奈米柱先絕緣一特別是n-type與活性層的區域，只把p-type 的區域裸露出來。緊接著在蒸度另一層導電層來連結奈米柱陣列的p-type 區域來達到電激發光。這樣的方法本質上有一些缺點：首先，對於氮化鎵奈米柱而言，典型的p-type 區域只有約100-200 nm，如何準確地控制其裸露出來的厚度與均勻性是很大的考驗。再者，當奈米柱彼此的間距過小時 (<80-100 nm)，polymer填充的效果也會打折扣，當導電層覆蓋在奈米柱陣列時，會造成漏電流的產生。最後，以polymer填充的方式將會多產生製作上的成本與不必要的良率損失，日後恐難為LED產業界所廣泛接受。因此，更加新穎的技術來有效電激發氮化鎵奈米柱發光二極體陣列是迫切需要的！在本文章當中，我們提出結合斜向電子束蒸度(Glancing angle E-gun evaporation) 的技術[40]，利用奈米柱本身對於電子束蒸度氣流的屏蔽效應(Self shadowing)，使得蒸度靶材只會沿著奈米柱的上表面成長，最終有效地連結整個二維奈米柱狀發光二極體陣列，詳細的實驗與結果如下所描述。

二維奈米柱狀發光二極體陣列之製作

同先前所描述，利用長晶方式直接成長氮化鎵奈米柱結構在技術的移轉上會有相當程度的困難，而且其開發時程也相對得較為冗長。因此，本文章介紹一種利用製程的方式，直接在成長在藍寶石基板的LED wafer上製作奈米柱結構。如此一來，不僅能縮短開發上的時程達到快速驗證的效果，在將來相關技術的移轉至產業界也相對的簡單。我們利用ICP-RIE來製作二維奈米柱狀發光二極體陣列。我們先在LED wafer的表面利用PECVD蒸鍍厚度約為300-nm的SiNx layer，並在其上表面利用E-gun蒸鍍50Å的Ni-layer。緊接著將試品利用RTA在850°C下退火一分鐘，因為Ni與SiNx-layer表面能的不同，經過快速退火的處理過後，Ni會因內具力自動縮成奈米等級的小球(Self-assembling nano-mask)。之後我們把Ni-sphere當作是Hard-mask，再利用ICP-RIE乾式蝕刻的方式將LED表面形成奈米柱的結構。圖五是氮化鎵發光二極體奈米柱結構的掃描式電子顯微鏡圖(SEM image)，其filling fraction (f.f.) 大約為20±4%，而且可以藉由Ni-cluster的RTA條件來做調變。每一根奈米柱包含了有p-GaN、五個氮化鎵鎵/氮化鎵量子井以及

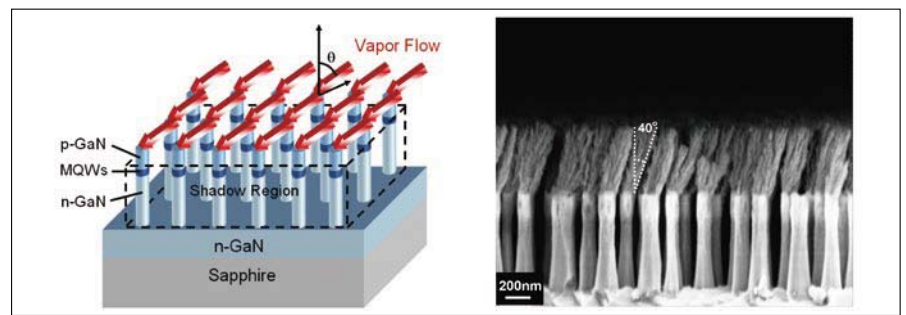


圖五：二維奈米柱狀發光二極體陣列掃描式電子顯微鏡圖，直徑約為100-150 nm

及n-GaN之LED結構，其ICP-RIE蝕刻深度約為700 nm。

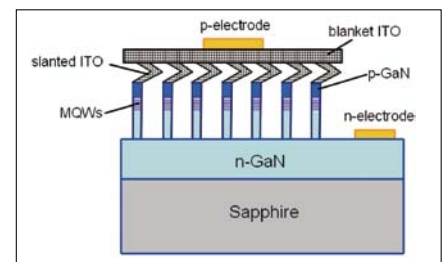
如圖五所示，我們所製作的奈米柱有很大的深寬比(height-to-diameter aspect ratio)，所以奈米柱本身對於傾斜的電子束蒸度氣流很容易產生所謂的屏蔽效應(shadowing-effect)。如此一來，蒸度靶材只會選擇性地沿著奈米柱的上表面成長。圖六係利用斜向電子束蒸度技術成長氧化銻錫(ITO)透明導電層於二維奈米柱狀發光二極體陣列之(a)示意與(b)掃描式電子顯微鏡圖。如圖六(a)所示，入射的ITO氣流會被奈米柱所遮蔽，如此一來，入射的ITO氣流只會成長在奈米柱的最頂端(p-GaN)；也就是說，在量子井以及n-GaN的區域將不會有ITO氣流沉積成長而有漏電路徑產生(leakage current)。對於二維奈米柱狀發光二極體陣列而言，這樣的電極製作方式將提供更有效的載子注入。由圖六(b)我們可以清楚地觀察到奈米柱的側壁是相當乾淨且沒有ITO沉積附著其上的，也就是我們成功地將奈米大小等級的電極直接製作在奈米柱上(nano-contact)，也因為奈米柱的側壁並沒有ITO附著，此製作方式不會有漏電流的產生。

由圖六的結果，我們發現斜向電子束蒸鍍技術有很高的潛力來有效電激發



圖六：(a) 傾斜入射的氣流選擇性成長在奈米柱頂端表面的示意圖。(b) 利用傾斜的電子束蒸度ITO成長在二維奈米柱狀發光二極體陣列之側視掃描式電子顯微鏡圖，其中ITO傾斜的角度約為四十度。

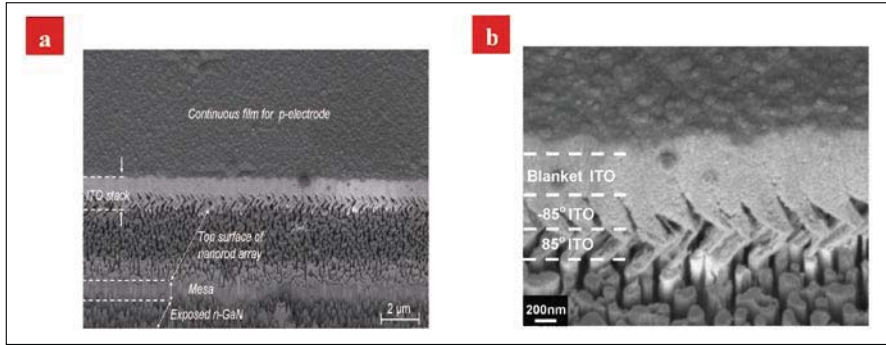
二維奈米柱發光二極體陣列，並且由斜向電子束蒸鍍技術的啟發，我們提出的新穎LED結構如圖七所示。此結構的優點是它與現階段LED產業標準製作流程相符合，產業利用性高。在這結構當中我們使用了三次斜向電子束蒸度來成長ITO透明導電層，傾斜的角度分別為 $\alpha=85^\circ$ ， -85° and 0° 。多次的傾斜電子束蒸鍍主要的原因是在於要將在空間中彼此相互分離的ITO branches (圖六b) 做有效連結。如此一來，原本在空間中彼此分離的二維奈米柱陣列，便可以藉由ITO膜層(ITO stack) 互相連結起來，注入載子便能有效地流經整個二維奈米柱發光二極體陣列，達到電激發光的效果。



圖七：本文所提出的新穎二維奈米柱狀發光二極體陣列結構示意圖

圖八(a)是我們成長ITO stack於二維奈米柱陣列mesa區域之側視掃描式電子顯微鏡圖。圖八(b)是較大倍率之側視掃描式電子顯微鏡圖；在此圖當中，我們主要聚焦觀察ITO stack。其中位於中間

技術前瞻 ◆ Trend



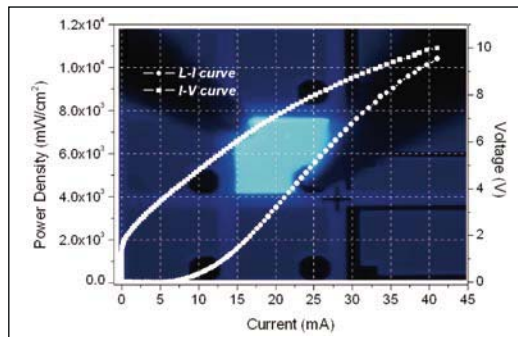
圖八：(a)成長ITO stack於二維奈米柱陣列mesa區域之側視掃描式電子顯微鏡圖。(b) ITO stack之高倍率側視掃描式電子顯微鏡圖

層ITO層($q = -85^\circ$) 其主要目的是在於防止及減少之後蒸鍍的ITO層($q = 0^\circ$)沉積在奈米柱跟奈米柱之間的空隙引發漏電流產生而造成元件短路。從圖八(b)中我們可以看到ITO膜層跟膜層之間彼此連結的相當完整，更重要的是，最上層 $q = 0^\circ$ 之ITO透明導層，呈現一個連續且相當平整的表面，因此可提供一個後續製作電極的平台。所以，電流從p-type電極注入之後，將可以均勻地從 $q = 0^\circ$ 之ITO透明導層擴散開來，再透過傾斜蒸鍍的ITO膜層($85^\circ / -85^\circ$)，將載子有效地注入到每一根奈米柱當中。

二維奈米柱狀發光二極體陣列之光電特性

我們利用斜向電子束蒸鍍技術所製作出的二維奈米柱狀發光二極體陣列，對於一個面積為 $300 \times 300 \mu m^2$ LED chip而言，其可注入之最高電流約為 $I = 100mA$ 。圖九的背景是我們將此二維奈米柱狀發光二極體陣列在注入電流為 $I = 20mA$ 時，所拍攝的發光影像。從此圖中我們可以發現光強度的分布相當地均勻，也就是說電流在此元件中的分布也是相當地均勻。更重要的是，我們

也可以從此圖中推斷載子注入到每一根奈米柱的效率也是非常地高且均勻。相較於先前文獻對於電激發奈米柱發光二極體陣列的製作方式，本製程並無牽涉到聚何物(polymer)的填充，所以先前填充不均勻的問題如非常低的注入載子濃度以及極為嚴重的漏電流等問題[38]，並不會在我們所提出的結構產生。就我們所知，對於奈米柱發光二極體陣列而言，這是第一個在chip-size scale ($300 \times 300 \mu m^2$)當中，在高注入電流密度下還能有效發光的結構。圖九是元件光輸出強度(實心圓點，L-I curve)與電壓(實心方形，I-V curve)對於輸入電流所做的圖形；由此圖可知，我們的奈米柱發光二極體陣列其L-I與I-V曲線展現出典型的p-n



圖九：奈米柱發光二極體陣列其光輸出強度(實心圓點，L-I curve)與電壓(實心方形，I-V curve)對於輸入電流所做的圖形。此圖的背景是我們將此二維奈米柱狀發光二極體陣列在注入電流為 $I = 20mA$ 時，所拍攝的發光影像。

junction特性。當注入電流 $I = 5-10mA$ 時，我們觀察到輸出光強度緩慢的增加，但當注入電流 $I > 10mA$ 時，輸出光強度隨著注入電流很快且線性地跟著增強。

當注入電流 $I = 20mA$ 時，我們的奈米柱發光二極體陣列其所對應的光輸出強度約為 $3,700 mW \cdot cm^{-2}$ 。這樣高的光輸出強度除了可歸功於均勻的電流注入效率之外，不規則且隨機排列的奈米柱陣列對於guided mode的光子的萃取，也有相當程度的貢獻，總的來說，我們的奈米柱發光二極體陣列可以達到相當高的外部量子效率。此外，從I-V curve中我們也發現元件的 turn-on voltage相對較低，大約只有2伏特，也就是說在我們的奈米柱發光二極體陣列元件當中，還是有有漏電流的路徑存在，此漏電流路徑可能是因為在元件當中局部區域奈米柱的損壞或倒塌，所以在斜向電子束蒸鍍的過程當中，不能對蒸鍍氣流有效產生屏蔽的結果。如此，蒸鍍氣流變直接從n-GaN開始沉積成長而引發漏電流路徑的產生。所以，日後針對改善此點，我們必須設計更為小心細膩的元件製作流程來避免奈米柱陣列的損壞或倒塌。

結論

我們利用斜向電子束蒸鍍技術並結合奈米助陣奈米助陣列本身對於蒸鍍氣流產生的屏蔽效應，成功地製作了一個新穎的二維奈米柱發光二極體陣列結構。當注入電流 $I = 20mA$ 時，我們的奈米柱發光二極體陣列其所對應的光輸出強度約為 $3,700 mW \cdot cm^{-2}$ 。這樣高的光輸出強度主要可歸因於高的載子注入效率以及隨機排列的奈米柱陣列對於出射光子的高散

射能力。我們相信此創新的奈米電極製作方式，更為日後奈米等級的光電元件，開創新的契機。 **CS/Taiwan**

參考文獻

[1] Krames, M. R.; Shchekin, O. B.; Regina, M. M.; Mueller, G. O. Zhou, L.; Harbers, G.; Craford, M. G. Status and future of high-power light-emitting diodes for solid-state lighting. IEEE Journal of Display Technology 3, 160-175 (2007).

[2] High-Brightness LED Market Review, Strategies Unlimited, USA, August 2007.

[3] T. Mukai, A. Michiue, T. Miyoshi, T. Yanamoto, T. Kozaki, S. Nagahama, Y. Narukawa, M. Sano, T. Yamada, "Recent development of nitride LEDs and LDs," Photonics West, San Jose, CA, USA (2009).

[4] Nakamura, S. The roles of structural imperfections in InGaN-based blue light-emitting diodes and laser diodes. Science 14, 956-961 (1998).

[5] Z. H. Feng and K. M. Lau, "Enhanced luminescence from GaN-based blue LEDs grown on grooved sapphire substrates," IEEE Photon. Technol. Lett., 17, pp.1812-1814 (2005).

[6] S. J. Chang, Y. K. Su, Y. C. Lin, R. W. Chuang, C. S. Chang, J. K. Sheu, T. C. Wen, S. C. Shei, C. W. Kuo, and D. H. Fan, "MOCVD growth of InGaN/GaN blue light emitting diodes on patterned sapphire substrates," phys. stat. sol. (c) 7, pp.2253-2256 (2003).

[7] D. S. Wu, W. K. Wang, W. C. Shih, R. H. Horng, C. E. Lee, W. Y. Lin, and J. S. Fang, "Enhanced output power of near-ultraviolet InGaN-GaN LEDs grown on patterned sapphire substrates," IEEE Photon. Technol. Lett. 17, pp. 288-290 (2005).

各種精密研磨粉、拋光粉、超精密研磨產品、噴砂材料 微米級、次微米級、納米級粉末、研磨拋光粉末。

半導體晶體、石英晶體、光學玻璃、LCD、DWDM、
Sapphire、GaP、GaAs、LT、LN、光罩、磁片玻璃基板、鋁基板、
金相組織及其它產品元件表面研磨、拋光。
導熱、絕緣、複合材料、PCB、工程塑膠添加物。
· ABRASIVE、LAPPING POWDER、POLISHING COMPOUNDS、DEFLASHING。

| | |
|---|---|
| 碳化矽 (Silicon Carbide) | 綠色碳化矽粒度 # 240 ~ # 8000 Lapping Powder |
| 氧化鋁 (Aluminum Oxide) | ①CMP級氧化鋁拋光粉、Al ₂ O ₃ Nano Powder ②鋁基板氧化鋁拋光液、納米級、螢光級、研磨級氧化鋁 #120~#6000 |
| 氧化鈰 (Cerium Oxide) | ①各種氧化鈰拋光粉適用各種光學玻璃和電子元件拋光 ②CMP級氧化鈰拋光粉、CeO ₂ Nano Powder ③玻璃基板氧化鈰拋光液、納米級、觸媒級氧化鈰 |
| 研磨拋光片 研磨拋光墊片 (Polishing PAD) | Lapping film、Polishing film 聚酯拋光皮 (PAD)、拋光絨布墊 |
| 半導體 鑽石刀片、鑽石砂輪 | 切削液I.D. Saw Coolants · 研磨懸浮分散劑Lapping Vehicles · 清洗劑Ultracleaner 線切割油 Wire Sawing Oil · 防銹劑 Anti-Rust Vehicles 研磨冷卻切削液 · 研磨盤 Lapping Plate · Carriers · Ceramic parts |
| 電子陶瓷原料、各種電子、電池、 玻璃、金屬材料 | · 納米級氧化鋁 · 納米級氧化鈮 · 納米級氧化鋇 · 高純度氧化鎳 · 高純度碳酸鋇 · 高純度碳酸鋇 · 碳酸鈰 · 硝酸鈰 · 硝酸鋇 · 硝酸鋇 · 鈦酸鋇 · 氧化鈦 · 氧化矽 · 各種稀土氧化物 · 螢光粉 |
| 各種噴砂材料Deflashing Media、核桃砂、玻璃砂 Silicon Carbide、Sapphire Substrate、CD、DVD glassmaster 精密光學玻璃基板φ120mm、φ125mm、φ150mm、φ200mm、φ300mm | |

豪臻應用材料有限公司 GRACE HAOZAN APPLIED MATERIAL CO., LTD.
TEL : 886-2-2555-9708 FAX : 886-2-2556-5305
E-mail : derwey-co@umail.hinet.net P.O. BOX 55-1392 TAIPEI,TAIWAN

技術前瞻 ◆ Trend

- [8] Y.J. Lee, T.C. Hsu, H.C. Kuo, S.C. Wang, Y.L. Yang, S.N. Yen, Y.T. Chu, Y.J. Shen, M.H. Hsieh, M.J. Jou, B.J. Lee, "Improvement in light-output efficiency of Near-Ultraviolet InGaN-GaN LEDs Fabricated on Stripe Patterned Sapphire Substrates", *Material Science and Engineering: B*, 122, pp.184-187 (2005).
- [9] Y. J. Lee, J.M.Hwang, T. C. Hsu, M. H. Hsieh, M. J. Jou, B. J. Lee, T.C. Lu, H.C. Kuo, and S.C. Wang, "Enhancing Output Power of GaN-based LEDs Grown on Chemical Wet Etching Patterned Sapphire Substrate," *IEEE Photonic Technology Letter*, 18, pp.1152-1154 (2006).
- [10] Y. J. Lee, H.C. Kuo, T.C. Lu, H.C. Kuo, B.J.Su, and S.C. Wang, "Fabrication and characterization of GaN-based LEDs grown on Chemical Wet Etching Patterned Sapphire Substrate," *Journal of The Electrochemical Society*, 153 (12) G1106-G1111(2006).
- [11] Ya-Ju Lee, T.C. Lu, H.C. Kuo, S.C. Wang, Kar Wai Ng, and Kei May Lau, Zu-Po Yang, Allan S.P Chang, and Shawn-Yu Lin, "Study of GaN-based light emitting diodes grown on chemical wet etching-patterned sapphire substrate with V-shaped pits roughening surfaces," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, 26, pp.1455-1463 (2008).
- [12] Broditsky, M.; Yablonovitch, E. Light-emitting diode extraction efficiency. *Proc. Spie* 3002, 119-122 (1997).
- [13] T. Fujii, Y. Gao, R. Sharma, E. L. Hu, S. P. DenBaars, and S. Nakamura, "Increase in the extraction efficiency of GaN-based light-emitting diodes via surface roughening," *Appl. Phys. Lett.*, 84, pp. 855-857(2004).
- [14] J. K. Kim, H. Luo, Y. Xi, J. M. Shah, T. Gessmann, and E. F. Schubert, "Light Extraction in GaInN Light-Emitting Diodes using Diffuse Omnidirectional Reflectors," *Journal of The Electrochemical Society*, 153, pp. G105-G107(2006).
- [15] Y. J. Lee, T.C. Lu, H.C. Kuo, Member, IEEE, and S.C. Wang, Senior Member, IEEE, "Highly Light-Extraction GaN-based LEDs With Double Diffuse Surfaces," *IEEE Journal Of Quantum Electronics*, 42, pp.1196-1201(2006).
- [16] M.H. Kim, M. F. Schubert, Q. Dai, J. K. Kim, E. F. Schubert, J. Piprek, and Y. Park, "Origin of efficiency droop in GaN-based light-emitting diodes," *Appl. Phys. Lett.* 91, 138507 (2007).
- [17] Y. C. Shen, G. O. Mueller, S. Watanabe, N. F. Gardner, A. Munkholm, and M. R. Krames "Auger recombination in InGaN measured by photoluminescence," *Appl. Phys. Lett.*, 91, 141101 (2007).
- [18] Y.-L.Li, Y.-R. Huang, and Y.-H. Lai "Efficiency droop behaviors of InGaN/GaN multiple-quantum-well light-emitting diodes with varying quantum well thickness," *Appl. Phys. Lett.* 91, 181113 (2007)
- [19] M. F. Schubert, S. Chhajed, J. K. Kim, E. F. Schubert, D. D. Koleske, M. H. Crawford, S. R. Lee, A. J. Fischer, G. Thaler, and M.I. A. Banas "Effect of dislocation density on efficiency droop in GaInN/GaN light-emitting diodes," *Appl. Phys. Lett.* 91, 231114 (2007).
- [20] M. F. Schubert, J. Xu, J. K. Kim, E. F. Schubert, M. H. Kim, S. Yoon, S. M. Lee, C. Sone, T. Sakong, and Y. Park "Polarization-matched GaInN/AlGaInN multi-quantum-well light-emitting diodes with reduced efficiency droop," *Appl. Phys. Lett.* 93, 041102 (2008).
- [21] S. F. Chichibu, A. C. Abare, M. S. Minsky, S. Keller, S. B. Fleischer, J. E. Bowers, E. Hu, U. K. Mishra, L. A. Coldren, S. P. DenBaars, and T. Sota, "Effective band gap inhomogeneity and piezoelectric field in InGaN/GaN multiquantum well structures," *Appl. Phys. Lett.* 73, 2006(1998).
- [22] Philippe Riblet, Hideki Hirayama, Atsuhiko Kinoshita, Akira Hirata, Takuo Sugano, and Yoshinobu Aoyagi, "Determination of photoluminescence mechanism in InGaN quantum wells," *Appl. Phys. Lett.* 75, 2241(1999).
- [23] Waltereit, P.; Brandt, O.; Trampert, A.; Grahn, H. T.; Menniger, J. ; Ramsteiner, M. ; Reiche, M.; Ploog, K. H. "Nitride semiconductors free of electrostatic fields for efficient white light-emitting diodes," *Nature* 406,

- 865-868 (2000).
- [24] T. S. Ko, T. C. Wang, R. C. Gao, H. G. Chen, G. S. Huang, T. C. Lu, H. C. Kuo, and S. C. Wang "Study on optimal growth condition of a-plane GaN grown on r-plane sapphire by MOCVD", *J. Crystal Growth*, 300, p303-313 (2007).
- [25] T. S. Ko, T. C. Lu, T. C. Wang, M. H. Lo, J. R. Chen, R. C. Gao, H. C. Kuo, S. C. Wang "Optical characteristics of a-plane InGaN multiple quantum wells with different well width", *Appl. Phys. Lett.*, 90, 181122 (2007).
- [26] D. F. Feezell, M. C. Schmidt, R. M. Farrell, K.C. Kim, M. Saito, K. Fujito, D. A. Cohen, J. S. Speck, S. P. DenBaars, and S. Nakamura, "AlGaIn-Cladding-Free Nonpolar InGaIn/GaN Laser Diodes," *Jpn. J. Appl. Phys.* 46, pp. L284-L286 (2007).
- [27] M. D. Craven, P. Waltereit, J. S. Speck, and S. P. DenBaars, "Well-width dependence of photoluminescence emission from a-plane GaN/AlGaIn multiple quantum wells," *Appl. Phys. Lett.*, 84, 496 (2004)
- [28] N. F. Gardner, G. O. Müller, Y. C. Shen, G. Chen, S. Watanabe, W. Götz, and M. R. Krames, "Blue-emitting InGaIn-GaN double-heterostructure light-emitting diodes reaching maximum quantum efficiency above 200 A/cm²," *Appl. Phys. Lett.* 91, 243506 (2007).
- [29] A. A. Efremov, N. I. Bochkareva, R. I. Gorbunov, D. A. Larinovich, Yu. T. Rebane, D. V. Tarkhin, and Yu. G. Shreter, "'Effect of the joule heating on the quantum efficiency and choice of thermal conditions for high-power blue InGaIn/GaN LEDs,'" *Semiconductors* 40, 605 (2006)
- [30] A. Y. Kim, W. Götz, D. A. Steigerwald, J. J. Wierer, N. F. Gardner, J. Sun, S. A. Stockman, P. S. Martin, M. R. Krames, R. S. Kern, and F. M. Steranka, "Performance of High-Power AlInGaIn Light Emitting Diodes," *Phys. Status Solidi A* 188, 15 (2001).
- [31] H.M.Kim, T.W.Kang, and K.S.Chung, "Nanoscale ultraviolet-light-emitting diodes using wide-bandgap gallium nitride nanorods," *Advanced Materials*, 15, pp567 (2004).
- [32] Kim, H.; Cho, Y.; Lee, H.; Kim, S.; Ryu, S. R.; Kim, D. Y.; Kang, T. W.; Chung, K. S. High-brightness light emitting diodes using dislocation-free indium gallium nitride/gallium nitride multiquantum-well nanorod arrays. *Nano Lett.* 4, 1059-1062 (2004).
- [33] T. H. Hsueh, H. W. Huang, F I Lai, J K Sheu, YHChang, H CKuo and S C Wang, "Photoluminescence from In_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN multiple-quantum-well nanorods," *Nanotechnology*, 16, pp.448 (2005).
- [34] M. Yoshizawa, A. Kikuchi, N. Fujita, K. Kushi, H. Sasamoto, and K. Kishino, "Self-organization of GaN/Al_{0.18}Ga_{0.82}N multi-layer nanocolumns on (0001) Al₂O₃ by RF molecular beam epitaxy for fabricating GaN quantum disks," *J. Cryst. Growth* 189/190, 138 (1998).
- [35] Stephen D. Hersee, Xinyu Sun, and Xin Wang, "The Controlled Growth of GaN Nanowires," *Nano Lett.* 6, 1808-1811 (2006).
- [36] C.-L. Wu, L.-J. Chou, and S. Gwo, "Size- and shape-controlled GaN nanocrystals grown on Si(111) substrate by reactive epitaxy," *Appl. Phys. Lett.* 85, 2071 (2004).
- [37] L. W. Tu, C. L. Hsiao, T. W. Chi, I. Lo, and K. Y. Hsieh, "Self-assembled vertical GaN nanorods grown by molecular-beam epitaxy," *Appl. Phys. Lett.* 82, 1601 (2003).
- [38] Hsieh, M. Y.; Wang, C. Y.; Chen, L. Y.; Ke, M. Y.; Huang, J. J. InGaIn-GaN nanorod light emitting arrays fabricated by silica nanomasks. *IEEE J. of Quantum Electronics* 44, 468-472 (2008).
- [39] Sun, X. W.; Huang, J. Z.; Wang, J. X.; Xu, Z. A ZnO nanorod inorganic/organic heterostructure light-emitting diode emitting at 342 nm. *Nano Lett.* 4, 1219-1223 (2008).
- [40] Ya-Ju Lee, S. Y. Lin, Ching-Hua Chiu, Tien-Chang Lu, Hao-Chung Kuo, Shing-Chung Wang Sameer Chajed, Jong Kyu Kim and E. Fred Schubert "High Output Power Density from GaN-based Two-dimensional Nanorod Light-Emitting Diode Arrays, accepted to be published in *Appl. Phys. Lett.*

2011年第四季及全年我國電子材料產業回顧與展望

王世杰 / 工研院IEK ITIS計畫產業分析師

一、2011年第四季產業概況

(一) 整體電子材料產業概況

2011年第四季電子材料產值新台幣640億元，較2011年第三季衰退15.3%，也較2011年同期大幅衰退23.4%。2011年全年我國電子材料產業產值共新台幣3,036億元，較2011年衰退6.8%。第四季應是電子材料產業旺季，除構裝材料之外，其他各次產業均受下游產業景氣衰退影響，與第三季相較有兩成以上的衰退。

預估2012年第一季我國電子材料產業受因電子產業景氣復甦帶動，整體電子材料產業產值將季成長將達22.4%，達新台幣694.8億元；而2012整年我國電子材料產業總產值可以達到新台幣3,104億

元，較2011年微幅成長2.3%。

(二) 細項產業概況

● 半導體材料產業：

2011年第四季因為受到半導體IC及DRAM製造端材料需求減少的影響，第四季半導體材料出貨持續降低，2011年第四季產值為新台幣142億元，較2011年第三季衰退13.4%，較去年同期亦下滑19.7%。

● 構裝材料產業：

2011年第四季的構裝材料產業，雖然在PC與NB市場對CPU與記憶體晶片需求仍低，但因為智慧手持裝置等產品持續熱銷，仍帶動部份晶片封裝的需求，

使得2011年第四季構裝材料產值為新台幣206億元，較2011年第三季衰退3%，但較去年同期增加3.8%。

● PCB材料產業：

第四季因銅價下跌與PCB產業景氣不佳影響，使得銅箔基板廠與玻纖廠均降低產能減少產出影響下，我國PCB材料產值衰退15.2%，產值達新台幣118億元，相較於去年同期更有27%的減幅。

● LCD材料：

第四季LCD材料在CCFL廠面臨LED取代壓力，以及光學膜廠出口減少下，LCD材料廠產值較2011年第三季衰退5.2%，產值達新台幣112億元。

表一：我國電子材料產業產值與預估

單位：新台幣百萬元

| | 10Q4 | 11Q1 | 11Q2 | 11Q3 | 11Q4 | Q/Q | Y/Y | 12Q1(f) | 2010 | 2011 | 2012(f) | 年成長 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 半導體材料產業 | 17,747 | 17,621 | 18,651 | 16,452 | 14,246 | -13.4% | -19.7% | 13,819 | 69,196 | 66,970 | 68,979 | 3.0% |
| 構裝材料產業 | 19,900 | 18,422 | 19,972 | 21,282 | 20,650 | -3.0% | 3.8% | 20,960 | 84,004 | 80,326 | 83,630 | 4.1% |
| PCB 材料產業 | 16,215 | 16,843 | 16,012 | 13,954 | 11,832 | -15.2% | -27.0% | 12,788 | 71,402 | 58,641 | 61,283 | 4.5% |
| LCD 材料產業 | 15,557 | 14,285 | 13,656 | 11,853 | 11,241 | -5.2% | -27.7% | 12,235 | 56,201 | 51,035 | 55,874 | 9.5% |
| 能源材料產業 | 14,248 | 16,730 | 11,692 | 11,964 | 6,089 | -49.1% | -57.3% | 9,677 | 44,862 | 46,588 | 40,672 | -12.7% |
| 電子材料產業合計 | 83,667 | 83,901 | 79,983 | 75,505 | 64,058 | -15.3% | -23.4% | 69,479 | 325,665 | 303,560 | 310,438 | 2.3% |

資料來源：工研院IEK ITIS計畫(2012/02)

● 能源材料：

太陽光電材料方面，太陽光電產業於Q4進入傳統淡季，加上價格持續走跌，因此各廠產值皆有明顯下跌，因此產值呈現明顯衰退。矽晶圓產能利用率仍偏低與價格下跌，造成該次產業第四季產值持續滑落；福聚太陽能因價格不具優勢而暫停生產並進行去瓶頸化工程，也使多晶矽產值大幅下跌。因多晶矽產值大幅下跌，矽晶圓產值比例回升至77.9%，導電膠比例提高至10.8%，背板佔4.3%。

2011年第四季鋰電池材料產業因有新進廠商在正極材料、電解液與負極材料正式出貨之故，使第四季鋰電池材料出貨高於預期，較2011年第三季成長25.8%。

二、第四季重大事件分析及廠商動態：

1、聚和國際針對電解液添加劑在中國大陸擴增新廠

聚和國際規劃在大陸常熟廠區內，投資1,400萬美元設立電解液添加劑廠，預計2013年初投產。聚和在鋰電池電解液添加劑主要供應客戶為日系鋰電池電解液的配方廠，終端用戶是3C用鋰電池廠，雖具技術領先優勢，但因原有產能較少，對整體營運貢獻不大。

不過每月2-300公噸的新廠量產後，由於專攻電解液添加劑產品，新廠效益將於2013年初開始顯現，除可擴大其經營規模，也可望把市場就近供應設定於中國大陸電解液相關廠商當中。

2、保利協鑫推出類單晶矽晶圓產品

類單晶矽晶圓以多晶矽晶圓之製

程，長出類似單晶性能之晶圓，除了電池效率明顯提升外，也減少單晶矽產品LID之缺陷。保利協鑫為全球矽晶圓產品之領導廠商，推出類單晶產品有助於提升該公司之技術能量，但類單晶產品良率仍低，品質不穩定，將會是該產品發展之最大隱憂。

3、郡宏光電第二條生產線2011年底量產

由華宏與日本觸控面板大廠郡是(Gunze)合資的ITO Film廠郡宏光電，因第1條月產能3萬平方米的生產線已滿載，計畫設立第2條月產能約7萬平方米的生產線，單線月產能約7萬平方米，年底前可投入量產。郡宏光電擁有技術上的優勢，加上郡是和韓國客戶作為出海口，相對於國內其他廠商擁有較大的競爭優勢，此次擴廠將有助於擴展其他國際大廠的市場。

但在觸控面板未來逐漸朝向OGS (One Glass Sensor) 與 In-Cell發展下，對ITO Film的需求將不會大幅的成長下，應開始尋找其他產業之應用。

三、未來展望：

(一) 下季展望

● 半導體材料

展望2012年第一季，因持續進入半導體製造業的淡季，預估半導體材料出貨仍將繼續衰退3%，產值為新台幣138億元。

● 構裝材料

展望2012年第一季，預料智慧手持裝置仍會帶動晶片封裝需求，因此預估第一季構裝材料出貨將成長1.5%，其

2012年第一季產值為新台幣209億元。

● PCB材料

2012年第一季PCB材料因銅價上漲，銅箔基板價格可能調漲，加上產業逐漸進入旺季，但產值可望大幅成長，達新台幣128億元。

● 液晶顯示器材料

LCD面板庫存逐步去化，雖仍處於過過於求階段，但LCD材料因國內的液態化學品廠通過面板廠的驗證，有機會開始供貨，預估2012第一季我國LCD材料的產值將較2011年第四季大幅成長8.5%，達新台幣122億元。

● 能源材料

第一季雖進入太陽光電淡季，但美國對中國大陸雙反效應與德國將於四月再砍補助的風聲影響下，產能利用率有提升，太陽光電材料產值會回升至新台幣92.2億元；鋰電池材料廠商步入淡季，但伴隨負極材料新進廠商陸續出貨、預料第一季鋰電池材料出貨將與過往淡季水準相比略有增長的狀況，預估鋰電池材料2012年第一季表現產值達到新台幣4.6億元。

(二) 2012全年展望

● 半導體材料

展望2012年下游半導體製造業仍將成長，國內的矽晶圓、CMP均有新產能投入，預估半導體材料產值將逐季成長，預估整年產值達新台幣690億元，成長3.0%。

(文轉第20頁)

2011年第四季及全年我國新興能源產業回顧與展望

康志堅 / 工研院IEK ITIS計畫產業分析師

一、2011年第四季產業概況

(一) 總體產業概況

依據工研院IEK ITIS計畫研究顯示，2011年第四季新興能源產業產值估計為新台幣242.3億元，較前一季衰退42.8% (如表一所示)，占產值比例最大的太陽光電產值為新台幣221.9億元，較第三季衰退44.8%；第二位的風力發電產值為新台幣16.4億元，較第三季成長1.9%；第三位的生質燃料產值為新台幣4.0億元，較第三季衰退23.2%。

新興能源產業當中，各項次產業之規模相差甚多，其中以太陽光電規模最大，其次為風力發電，再次為生質燃料。第四季各次產業占整體新興能源產業產值比例：太陽光電為91.6%，較第三季下降3.4%；風力發電為6.8%，較第三季上升3.0%；生質燃料為1.7%，較第三季上升0.5%。

2011年全年新興能源產業產值高峰位於第一季，第二季與第三季產值約略為第一季的三分之二，第四季僅約第一季的四成左右。2011年新興能源產業產值為新台幣1723.9億元，較2010年衰退19.2%。

(二) 細項產業分析

1. 太陽光電產業

我國2011年第四季太陽光電產業產值為新台幣221.9億元，較第三季衰退44.8%，較去年同期衰退62.4%。由於受到全球市場不景氣的影響，各次產業呈現全面衰退，其中多晶矽新台幣1.1億元，較第三季新台幣10.0億元衰退89.0%；矽晶圓新台幣43.7億元，較第三季新台幣85.2億元衰退48.7%；矽晶電池新台幣156.1億元，較第三季新台幣252.4億元衰退38.2%；矽晶模組新台幣

14.7億元，較第三季新台幣37.5億元衰退60.8%；薄膜模組新台幣6.3億元，較第三季新台幣16.9億元衰退62.7%。

我國太陽光電產值以矽晶電池所占比例最大，占太陽光電產值70.3%；其次為矽晶圓，占太陽光電產值19.7%。矽晶電池與矽晶圓兩者合計占產值九成，其他部分產值所占比例較小。

2. 風力發電產業

2011年第四季風力發電產業產值約新台幣16.4億元，較第三季成長1.9%，較去年同期衰退18.0%。中國大陸持續對風場開發採取宏觀調控，第四季新增裝置量較第三季衰退，影響國內廠商產值，不過東元接獲越南60MW大型風力機訂單已開始生產，彌補中國大陸市場衰退的部分，整體而言約略與上一季持平。

表一：2011年第四季我國新興能源產業產值

單位：新台幣百萬元

| | 10Q4 | 11Q1 | 11Q2 | 11Q3 | 11Q4 | Q/Q | Y/Y | 12Q1 | 2010 | 2011 | 2012(e) | 年成長 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|-------|
| 太陽光電產業 | 59,000 | 61,554 | 40,096 | 40,196 | 22,188 | -44.8% | -62.4% | 37,000 | 206,200 | 164,034 | 154,000 | -6.1% |
| 風力發電產業 | 2,000 | 1,630 | 1,730 | 1,610 | 1,640 | 1.9% | -18.0% | 1,400 | 5,700 | 6,610 | 8,500 | 28.6% |
| 生質燃料產業 | 395 | 402 | 423 | 521 | 400 | -23.2% | 1.3% | 410 | 1,400 | 1,746 | 1,800 | 3.1% |
| 新興能源產業 | 61,395 | 63,586 | 42,249 | 42,327 | 24,228 | -42.8% | -60.5% | 38,810 | 213,300 | 172,390 | 164,300 | -4.7% |

註：由本季開始，新興能源產業範疇做部分調整，減少LED照明、氫能與燃料電池產業。LED照明因產業範疇調整，爾後不列入新興能源產業；氫能與燃料電池發展情況類似地熱、海洋能，由於產業尚未興起，因此不做逐季產值統計
資料來源：工研院IEK ITIS計畫(2012/02)

3. 生質燃料產業

2011年第四季生質燃料產業產值約新台幣4.0億元，較第三季衰退23.2%，較去年同期成長1.3%。第四季生質柴油價格因國際價格上漲，國內標價成長將近一成，但下游主要廠商採購案數次流標，造成生產廠商減產，產值因而下滑。

(三) 廠商動態

1. 歐洲老牌模組廠Solon破產，中國大陸勢力持續擴張

Solon為歐洲矽晶知名模組廠商，在歐洲市場具有一定規模市占率。然而中國大陸廠商產品品質已逐漸提升，一線大廠如尚德、英利等品牌已逐漸被歐洲客戶認可，面對中國大陸廠商極大的價格優勢下，該公司虧損連連，先前已陸續關閉生產工廠，專注於系統服務，最終仍虧損過大而難逃破產的結局。

Solon為歐洲太陽光電產業之元老之一，過去享有高品質高價位之品牌地位，然Solon面對中國大陸垂直整合與價格優勢仍無力抵擋，繼歐美多家廠商之後也宣告破產。

我國電池廠除了要重新尋找新客戶外，品牌建立之意識也需提高，以面對中國大陸品牌打敗歐美品牌之大趨勢。

2. 美商超導(AMSC)控告華銳風電侵犯智財權，華銳海外市場拓展已受到實質影響

華銳為中國最大風力機廠商，全球排名第二。美國清潔能源公司超導(AMSC; American Superconductor) 2011年11月5日向北京市高級人民法院起訴中國風力發電機製造商華銳風電，

聲稱華銳竊取其智慧財產權，要求賠償逾4億美元的損失。這是中國大陸迄今最大的智慧財產權訴訟案之一。被指控幫助華銳竊取機密的AMSC員工，已在奧地利被逮捕，以商業間諜罪起訴，且被判有罪。

華銳與超導的智慧財產權爭議，已影響華銳拓展海外市場。華銳2011年7月與歐洲風場開發商Mainstream簽定共同開發愛爾蘭1GW風場，當時被視為中國大陸廠商拓展海外市場的重要里程碑。因此案Mainstream暫停與華銳的合作案，等待華銳解決智慧財產權問題再議。

另一個值得觀察的面向，為中國大陸司法機構對於此案件的審理與判決，此對於智慧財產權保護是否落實具有指標意義。

二、第四季重大事件分析：

1. 美國對中國大陸太陽能產品進行「雙反」調查，台灣廠商因轉單效應得利

2011年10月，SolarWorld美國子公司聯合其他6家美國太陽能公司，指控中國廠商在輸美的產品上削價競爭，價格比美國競爭者最多低250%，向美國商務部和國際貿易委員會提交對中國太陽能電池的反傾銷和反補貼的申訴(簡稱雙反案)。美國國際貿易委員會ITC經過初步調查，以6比0之票數通過此控訴案，並移送至商務部進行進一步之「雙反」調查。

中國大陸廠商對抗SolarWorld USA控訴之策略，短期內對於美國產品之出口改以迂迴方式進行，將訂單釋於至台灣、韓國代工，再轉往美國。台灣一線廠商在第四季尾聲因而接獲不少轉單，

使得產能利用率好轉。預期轉單效應將延續至2012年第一季，後續中國大陸廠商將繼續觀察美國商務部之調查，並試圖尋找新的因應對策。

2. 中國大陸上調2015年太陽光電裝置容量目標至15GW，獨立式屋頂型太陽能發電系統可望受益較大

中國大陸國家能源局公布十二五規劃最新目標，將2015年太陽能發電裝機容量上調至15GW，相較於原本10GW增加了50%。大陸官方表示將於十二五期間制定完善的太陽能發電補貼政策，並支持分散式太陽能發電系統的應用，促進農村可再生能源利用，2015年前預訂在中國境內建設200個綠色能源示範縣。

近期中國大陸太陽光電產業對美國雙反案，以及歐洲、印度考慮跟進調查的氣氛下，考量到未來在國際市場出口可能受限的壓力，政府希望快速啟動內需市場，為產業供應鏈提供出海口，保持產業穩定發展。

中國大陸電力網路系統較為分散，且偏遠地區建立電力傳輸系統花費相當巨大，因此不占土地空間且沒有傳輸耗損的獨立式屋頂型太陽能發電系統，可望成為有效解決方案。

未來中國大陸太陽光電市場發展的主軸，為內需市場的擴張與產品的優質化，台灣領導業者具相對技術與品質優勢，若能順勢切入與中國企業相互結盟合作，將有機會分食龐大市場。

三、未來展望

1. 下季展望

由於2012年第一季太陽光電產業景氣較2011年第四季好轉，帶動整體新興

市場瞭望 ◆ Market Analysis

能源產業產值回升。預估2012年第一季新興能源產業產值為新台幣388.1億元，較前一季回升60.2%。

在各次產業方面，太陽光電由於美國對中國大陸太陽能產品進行「雙反」調查，帶來轉單效應，加上歐洲太陽光電模組庫存水位下降，廠商近期產能利用率明顯提升，預期2012年第一季景氣比起前一季好轉，預估產值為新台幣370.0億元，較前一季成長66.8%；成長幅度高主要因為2011年第四季產值大幅衰退，使得基期較低，產業景氣尚未回到去年年初的水準。與去年同期相比，產值衰退39.9%。

風力發電方面，我國廠商主要市場為中國大陸，中國大陸對於風力機裝置持續實施宏觀調控，加上近期中國大陸北方天氣嚴寒，華北、東北等地因下雪使得風力機安裝活動停止，預期我國廠商產值較上一季下滑。預估2012年第一季產值為新台幣14億元，較前一季衰退14.1%。

生質燃料方面，生質燃料為內需型產業，由於我國生質燃料摻配政策短期內並未有向上調整的規劃，內需市場規模穩定，影響國內產值的主要為國外進口產品；然而國際油脂原料價格依然維

持高檔，對國內使用廢食用油原料生產的廠商威脅性不高，預估2012年第一季產值為新台幣4.1億元，較前一季成長2.5%。

2. 全年展望

太陽光電產業2012年第一季產值雖然較前一季回復，但尚未達到去年同期水準。由於太陽光電產業產值較去年衰退，2012年整體新興能源產業產值將不如2011年，呈現連續第二年衰退。預估2012年新興能源產業產值為新台幣1643.0億元，較2011年衰退4.7%。

在各次產業方面，太陽光電市場變化劇烈，全球產值預估難度高。以目前彙集資訊，2012年全球市場規模可能較2011年衰退，台灣廠商之全球市占率無太大變化的情況下，預估產值將比2011年小幅衰退6.1%

風力發電方面，我國廠商東元持續出貨越南市場，2011年6月接獲之越南訂單將於本年度出貨完畢。東元對於接獲新案表示樂觀，可帶動我國系統與零組件產值成長。預估2012年產值為新台幣85億元，較2011年成長28.6%

生質燃料方面，目前我國持續推動B2生質燃料政策，市場需求穩定。預估

2012全年產值為新台幣18.0億元，較2011年成長3.1%。

3. 產業/產品/技術/應用等趨勢分析

我國新興能源產業產品絕大部分以外銷為主，與全球新興能源市場景氣連動密切。現階段我國產值九成以上仍由太陽光電產業所貢獻，對於整體新興能源產業影響力最大。

太陽光電產品轉換效率的進步幅度已趨緩，而成本下降的幅度仍然很快。由於市場集中度高，加上政策的不可預期性，市場供需狀況波動甚為劇烈，造成廠商營收暴起暴落，廠商產能調配難度甚高。

風力發電方面，中國大陸宏觀調控對於產業的影響屬於短期現象，這將使得產業迅速的整合，有助於產業長期朝向較健康的方向發展。在日本福島核能事故發生後，許多國家紛紛提高未來風力發電的目標裝置量，預期未來幾年市場持續穩定發展。

生質燃料占我國新興能源產業比例較低，對於整體新興能源產業產值的影響力仍屬為有限。產業的主要議題在於新興技術的開發，如次世代生質燃料技術之開發。 **CS/Taiwan**

(文承第17頁)

● 構裝材料

在IC基板具日廠轉單效應，以及智慧手持裝置等新興電子產品帶動晶片封裝的需求下，預估2012年構裝材料出貨將成長4.3%，2012年產值為新台幣836億元。

● PCB材料

預期2012年PCB材料因下游電子產品需求復甦，增加對上游PCB材料的需求，加上銅箔與玻纖新廠的量產，產值可望成長至新台幣613億元。

● LCD材料

2012年LCD材料產業可望在液態化學品量產，加上光學膜朝將大尺寸的電視用出貨，估計產值可達新台幣559億

元。

● 能源材料

預期2012年太陽光電材料廠的產能利用率雖有提升但仍有限下，產值會回升至新台幣385億元；鋰電池材料廠商預期在第一季淡季後，業績可望逐步成長，預估鋰電池材料2012年表現產值可達到新台幣21.7億元。 **CS/Taiwan**

電漿蝕刻：製造高亮度LED的關鍵技術

Mark Dineen / Oxford Instruments Plasma Technology HBLED產品經理

1. 簡介

每個HBLED製造商的目標都是花更少的錢獲得更多的光輸出。面對強大的競爭和眾多技術障礙，至關重要的是所有生產步驟的推進都要產生最佳的效果。優化的電漿蝕刻提供了幾種方法以改善元件的輸出並降低製造成本，從而實現雙重贏利。

我從來沒有認為自己是一個經驗豐富的老手，但我有超過15年的HBLED工作經歷。當我剛開始從事這一工作時，電漿蝕刻是一種從p型層向下刻蝕進入n型層的工具，為的是做出一個接點。從那時起，我們就看到了幾個新的應用，這意味著電漿蝕刻更加重要。

2. 圖形化藍寶石基板

現在藍寶石仍是生長HBLED結構的基板選擇。不過，採用藍寶石生長也存在兩個問題：藍寶石沒有完美的晶格匹配，光提取會因為有兩個平行的反射面而減少。為了解決這兩個問題，從2005年起一些公司在生長之前就在藍寶石上蝕刻了圖形。這可以使一個成品器件的光提取性能改善98%以上。

藍寶石是一種非常穩定的物質，熔點為2054°C，因此難以進行電漿蝕刻。不過，在降低到通常的150°C之前，用來實現非常具體的圖案形成的光

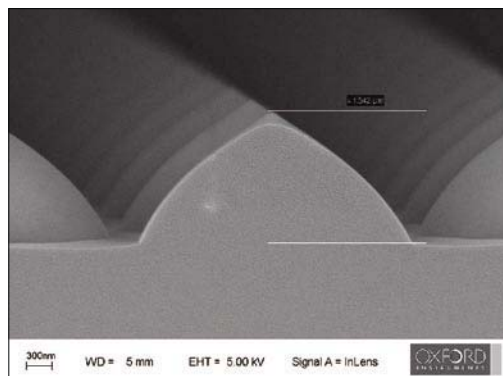
阻 (PR) 仍有一個溫度上限。PR是這個過程選擇的光罩，最終的“圓頂”狀依賴於所有光罩去除的完成，其形狀與藍寶石和光罩的相對蝕刻速率密切相關。由於簡化了生產流程，降低了每流明的整體成本，PR也

成為了首選。

為了對材料進行蝕刻，Cl₂、BCl₃和Ar的組合常用於以較高電漿源實現的較高蝕刻速率。不過，這增加了試樣的熱負荷，因此，使用PR作為光罩可以保持較高的蝕刻速率，為此有必要對晶圓試樣進行有效的冷卻。

矽產業習慣於將單晶圓緊固在溫度控制工作臺 (table) 上，並在工作臺和晶圓之間引入了傳熱介質，通常是氫。“氫背面冷卻”已成為單晶圓溫度控制的標準方法。HBLED製造目前使用批次較小的基板，傳送到輸送板上的蝕刻工具。對於圖形化藍寶石基板 (Patterned Sapphire Substrate, PSS) 蝕刻，HBLED元件仍然主要製造2英寸或4英寸晶圓，因此可以顯著降低成本，它對以一次運行處理盡可能多的晶圓是可行的方法。大量光阻光罩晶圓的蝕刻要求控制好每個晶圓的溫度，這需要瞭解怎樣將來自電漿的熱量從試樣到

冷卻電極轉移出來。氫氣背面冷卻是關鍵，同時要瞭解怎樣使每片晶圓得到有效冷卻，以確保成功。這種技術的批量規模從20×2英寸到高達43×2英寸，蝕刻速率在50nm/分和100nm/分之間，速率取決於PR光罩和PSS形狀要求。



圖一：典型的圓頂PSS特性

3. GaN蝕刻

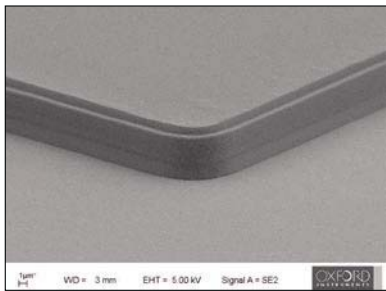
GaN的化學穩定性和高鍵合強度、其熔點 (2500°C) 和鍵能 (8.9eV/atom) 也使它具有很高的耐酸或鹼蝕刻劑濕蝕刻能力。到目前為止，由於缺乏合適的濕蝕刻製程，使人們對開發適合HBLED生產的乾蝕

CS 精選 ◆ CS Features

刻製程產生了極大的興趣，這必須是單批次進行大量晶圓蝕刻。20世紀90年代後期，電漿蝕刻批次規模從4×2英寸晶圓增加至今天的55×2英寸或3×8英寸，現在的問題是在其吸引力消失之前它可以處理多大批次。隨著晶圓尺寸從2英寸到4英寸然後是6英寸的向上遷移，這個問題也得到了解決。GaN蝕刻的主要應用領域是淺接點蝕刻和高深寬比結構蝕刻。

4. 淺接點蝕刻

當蝕刻進入到接點層時，至關重要的是對半導體造成的電漿損傷最小，否則可能會增加接點電阻。蝕刻製程需要仔細優化，以最大限度地提高吞吐量，同時保持元件的性能。光滑的表面通常表明高品質的蝕刻，如圖二所示。

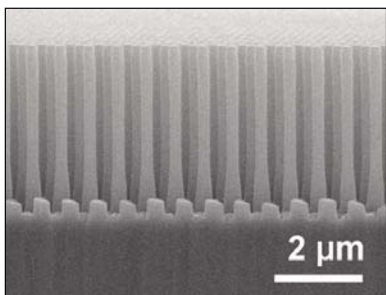


圖二：PR試樣中器件接點的淺GaN蝕刻

未經優化的蝕刻處理可能導致GaN蝕刻的位錯（threading dislocation），進而導致麻點表面和接點電阻的增加。同樣，PR是這一步光罩的選擇，因為它是最簡單的處理方法。據報道由於典型批蝕刻速率高達140nm/分的溫度限制，PR的使用可降低所使用的功率。

5. 深隔離蝕刻

當需要高達7微米深度時，蝕刻速率是這一製程的關鍵。這一步的作用是蝕刻到有源器件之間的底層藍寶石基板。由於藍寶石是不導電的，在物理分離前就隔離了元件。如果使用PR光罩，這一蝕刻步驟的主要挑戰是散熱，因為高蝕刻速率是用高電漿密度實現的。這意味著單晶圓的緊固問題，通常的方法是使用靜電吸盤。可使用介質硬掩膜，這將可實現高蝕刻速率批次處理，此時整個批次的一致性決定了產量。



圖三：高深寬比GaN深蝕刻

導致GaN蝕刻的位錯（threading dislocation），進而導致麻點表面和接點電阻的增加。同樣，PR是這一步光罩的選擇，因為它是最簡單的處理方法。據報道由於典型批蝕刻速率高達140nm/分的溫度限制，PR的使用可降低所使用的功率。

6. 光子晶體圖形化

利用稱為光子晶體的准晶

體陣列圖形化HBLED的發光表面可以提高光提取能力。其極端的表現如圖三所示，此時600nm蝕象（feature）已被刻蝕了4 μm深，實現了大於6:1的高深寬比結構。這裏的挑戰是保持蝕象的垂直剖面，以確保光子晶體的光學性能。

7. 設備

為了達到高蝕刻速率和低損傷的要求，行業開發了幾種高密度電漿源：電感耦合電漿（ICP）、變壓器耦合電漿（TCP）、高密度電漿（HDP）。所有技術都提供了一個固定試樣驅動台，獨立電漿源可實現高電漿密度，而不會增加試樣的DC偏差。DC偏差已被證明可增加敏感表面的電漿損傷，所以這是一個至關重要的系統特性。PlasmaPro NGP1000刻蝕系統是專門為GaN、AlGaInP和藍寶石蝕刻設計的，提供的批量規模可達55×2英寸、13×4英寸、5×6英寸或3×8英寸，可帶來市場領先的晶圓/月產量。創新的Viper電漿源可與ICP源的電漿密度相媲美，同時保持高蝕刻速率和低損傷的好處。蝕刻批次所需的其他關鍵技術是：大面積電漿均勻性控制和知識，以及在積極電漿條件下控制多個晶圓試樣溫度的能力。**CS/Taiwan**



圖四：PlasmaPro NGP1000蝕刻系統

致謝

本文所述工作得到了European Commission（FP7合同號228999：“SMASH”）的支援，SEM照片來自英國巴斯大學Philip Shields，在此一併表示感謝。

理論學者揭示是Auger機制引起LED發光效率的降低

來自美國加州大學Santa Barbara分校 (UCSB) 的Chris Van de Walle團隊通過計算發現兩種形式的間接Auger複合機制是引起LED發光效率降低的主要原因。因為該試驗無法解釋在小於臨界電壓情況下元件的失效機制，此該種失效包括有閘極性能的退化以及漏電流的急劇增加。

LED發光效率降低是指在高驅動電流條件下LED元件發光效率降低的現象，許多研究者集中地討論了導致LED發光效率降低的原因，一部分認為是Auger機制所致，另一部分人則認為是由其他理論機制所致。

在Auger機制的專題討論會上，與會者激烈討論的話題是究竟以哪種確切的Auger複合形式來描述LED發光效率降低問題。來自美國UCSB大學的C. Walle團隊目前宣稱他們已經發現了引起LED發光效率降低問題的真正原因：這種間接Auger複合是由電子的聲子散射和合金散射所共同導致的。

在2007年末，Philips Lumileds公司的研究者們首次宣稱Auger複合是引起LED發光效率降低的主要原因，他們的這一主張是基於對光致發光的測量結果，C. Walle團隊工作是在這一基礎上做出的進一步努力。然而，來自美國Arizona大學由J. Hader帶領的理論研究團隊卻對這一Auger機制解釋持懷疑態度。在2009年初，他們在計算標準Auger過程——直接帶內Auger複合時，發現其計算結果遠不足以來解釋這種LED發光效率的降低問題。

而在2009年晚些時候，C. Walle團隊就曾指出，電子經帶間躍遷到第二導帶這一過程在LED發光效率降低問題中扮有十分重要的角色。然而，該過程只對一個小的InGaN組分範圍才顯得重要，它並不能解釋LED在大跨度波長範圍內的發光效率降低現象。

最近，UCSB大學團隊已經計算了由散射機制所致間接複合的Auger係數，散射會提供額外的動能，使得

Auger躍遷可在更廣範圍的終態間進行。

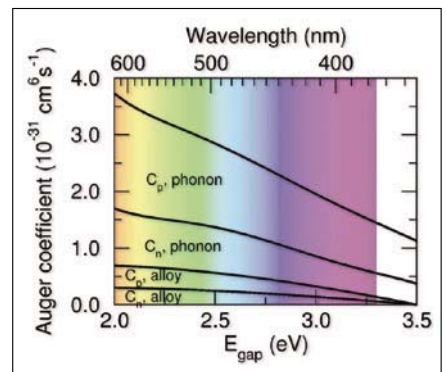
理論家們已發現在氮化物材料中電子-聲子的相互作用較強，這是由於氮的2p軌道所致。C. Walle解釋道：“在磷化物、砷化物和銻化物材料中，總有另外一個p型軌道的能量低於成鍵

p軌道的能量，所以參與成鍵的電子可以看作是一個遮罩原子核的電荷”。“與此相反，含有2p軌道成鍵的氮原子就可以看作為其原子核電勢未得到遮罩”，這就使得鍵能對氮原子核的確切位置將非常敏感。

C. Walle和他的同事還計算了由合金散射引起間接Auger複合的強度。他們採用一個有32個原子組成的元胞，其中包括12個鎵原子，4個銦原子和12個氮原子來進行上述計算，進行這樣的原子數量組合是為了複製出完全隨機的合金近程結構。C. Walle說：“採用一個由32個原子組成的元胞能最大可能地來代表一個“隨機”的合金結構”。

由電子-聲子相互作用和合金散射所促成的Auger機制間的關係曲線如圖所示，該曲線是採用密度泛函理論（局部密度近似和平面波虛位能法）進行基本原理計算而得到的。

該圖表明，隨著InGaN禁帶寬度從紫光變到綠光



根據UCSB大學的計算結果，氮化物LED中最大Auger係數來自於聲(子)助“空穴-空穴-電子”過程，在圖中標識為“C_p, phonon”。

(文轉第27頁)

揭開高電子遷移率電晶體HEMT 性能退化之謎

IMEC的D. Marcon, T. Kauerauf和S. Decoutere認為，目前廣泛使用的溫度-加速試驗可能過高地估算了GaN HEMT的壽命，因為該試驗無法解釋在小於臨界電壓情況下元件的失效機制，此該種失效包括有柵極性能的退化以及漏電流的急劇增加。

將 GaN和AlGaIn配對使用就可組成高電子遷移率電晶體HEMTs，它以具有高電流密度、高工作電壓以及寬頻帶範圍內的優異性能而著稱。然而這一系列性能實際上很難投入應用，除非能保證其產品具有長時期的可靠性。

然而不幸的是，對氮化物HEMTs可靠性的評估遠不是一件簡單的事情，一方面人們對於這種器件性能退化機制的瞭解尚十分有限，另一方面也受到許多不確定處理因素如試驗時間和加速因數等的影響。

所謂的三種工作溫度壽命試驗是一種測試AlGaIn/GaN HEMT可靠性的傳統手段。我們使用了DC或者RF偏壓條件在三種不同（結）溫度下對各組元件施加應力，通常在漏極輸出電流或功率下降至10%到15%時就定義為該電晶體產生了失效。

通過首先計算每種溫度下各組器件的平均無故障時間（MTTF），隨後就可以提取出給定工作（結）溫度下所預期的MTTF，這種方法通常需要運用Arrhenius法則，它表明了元件工作壽命與溫度的指數成反比關係。

三種製程溫度壽命試驗通常都可以獲得超過100年的壽命資料，說明AlGaIn/GaN HEMTs 擁有很好的可靠性。不過這是一個令人難以置信的樂觀觀點，已經確認，並不是所有的退化機制都可由溫度加速試驗直接引起。實際的狀況是有一些失效機制並不能由三種溫度的壽命試驗所揭示，這就使得器件的實際壽命就要比100年的估計值要短很多。

器件的應力試驗

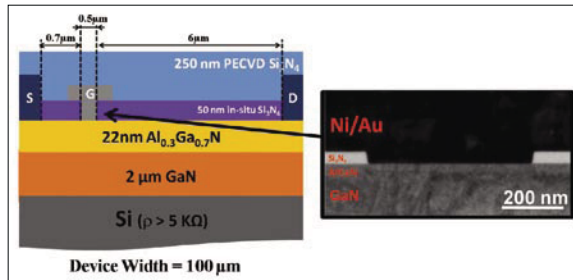
近來，來自不同機構的研究人員均發現，高電場強度會增加HEMT閘極漏電流，從而迅速地縮短元件的壽命。在氮化物領域的研究人員將這種過早的器件退化現象歸咎於處於AlGaIn勢壘閘極邊緣下方的缺陷所致。人們通常是採用步進方式提高電壓的應力試驗來研究這種器件性能的退化過程，這是因為最為人們所接受的退化機制是基於一種與電場有關的反向壓電效應。可以相信，當其彈性能量超過某一臨界值時，AlGaIn層內便會產生缺陷。

由步進式電壓應力試驗可以得到稱之為臨界電壓（ $V_{CRITICAL}$ ）這樣一個概念。我們將偏壓提升到這一臨界電壓值以上時，AlGaIn層中的彈性能量就會超過臨界值，導致形成缺陷和閘極漏電流的增大。根據上述理論，器件的工作電壓若能處於臨界電壓值（絕對值）以下，將永遠不會出現任何性能退化的現象。

逐步增大漏極電壓（一個關斷狀態的步進應力）或者在源、漏極均接地時對閘極進行反向偏置（一個對閘極反向偏置的步進應力），這二者都可以在關閉狀態下進行步進應力試驗。在這兩種測試中的失效模式（即在臨界電壓點漏電流會突然增大）是相同的，不過閘極反向偏置步進應力避免了邊界效應，比如穿通或是緩衝層漏電。然而，由於閘極－源極的距離要比閘極－漏極的更近，反向偏置通常會在源極一側的閘極邊緣產生較為嚴重的退化現象，同時該處的電場強度也最大。

在IMEC（一個位於比利時的歐洲研究機構），我們在RF GaIn的HEMTs中就發現了這種現象，該器件的閘極－源極間距為 $0.7\mu m$ ，閘極－漏極間距為 $6\mu m$ （圖一）。這種電晶體的臨界電壓值為 $-70V$ ，對於閘－源間距只有 $0.7\mu m$ 的HEMT來說這個電壓已經是一個非常高的數值。然而比這更值得關注的是，與我們通常理解完全相反的是，發現對HEMT施加一個低於臨界值的恒定電壓應力時，我們可以觀察到HEMTs的性能已經發生了退化（圖二a）。

元件的失效與閘極漏電流的劇增相關（圖二a），十分類似CMOS器件中氧化層性能退化和擊穿現象。這

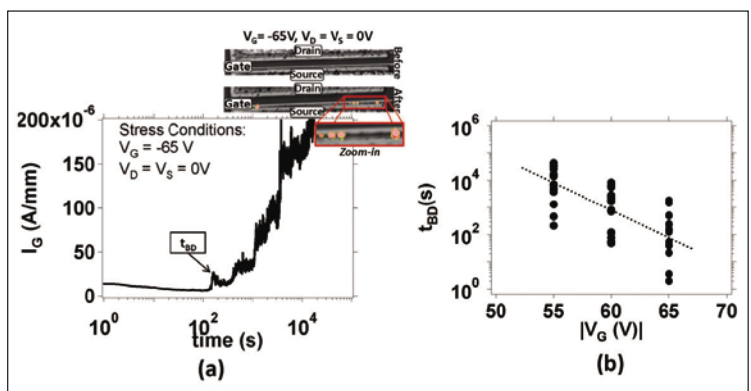


圖一：本研究中使用了在4英寸矽（111）面的高阻襯底上生長 $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$ 磊晶層形成的器件尺寸以及結構示意圖。右方的插圖是嵌入式Ni/Au基T形柵極的TEM圖像。

種在矽器件結構中的氧化層問題源於隨機形成的局部優先漏電通路。通過發光顯微鏡（EMMI）的圖像我們可以看到，存在著大電流注入的發光區域，在產生氧化層的擊穿之後，形成漏電通路的地方可以看到熱點。

在我們氮化物HEMTs中也觀察到了同樣的現象：受應力後的器件在沿著閘極寬度的方向出現了隨機的局部熱點（見圖二a的插入圖），由於在經受應力之前這些地方並不存在熱點，這就清楚地表明，性能退化是由隨機形成的局部漏電通路所致，然而產生這些漏電路徑的本質原因還是個謎。

在矽電晶體氧化層中的擊穿問題與HEMTs在低於臨界電壓 $V_{CRITICAL}$ 下的失效機制間具有高度的相似性，從而啟發我們可將CMOS元件已發展成熟的可靠性測量程式應用到我們HEMTs元件的可靠性測量中。根據這種測量方法，我們將48個元件分成3組，每一組電壓對應16個元件，在室溫下以三種電壓應力分別對其進行與時間相關的擊穿（TDB）試驗（分別為 $V_G = -65V$ 、



圖二：（a）在 $V_G = -65V$ ， $V_D = V_S = 0V$ 時進行與時間相關的擊穿（TDB）試驗。經過一段時間後閘極漏電流會出現突然的增加，第一次的這種電流躍升就表明是出現了與時間相關的擊穿（ t_{BD} ）；插入圖表示的是器件偏置為 $V_G = -65V$ ， $V_D = V_S = 0V$ 時器件失效前後的光發射顯微鏡（EMMI）圖像。（b）在應力試驗過程中與反向閘極偏壓狀態相關的 t_{BD} ，圖中的虛線僅起到觀察引導作用。

CS 精選 ◆ CS Features

- 60V和-55V)。我們對其中的一個特徵性問題，即閘極電流在產生首次激增所需的時間 t_{BD} 進行了研究。

這種與時間相關的擊穿 (TDB) 取決於應力的大小，表明閘極退化與其偏置有著很強的相關性，由此與電場強度亦密切相關 (如圖一b)。

將氧化層性能退化進行鏡像化處理後，我們HEMT的與時間相關擊穿 (TDB) 遵循Weibull法則 (圖三a)。運用該法則進行資料擬合時需要一個形狀參數 β ，還要加上一個參數 η ，它反映了在每個電壓應力下器件組中63.2%元件的 t_{BD} 。一旦獲得了這些 η 值資料，利用外推法就可以獲得更低電壓應力下任意失效水平的 t_{BD} 。

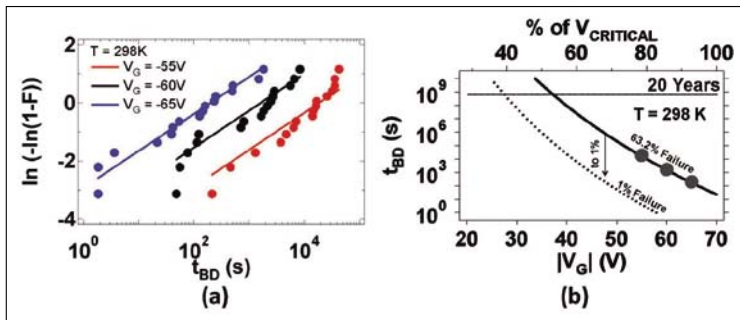
舉例來說，我們計算得出了對應於38%臨界電壓值 $V_{CRITICAL}$ 的工作電壓為27V，這就保證在室溫下

使用20年後器件組中只有1%的器件會產生失效 (圖3b)。為了得出這個結論，我們利用了一種幂率模型 (power law) 進行外推，因為該模型對我們的資料具有最佳的匹配性。

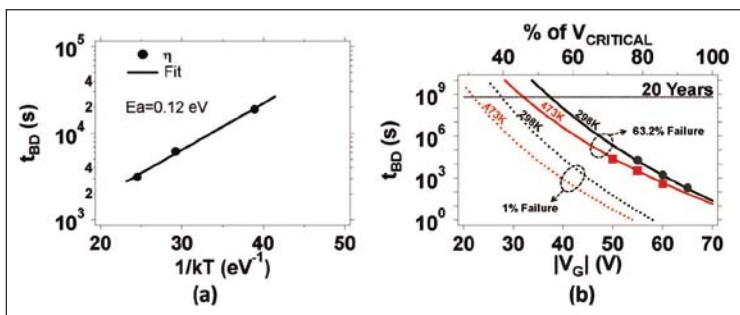
升高溫度

通過對三組 (每組16個器件) 器件在298K, 398K以及473K溫度下的閘極退化情況進行了比較，各個溫度下的閘極電壓維持-55V的固定值，研究了工作溫度對元件可靠性的影響。我們還採用同樣的方法來研究室溫下的元件特性，發現從每個HEMTs元件組所提取的 η 的數值都滿足Arrhenius法則，具有很小的啟動能0.12eV (圖四a)。我們的結論是：閘極性能的退化與溫度的依賴性不大，由此得出的一個重要結果就是，任何的溫度加速試驗，包括普遍應用的三種溫度壽命試驗在內，可能都無法用來表徵閘極性能的退化現象，這是因為是採用了溫度來作為加速因數，而不是用電壓。我們的研究表明，經過幾千個小時的高溫應力並沒有導致閘極失效，然而這並不能保證在20年內其閘極不會出現性能退化現象。對一個標準的溫度加速試驗來說，只能表明其在施加時間段內的電壓應力強度不足，才觀察不到閘極性能的退化現象。

在環境溫度為200°C、閘極應力電壓分別為-60V、-55V和-50V的條件下，我們重復了與時間相關的擊穿 (TDB) 試驗。在提取壽命資料時，我們再次發現我們的實驗資料很好地遵循了幂律法則 (power law) 模型 (圖四b)。在這種情況下，22V的工作電壓 (對應於臨界電壓值的31%) 可以保證元件在200°C工作溫度下具有20年的工作壽命 (屆時只有1%的失效率)。如將該壽命值適合於一個閘極-漏極間距為0.7 μ m的元件，由於擊穿電壓與該間距呈比例關係，增加閘極-漏極間距至4 μ m後，就能保證200°C溫度、70V電壓下工作的HEMTs經過20年後只會出現1%的失效率。有趣的是，將壽命曲線外推至室溫條件，它並不與200°C的曲線平行，這說明在不同的偏置時間極的性能退化有著不同的啟動能。換句話說，僅僅採用Arrhenius方程以及從設定溫度下進行的TBD試驗所提取的壽命將無法推



圖三：(a) 三種與時間相關的閘極擊穿電壓下 (-55V, -60V和-65V) 擊穿所需時間 t_{BD} 分佈的Weibull曲線。(b) 在298K溫度下朝向低偏壓條件的 t_{BD} 外推曲線。失效率經比例縮小至1%時，可以確定具有20年正常工作期限的工作電壓近似值為27V (對應於臨界電壓值的38%)，在幂率模型 (power law) 中取指數 $n=27$ 時其資料的匹配性最好。



圖四：(a) 元件組中63.2%的器件發生 t_{BD} 的Arrhenius關係圖 (Weibull分佈的 η)，其啟動能為0.12eV。(b) 在298K (黑色)和473K (紅色)溫度下，朝向低偏壓條件的 t_{BD} 外推曲線。失效率經比例縮小至1%時，可以得到在473K溫度下工作期限為20年時的工作電壓近似值為22V (對應於臨界電壓值的31%)，在幂率模型 (power law) 中取指數 $n=27$ 時其資料的匹配性最好。

廣得到其他任意溫度下所對應的元件壽命。由這一發現得出的重要結論就是：為了避免外推法出現錯誤，應當在目標溫度下進行與時間相關的擊穿(TBD)試驗。在採用這一普遍用於CMOS行業的方法時，溫度效應在本質上已經被包含在失效的資料中。儘管我們對閘極性能退化的本質還不清楚，但還是有可能對其根本原因進行深入的研究，如已經證實了反向壓電效應的作用。在上述情況下，在施加偏置時AlGaIn層中所產生的額外應變將會決定缺陷的產生率。然而，一種可替代的、還不為人所熟悉的現象可能還隱藏在與時間相關的閘極性能退化的背後，尚需要進行進一步的研究。

大量的證據表明，在臨界電壓值之下漏電流的增加將會引起元件性能的下降以及導致器件發生擊穿，這對AlGaIn/GaN HEMT來說是一個非常重要的可靠性問題。此問題並不是通過以溫度加速為基礎的傳統可靠性試驗方法來加以揭示的，而是它確實與所施加的偏壓應力相關。因此我們認為全面的可靠性評估方案必須包括電壓加速以及目標溫度下的與時間相關的擊穿(TBD)試驗，才能正確地評估閘極性能的退化現象，以最終能可靠



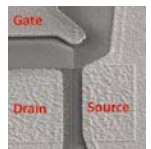
位於比利時的IMEC素以裝備有最先進的製程設備而聞名。

地預測出HEMT元件的工作壽命。CS/Taiwan

進一步可參閱：

- D. Marcon et al. Proc of IEEE International Electron Devices Meeting 472 (2010)
- R. Degraeve et al. Microelectronics Reliability 39 1445 (1999)
- G. Meneghesso et al. Int. J. Microwave Wireless Technology 2 39 (2010)
- J. A. del Alamo et al. Microelectronics reliability 49 1200 (2009)

在IMEC的研究人員發現，在低於臨界電壓時氮化物HEMT會產生漏電流增大的現象，這將會引起元件性能的退化，並最終導致元件發生擊穿。



(文承第23頁)

時，間接Auger係數將會變大三倍。根據C. Walle的理論，這已可以部分地解釋了“綠光帶隙”現象，即波長在530nm到580nm之間LED的發光效率將非常之低。

然而，他說形成該帶隙的部分原因是由於工作於更長波長氮化物LED中的量子阱厚度減小所致。

減小量子阱的厚度可以對應變的增大以及位錯的形成產生補償。C. Walle說：“然而，對一個給定的載流子密度，隨著參與複合的載流子密度上升，與輻射複合相比，Auger複合將更為重要”

此外，C. Walle認為，隨著氮化物LED應用被推向了更長的波長，極化場的增大也會導致發光效率降低的問題，因為強極化場會分離電子和空穴，從而降低了輻射複合的效率。他同時還指出，如沒有足夠的空穴注入到多重量子阱中，就會導致器件P區一側有源區內的載流子趨向於位置局域化，這就增加了實際參與俄歇複合的載流子密度，增大了Auger複合與輻射複合

的比值。

自義大利Politecnico di Torino的理論學家M. Goano以及來自同屬於Boston大學和 Francesco Bertazzi這兩個機構的理論學家E. Bellotti，卻對UCSB大學團隊的理論方法提出了質疑。他們的質疑主要是有關在用能帶插值法來尋找鋼的組分時，發現帶隙與第一、二導帶間的禁帶之間存在著共振現象。

而C. Walle解釋道：“我們的工作並沒有要利用這種共振現象，這是由於電子-聲子耦合和合金無序散射的載流子將會遍及整個Brillouin區。”

C. Walle認為要解決LED發光效率降低問題的關鍵是在於減少參與Auger複合的載流子密度。他說：“要做到這一點，需要將量子阱做得更厚一些，並且將其擴展至一個更大的體積中，或者是採用非極性或半極性的生長取向來提高整體的複合，減少實際產生Auger複合的載流子密度。”

E. Kiopakis et al. Appl. Phys Lett. 98 161107 (2011)

CS 精選 ◆ CS Features

稜錐結構引領單片式 白光LED邁向光明

傳統的白光LED的效能已很難再有提升的空間，但用一個單片式多重波長光源的方式，取代傳統藍光晶片結合黃光螢光粉的方法，在提升效能上將會有重大的突破。

「而使用奈米級的稜錐體結構便是一個極佳的方式」，三星的Taek Kim、Joosung Kim和Moonseung Yang如是說。

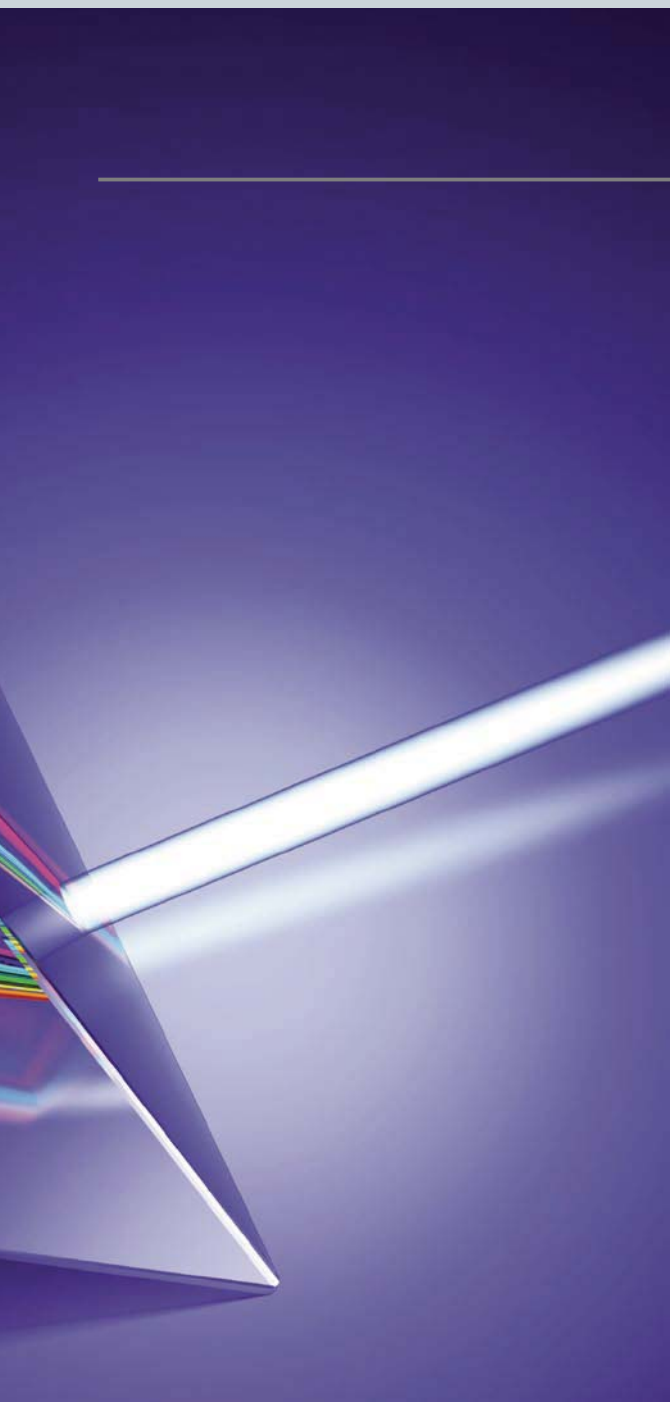
或許就在明年左右，LED即將完全主宰顯示器背光的市場，這將驅使LED晶片製造商獵食這新的有利可圖的應用市場。目前為止LED最大的應用是通用照明。LED的生產商已準備好去挖掘這個市場，但惟有當他們能大幅降低每流明的成本時才會大舉進軍，而透過提升發光效率能實現此目標。

白光LED將驅動這項照明革命。傳統白光LED由發射藍光的晶片及由吸收藍光而放出黃光的螢光粉結合而成。這樣的裝置中，由混色而成的白光之發光效率受到限制。即使藍光晶片和螢光粉的效率都非常高，晶片放出光子的能量及實際被螢光粉吸收的能量間的

差距，仍造成不可避免的能量損失。此外，使用螢光粉也有個實行上的缺點，將螢光粉塗佈於LED晶片上將增加製造成本。

終極的解決方式就是單片式白光LED，發出多重光譜，如藍、黃或三原色。然而，製造這樣一個裝置相當具有挑戰。氮化銦鎵(InGaP)藍光LED在長波長下效率驟降，而磷化銦鎵(InGaP)紅光LED在短波長下則效率銳減，這些缺點合起來導致缺乏效率的綠光及黃光射極，稱為綠光能隙(green gap)，阻礙了單片式白光LED的發展。

在三星的研究機構SAIT(Samsung Advanced Institute



of Technology)，我們已經著手開發另一種全新的LED結構，利用奈米級的稜錐結構來製造單片式白光LED，能順利解決綠光能隙的問題。

為何不用螢光粉？

高品質且價格實惠的LED燈泡是固態照明的終極目標。今日已可買到色彩品質佳且高發光效率的LED，但對消費者而言成本仍然太高。顯而易見的，大量生產可降低晶片成本，採用大尺寸矽晶圓能夠獲得更高的利潤。我們已經發展出這樣的技術，且最近已應用於藍光LED的生產，其在4吋及8吋矽晶片上以電流350mA

驅動下可產生510mW的功率。但既然最終是要降低整個經營成本，比起降低製造成本，提升發光效率會更為有效。這是因為加強發光效率能帶來三個層面的效益；分別為對晶片而言可降低每流明的成本，對整個燈具而言能降低封裝成本，針對使用上而言可以降低耗電量。

晶片製造大廠的實驗室中，最佳的白光LED之發光效率超過200lm/W。在350mA驅動電流下，美國Cree公司創下發光效率231lm/W的記錄。紀錄無疑的仍會繼續往上增加，但能提升的空間不多了，因為螢光粉轉換白光LED(phosphor-converting white LED)的理論最大發光效率為263lm/W。

理論值限制之最大發光效率的關鍵因素是史托克轉換(Stokes shift)能量損失。當以藍光激發黃光螢光粉時該損失達20%，且當藍光被用以激發較長波長的螢光粉，如橘光螢光粉時，則該損失會更大。橘光螢光粉是被用來產生居住照明市場所需的暖白色調光源。利用混色方式所結合出的白光在發光效率上亦會產生限制，因人眼對綠色敏感，而傳統白光LED缺乏會對光源效率有很大的影響的綠光光譜。綜合此因素，對於廣泛的發光光譜結合螢光粉所發出的光，人眼對其光波長反應遲鈍；更糟的是，暖白光中的可見光則更嚴重。

去除波長的轉換可避開這些問題，且可增加理論最大發光效率到超過400lm/W。但建構這樣的裝置非常棘手，因為不只是製造一個能產生多色光之波長的單一品片，並且要能發出高效率的綠光、黃光、或甚至是紅光。

單片式白光LED的障礙

氮化物LED的綠光能隙源自於富含銦氮化銦鎵的晶體品質不佳，以及三族氮化物在c平面上的極化性質所導致的。巨觀的極化現象於此材料中，引起垂直量子井平面的壓電場。壓電場在電子井中將電子與電洞拉開，導致自發輻射率的衰退，此現象稱為量子侷限斯塔克效應。

當波長增加，效率的衰退更為嚴重。銦含量需

CS 精選 ◆ CS Features

提高來達到長波長，而這增加了量子井的應變，導致更高的壓電場而阻礙輻射複合。若要容納更多的鋼則需要較大的應變與較低的成長溫度，而這更惡化了發光效率，因為產生很多非輻射複合中心，如點、線缺陷。有一延伸的研究指出，利用氮化鎵(GaN)成長於半極化或非極化的基板來避開壓電場，已在實驗階段證明是可行的。這可由藍寶石(sapphire)或氮化鎵之一來製造。然而，非極化與半極化膜成長於藍寶石上時會產生疊層缺陷(stacking fault)，而獨立式(free standing)氮化鎵基板則太昂貴不適合用來製造LED。包含台灣大學，許多團隊正在研究一具潛力的替代方式，透過應變控制來降低電場，比如多重量子井(multi quantum wells, MQWs)的預應變(pre-straining)方式。

用氮化鎵奈米結構來建構LED，是一個更新且具有潛力的概念，利用這些結構放射正藍光到紅光的方式已被證實可行。這引起相當大的關注，因為這樣的方式有希望能克服綠光能隙的問題，而實現多色光的白光LED。奈米結構的優點包括半極化和非極化氮化鎵的成長、光萃取率(light extraction)的提升、因為奈米結構微小的特徵能有效降低應變，進而達到最佳的晶體

品質。

我們已使用這類結構，特別是奈米級稜錐與氮化鎵來產生磊晶層，其可放出高效率的綠光、黃光與紅光。此外，我們已製作出單片式LED，可放射出由不同量子井混色而成的白光。

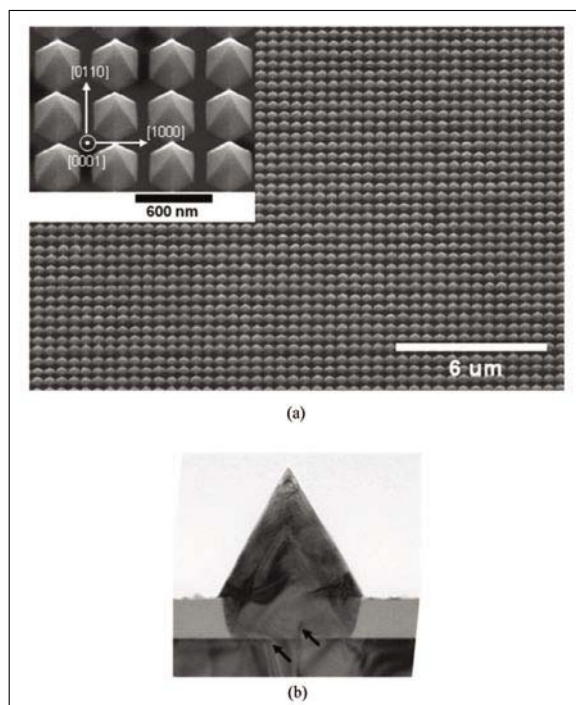
關閉綠光能隙

我們使用有機金屬化學氣相沉積法(Metal-organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)去生長氮化鎵/氮化鎵(InGaN/GaN)多重量子井(MQW)，或成長雙異質結構(Double heterostructure, DH)於奈米尺寸的氮化鎵六角稜錐上。其製備方式係透過選擇性的成長於已圖案化的c平面氮化鎵模板上，模板上有具圓開孔的100奈米厚的氮化矽(SiN)膜。

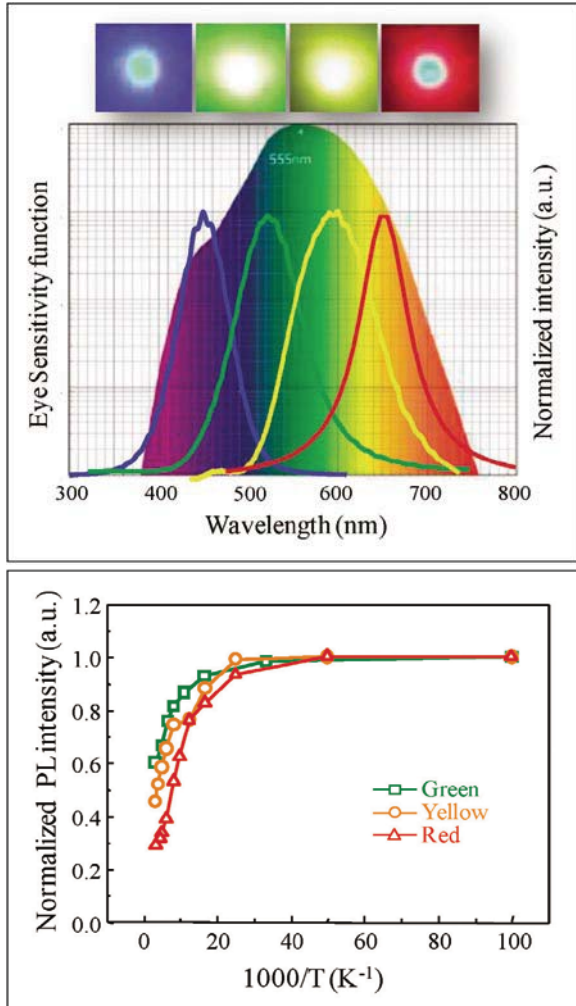
透過獨有的成長製程，圖案化後的晶圓，形成無意的氮化鎵六角稜錐摻雜。隨著三個氮化鎵量子井與氮化鎵位障(GaN barrier)或一個氮化鎵/氮化鎵雙異質結構的增加，則成長製程終結。三元層成長條件需小心選擇來控制放射波長及效率。其中氮化矽膜在成長製程後不需進行移除。

這些稜錐陣列結構的六個晶面可以很清楚的在掃描式電子顯微鏡(scanning electron microscopy, SEM)及穿透式電子顯微鏡(transmission electron microscopy, TEM)下看到(見圖一)。根據高解析度的X光散射，所有的晶面是半極化{1,1,-2,2}平面。此方法的好處之一是差排現象在傳入氮化鎵層之前會終止，如圖一(b)的TEM橫截面圖所示。透過因氮化鎵及介電層罩之間的熱應力不匹配(thermal mismatch)所出現的奈米級孔洞，選區成長(selective-area growth)時的差排現象將會被過濾掉。

我們能用奈米椎體結構產生廣泛的顏色及高發光效率，光激發螢光光譜(Photoluminescence, PL)量測展現綠、黃、紅光的放射結果，見圖二(a)。根據10到300K的溫度範圍中，一般化後積分的光激發螢光光譜強度(normalized integrated PL density)之阿瑞尼士曲線圖(Arrhenius plot)所得的綠光、黃光、紅光的內部量子效率分別為61%、45%及29%，見圖二(b)。



圖一 (a)奈米稜錐陣列的SEM圖，其中插圖表示結晶方向。(b)橫截面TEM顯示，線差排在傳入氮化鎵層之前被終止。



圖二 (a)(上圖)平面區(藍光)及奈米稜錐(綠光、黃光、紅光)上的氮化鎵鎵之PL光譜圖；將人眼感光度的函數重疊作為參考。(b)(下圖)奈米稜錐上積分後的綠光、黃光、紅光氮化鎵鎵PL強度與溫度間之關係。

為了確認高發光效率的原因，我們比較奈米稜錐黃光MQW，和另一晶圓上成長在c平面的藍光MQW。兩種結構的光激發螢光光譜顯示，激發功率和光激發螢光光譜強度存在一線性關係，且發射出黃光的結構存在較低的入射功率，這顯示比起藍光MQW有較少的缺陷，見圖三。

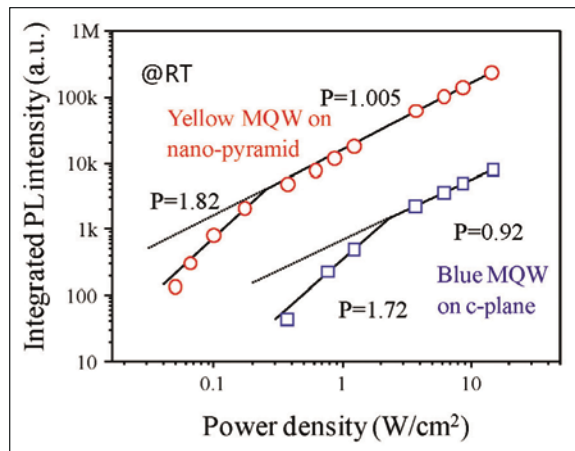
透過低溫下測量發射峰隨激發功率變化偏移的函數，我們已確定壓電場的強度，見圖四。光子載子會遮蔽壓電場，因此可從激發功率對發射峰造成的藍偏移(blue shift)估計壓電場強度。再一次的，我們比較發

射出黃光與藍光的結構；在藍光MQW中，當激發功率從1mW增加到10mW，發生的藍偏移為29meV，這即顯示出其產生的壓電場大小。相比之下，黃光量子井的藍偏移小到幾乎可以忽略。

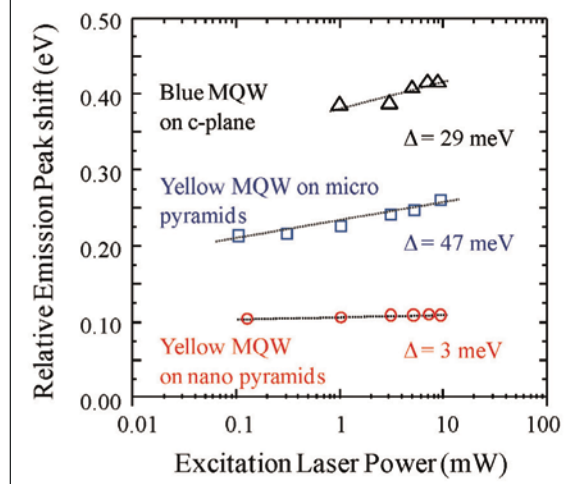
因為這些奈米結構中半極化平面或應變的釋放，使壓電場被強烈抑制。而為了證實是否真實存在於我們發射黃光的稜錐中，我們將這些結構放大，建構底徑2微米的等量角錐，發現這次的藍偏移變為47meV。

當放射集中到約570nm時，藍偏移相對較小，顯示半極化成長平面的顯著影響。相較之下，在500nm條件下放射的MQW結構，激發功率產生巨大的143meV的藍偏移。

然而，微米級角錐的藍偏移仍遠遠大過奈米級的結果。我們的結論是，奈米級角錐{1122}晶面上的

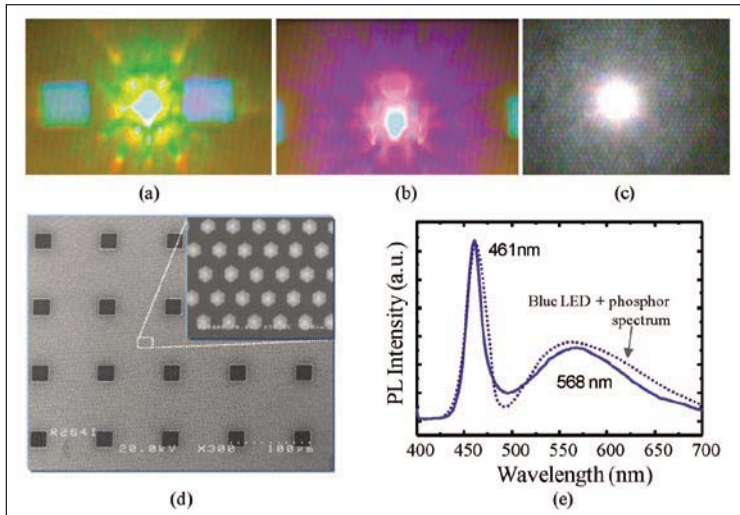


圖三：奈米椎體上黃光氮化鎵鎵MQW及c平面基材上藍光氮化鎵鎵MQW的積分光激發螢光光譜強度，隨激發功率強度變化的函數。光強度(L)正比於IP，其中I為載子密度而P為冪次。如果P=1，輻射複合為主導。如果P>1，則Shockley-Read-Hall非輻射性複合為主導。



圖四：三種結構之發射峰偏移量為入射強度變化的函數。由於三種結構發射波長不同，將可比較它們的相對發射峰偏移量。

CS 精選 ◆ CS Features

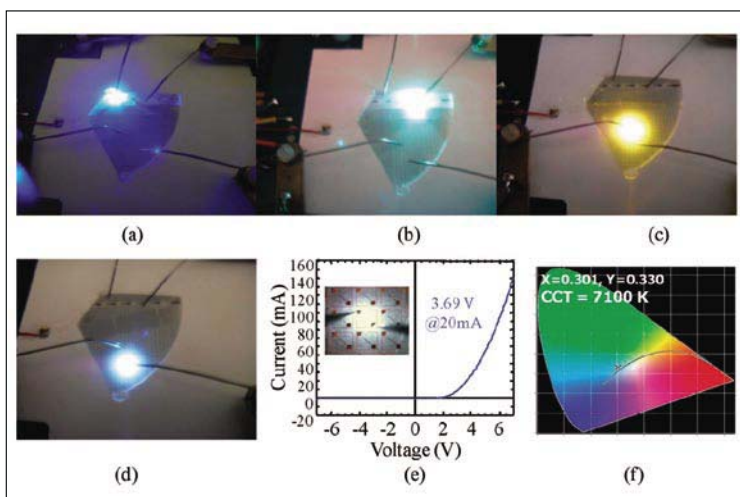


圖五：光激發螢光光譜圖。(a)奈米椎體結構。(b)微平面區。(c)用5微米直徑的光束取得的顯微光激發螢光光譜圖，顯示由藍光、黃光組成的白光。(d)發射出白光的SEM結構圖，黑色方型區域為微米級的平面區。其中插圖(e)為(d)結構的奈米稜錐陣列圖中的光激發螢光光譜，螢光粉轉換白光LED的光譜圖則以虛線表示作為比較。

MQW成長，透過其半極化成長平面與應變釋放，能有效抑制壓電場。

打造白光光源

用選擇性成長氮化鎵的一個好處是，透過成長方式和成長條件的改變，可變換其位置。這點有著非



圖六：來自於同樣基材的藍光(a)、青光(b)、黃光(c)及白光(d)的LED。藍光LED結構成長於平面區的c平面上，青光和黃光LED結構成長於奈米稜錐上，而白光LED成長於平面區及奈米稜錐混合的平面上。(e)白光LED的I-V曲線。(f)白光LED的色溫。

常重要的意涵，氮化鎵層的波長在奈米稜錐上及平面基材上是不同的，因此可能實現多重波長的放射現象。我們成長氮化鎵MQW於奈米圖案化結構上，有 $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ 面積的開孔讓晶體沿平面成長。Micro-PL光譜顯示，磊晶結構激發出的白光，係透過平面區域發出的藍光以及奈米稜錐發出的黃光混和而成的。(如圖五)

在奈米稜錐的MQW中，擁有較高的鎵含量能產生較長的波長，這並非簡單的由於不同的沉積平面。而是因為鎵遭受側向的蒸氣擴散及從介電層遮罩到氮化鎵椎體的表面遷移所導致的，進而使得鎵的含量增加。

事實上，我們發現當移除氮化矽再成長氮化鎵MQW，椎體的發射峰減少15nm。我們也學到，透過調整這些奈米椎體的間距，可以控制這些椎體上量子井的發射波長。

藉由改變磊晶圖案的選擇性，我們製作出多重波長的LED。(如圖六所以，藍光、青光、黃光及白光LED均來自於相同的基板)。白光是由奈米椎體上氮化鎵MQW放出的黃光，以及微米大小的平面區域放出的藍光結合而成的。

在20mA下裝置的順向電壓是3.69V，由於奈米結構上p型透明導電層有較高的電阻率，這數值高於預期。然而，其開啟電壓低於藍光LED，這是因為黃光MQW的能隙較低所致。此條件下的LED的色溫為7100K，但經由奈米角錐與平面區之間的面積比的調整，可有效降低色溫。

我們的努力展現奈米稜錐LED的驚人潛力。由於缺陷的減少、應變的釋放、以及壓電場的抑制，奈米稜錐LED可在廣泛的光譜範圍間產生高發光效率。

然而，挑戰依然存在。其中最大的挑戰是如何在氮化鎵層擁有均勻的電流；因為三維的幾何結構使電流穿過最短路徑時發生壅塞。雖然壅塞不如在奈米棒中那麼嚴重，但對高功率LED而言，均勻的入射電流是絕對必要的；我們將試圖克服此問題，且試著開發更高含量的p型摻雜於[1122]的晶面，這是降低LED操作電壓的必要步驟。**CS/Taiwan**

反置磊晶提高LED發光效率

在傳統的LED發光困限於不良電洞摻雜以及主動區域以外載子牽引的內部電場。

Crosslight的Z.Q.Li

提出的解決之道：

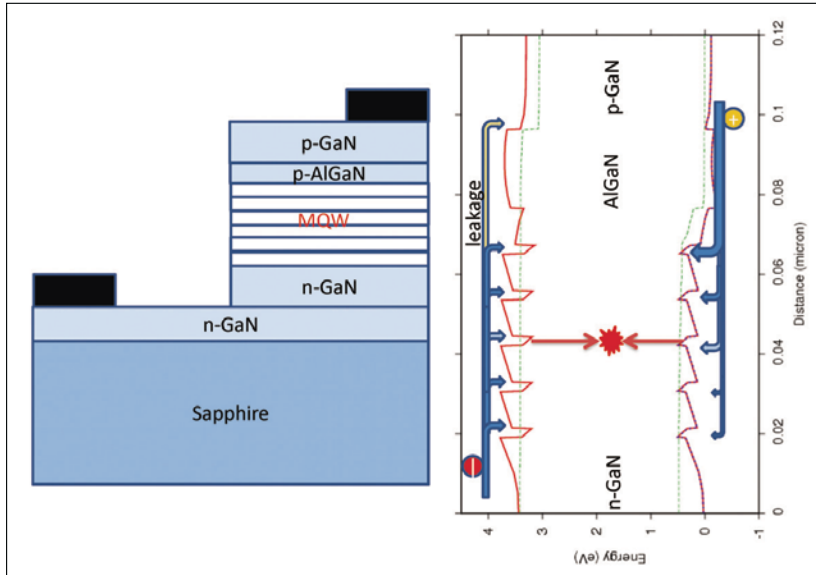
開始於元件成長p型膜層，因為這樣有助於在量子阱的載子捕集並且打開極化引致的電洞摻雜。

LED只有在高內部量子效率時產生優秀的性能，所產生的光子之於所注入的載子具有較高的比例。然而，確保氮化物LED操作於較寬電流範圍是如此情況之下則具有其挑戰性，因為在這一類元件中當驅動電流被提高時，內部量子效率會有下跌之趨勢。

不確定性圍繞在稱為衰減 (droop) 的這個效率降低之成因上。其淵源是激烈辯論的主題，因為了解為何導致的這件事將有助於推動製作能夠支撐固態照明革命之對抗衰減的LED結構。目前，若干團體將內部量子效率降低歸咎於各種的歐傑機制，而其他團體則指摘缺陷複合 (Recombination) 或漏電流。然而，沒人會爭辯AlGaIn電子阻障層 (EBL) 的加入實質地提升氮化鎵LED的性能。

了解EBL好處的一個方式就是先看看它是如何在一個典型LED結構中運作 (參見圖一)。在這個特殊的元件中，就如同任何其他的LED一樣，儘可能藉由注入

CS 精選 ◆ CS Features



圖一：一個傳統的p-side up氮化物LED以及顯示出載子注入和複合之相應的電子能帶圖。電子向上游移到量子阱而電洞向下。具有較小有效質量的電子造成漏電流，然而具有較大有效質量的電洞在量子阱中產生非均勻的電洞密度。因此，呈現低的內部量子效率。

許多電子和電洞到量子阱 (QWs) 使其效率最大化並使得在溝道 (trench) 裡有效率非常好的複合。然而，比起電洞而言，由於電子有較小的有效質量和較高的移動率，電子有很高的可能性會跨過該QW區域而到達p摻雜區域，而不是在QW中複合發射出光線。漏電流不產生任何有用的光子，且大多數在QW以外的複合是非輻射的。

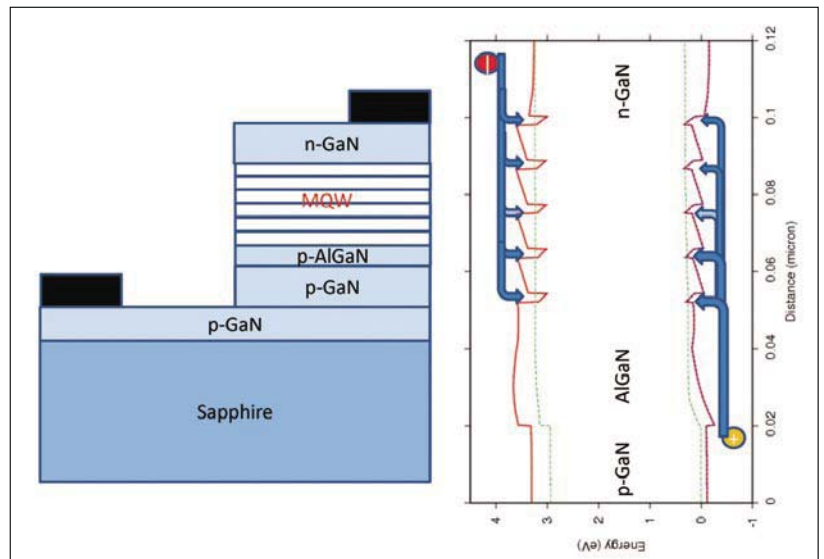
為了防止電子於QW區域脫離，工程師們可以加入一個p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ EBL以阻絕這些載子的前進： $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的較大能帶隙對於游移到QW區域外的電子其作用像是路障一樣。然而，在氮化物材料中的電洞比電子重約10倍，其移動率大約是20-30分之一。因此，電洞很少跨越過QW區域，導致在QW中電洞密度呈非均勻分佈以致最終之較低的內部量子效率。

我們的努力顯示出，增加鋁成分和EBL的厚度可以更有效阻絕電子。但還有一個問題—這些方法阻礙電洞移動，而結果是LED效率下降。

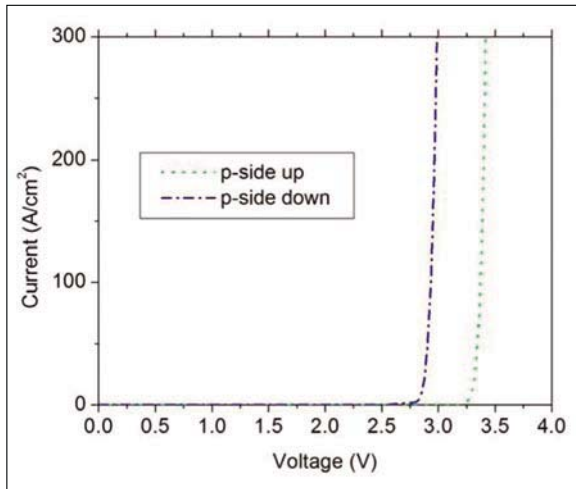
經由厚度，摻雜濃度和鋁成分而最佳化的EBL在特點的關鍵數據上的改善是可以實施的。藉由實驗的成果所呈現之完美組配將是非常昂貴和費時的，模擬類的努力成果有更多的吸引力。像這樣一個手法可使用我們已經位於加拿大不列顛哥倫比亞省的伯納比所開發之Crosslight軟體數值工具來加以實現的。我們的軟體，已被廣用於許多學術界和工業界的研究人員用以設計出LED的主動區和被動層，使用多維度的有限元素分析決定載子移動和在這些元件中的光學產生方式。所有針對氮化物半導體的重要特點能兼顧到，包括在異質界面極化電荷以及關於QW量子阱性質的不同晶體方向的影响。

LED的核心—多量子阱，EBL和接觸層 - 通

常是使用一維度的模擬設計，二和三維度模擬傾向用於探討和了解封裝的相關議題，諸如熱效應，電流分佈和光的擷取。我們已經針對具有不同AlGaIn EBLs之一系列的元件去模擬LED性能。這些努力成果顯示出，



圖二：一種預期更高的輸出功率和較低的順向電壓之新型p-side down氮化物LED。具有鋁成分分級10%到15%的EBL膜層誘導在該層的摻雜密度。請注意到載子注入的方向相反，這有助於量子阱捕集電子並產生光子。



圖三：p-side up和p-side down LED元件之電壓和電流關係圖。

增加鋁成分和EBL的厚度可以更有效地阻絕電子。但還有一個問題—這些方法阻礙電洞移動，而結果是LED效率下降。這個問題的一個理論解決方案是，提高EBL的p型摻雜密度，一個有效地增加電子阻障和降低電洞阻障的步驟。然這是不切實際的，因為在GaN類的材料中不容易獲得非常高的p-摻雜濃度。鎂是常用的受體摻雜，其能階是非常的高 - 在室溫下，只有1%左右是解離且有助於電洞密度。添加實質量的鎂到結構中是非常困難的，即使這是可能的話，會降低元件的特性。

Debdeep Jena和從印第安納州聖母院大學的同事，發現了一個可能的辦法來克服電洞摻雜議題。他們已經證實，具有正確等級鋁成分的AlGaIn膜層能夠誘導由於這些材料本質極化的摻雜。這項技術有望解決關係到鎂摻雜的許多困難點，因為極化引致的電洞摻雜並非熱力上的激發所致。

反置磊晶層

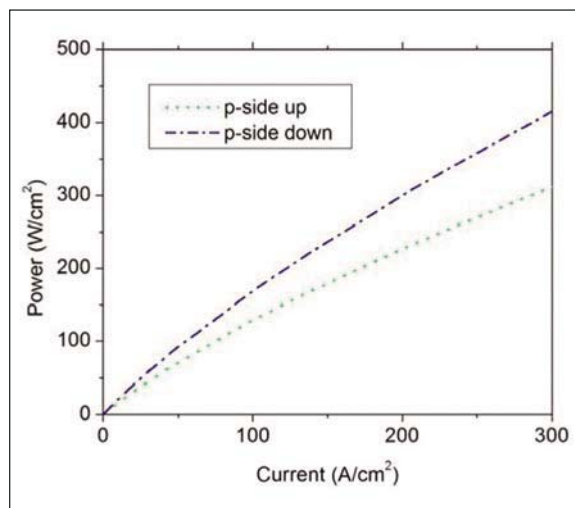
傳統上，LED的製作係藉由在基板上形成n型摻雜區域，並加上QW量子阱，ELB和p型摻雜區域（見圖一）。這個架構有一個主要的缺點：從介於量子阻障和區域外牽引載子阱之間的界面極化電荷所產生之電場，阻礙了在阱區之有效的載子捕集並導致高漏電流。

我們已證明，一種新型的p-side down LED架構可

以滿足這個問題。如此的元件，其特徵有毗鄰於基板的p型摻區域和n型區域於頂部區域，相較於傳統結構使用反相電流注入來操作。（本LED的詳細能帶結構請參見圖二）。

這種設計有兩個好處：現在載子捕集比起脫離更為有利，歸功於在電流方向的切換；電洞注入不需訴諸於過多多量的鎂摻雜而有改善，因為藉由在結構底部置有EBL膜層，可以分級的方式，使極化引致摻雜增加電洞密度。我們的模擬結果證明，這樣的反置架構使得LED的輸出功率提增，還有減少其順向電壓。

不幸的是，在真實元件上實現這種價值是不平凡的。由於鎂，這是關係到MOCVD設備之最常見的p型摻質，雜質的擴散使得形成高品質的p-side down元件是需要技巧的。還應當注意的是，許多用於生產p-side down元件的技術，如Lift-off，將無法藉由我們的模擬而獲得結果，因為他們翻轉整個晶體—未能反轉方向對應於晶體生長方向的電流注入。儘管如此，由於已知的氮化物磊晶技術之迅速提升，我們樂觀地認為，高品質的p-side down元件將會在接下來的幾年間現身業界。**CS/Taiwan**



圖四：p-side up和p-side down LED元件之功率和電流關係圖。

延伸閱讀

J.Simon et al. Science 327 60 (2010)

Z.Q.Li et al. J.J.Appl. Phys. 50 080212 (2011)

CS 精選 ◆ CS Features

大幅降低氮化物生長的溫度

Richard Stevenson報導：採用金屬有機化學氣相沈積（MOCVD）方法來澱積氮化物磊晶層需要較高的溫度和大量的氨氣，但是這二個弱點均可以採用一種替代性生長製程，稱之為“Meaglow”技術來加以克服，該項新製程的開發由加拿大新創立的專案進行。

Meaglow原型設備系統照片，電漿源位於系統的頂部，處於用來測量樣品溫度的光學高溫計的後方。

目前金屬有機化學氣相沉積（MOCVD）設備的銷售額已經達到了驚人的水平。根據IMS Research的研究報告，在2010年中，MOCVD設備的出貨量達到了800台左右，今年的出貨量預計還將增加4%。這些MOCVD設備中有許多是運往中國的，它們將用於沉積InGaN和GaN層的磊晶層，用於億萬個LEDs關鍵結構的製造。

從商業角度來看有一點是十分明顯的，在氮化物層的沉積生產有一部分是由中國的LED晶片製造商來完成的，而其主要部分還是由世界其他地區的LED製造商所提供，這二者均非常成功。然而，這也不是意味著

這種沉積製程技術就沒有改進的空間了。當前的金屬有機化學氣相沉積（MOCVD）生長技術存在著一些弱點，如它需要在高溫下才能沉積氮化物層，通常的生長溫度為1000°C左右。這將是一個很嚴重的問題：GaN基的LEDs是生長在矽、藍寶石或SiC基板上，上述這種高溫生長環境會增加磊晶晶圓的彎曲度，這主要是由於磊晶層和基板之間的熱膨脹係數（TEC）不同所致。

對於處於產業發展頂端的LED晶片製造商來說，為了降低LED照明的價格而需要採用更大直徑的晶圓基板，晶圓的彎曲問題將是一個非常大的挑戰，這是因

為當磊晶晶圓的直徑變得越來越大時，其扭曲形變也就會變得更加顯著。採用複雜的緩衝層結構並結合應變的控制措施可以降低晶圓的彎曲度，但一個更具吸引力的解決方案是直接能在較低的溫度下來生長多層磊晶薄膜。

大幅降低生長溫度還存在另外一些好處：這樣就可以在更大的範圍中來選擇使用基板材料，如可以選用ZnO，它是一種溫度敏感性材料，並且能與GaN的晶格常數相匹配；在低的生長溫度環境下也有可能來進行富In的InGaN層的生長，它的優點是能將綠光LEDs的光譜範圍給予進一步的延伸；低溫生長還可對其他類型器件的開發提供幫助，諸如對高遷移率場效應電晶體以及具有全光譜範圍太陽能電池的開發等。

分子束磊晶（MBE）是一種可供替代的技術，它是一種成熟的薄膜澱積技術，可在較低的溫度下來生長氮化物薄膜。如果MBE技術的應用是遵循MOCVD技術的發展足跡，那它應當主要是用於生長N-晶面的GaN。然而，在低溫下MBE所生長的薄膜層通常具有粗糙的表面形貌，這是因為在生長過程中形成了柱狀的多晶結構，它具有角錐形的頂端。如果改為生長Ga-晶面的話（因它能具有更好質量而著稱），這種材料將能適用於包括LEDs和雷射二極體應用在內的大多數GaN基光器件的開發。但Ga-晶面的生長也存在一定問題，因為在低溫下要沉積這種類型材料存在較大的困難。但它在一定條件下也可得以實現，在MOCVD生長的GaN模板上，或是在以較高溫度生長的AlN緩衝層上，就能成功地進行Ga-晶面材料的MBE生長，而在氮化物藍寶石基板上則幾乎沒有可能來直接生長Ga-晶面。

幸運的是，如今已經有了另一種替代性生長方法——“餘輝遷移增強migration enhanced afterglow”生長技術。雖然這種生長製程技術部分借鑒了MBE的基本原理，但是它在根本上與MBE是一種不同的技術，它是將基於CVD的電漿技術與~1托的低真空度（較高的氣壓）相結合。這種新穎的生長製程源自位於加拿大Northwestern Ontario的Lakehead大學，稱之為Meaglow技術。該技術研發是在2009年年底開始動的，如今正通過一種雙管齊下的方法開始將該技術實現商業化

進程：以較低投資成本來製作生長設備；另外還計劃在今年晚些時候能提供在晶圓上生長InN磊晶薄膜的商業化對外服務。

一個稱之為“Thunder Bay”專案已開始動，其驅動力來自於首席科學家Scott Butcher，他在InN薄膜生長方面富有經驗，並具有著很強的學術和產業背景。Butcher說道：“我們已經在原型設備上進行了長達6個月的生長試驗，在該階段的較早時間，我們就取得了較大的進展，然而我們距離它的終極目標仍然還相差得很遠”。

Butcher十分樂意對這種具有開拓性的新沉積製程發表他的見解。他解釋道：與Meaglow技術相關聯的較高氣壓環境可以產生高能量的電漿團粒，它們中的絕大部分將會轉化成為具有較低能量的電漿活性團粒，在分子束磊晶（MBE）過程中也同樣會出現這種類型的電漿活性團粒。Butcher還補充道：“高能轟擊會促進N-晶面薄膜的生長”，“要避免產生這種情況，可以採用起預主導作用的較低能量的等離子團粒，我們已經可以在630°C的溫度下，直接在氮化物藍寶石基板上來生長Ga-晶面的薄膜材料”。

迄今為止，在已經獲得成功的例子中包括有採用Meaglow技術來生長具有極低表面粗糙度的GaN和InN薄膜。應用原子力顯微鏡對一個厚度為200nm的GaN薄膜進行了表面掃描分析，測量結果顯示其表面粗糙度的均方根（RMS）值可低至0.24nm。“我們也已經觀察了在470°C下生長InN薄膜表面的原子級別的起伏狀況，其表面粗糙度的均方根（RMS）值只有0.1nm”。根據X射線衍射分析測定，這兩種薄膜的結晶特性都非常好。對於GaN薄膜來說，據Meaglow專案工程師所獲得的（0002） ω -2 θ 的XRD反射強度分佈曲線，得到其半峰值的全寬度（FWHM）到只有223弧秒，而InN薄膜的FWHM相應值也只有290弧秒。

出類拔萃

Butcher對低溫下生長氮化物的興趣可以追溯到上世紀90年代的早期，當時他還是一名博士研究生，在位於澳洲雪梨的Macquarie大學已故Trevor Tansley教

CS 精選 ◆ CS Features

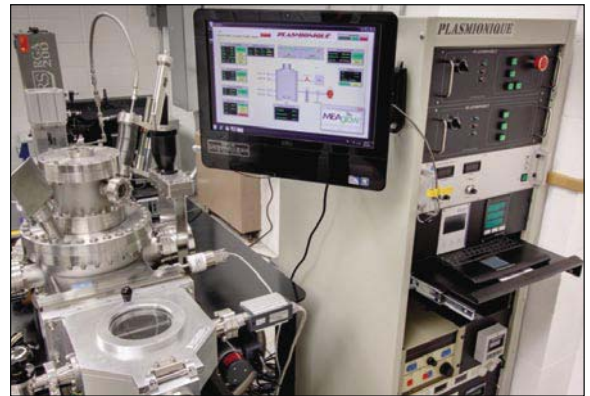
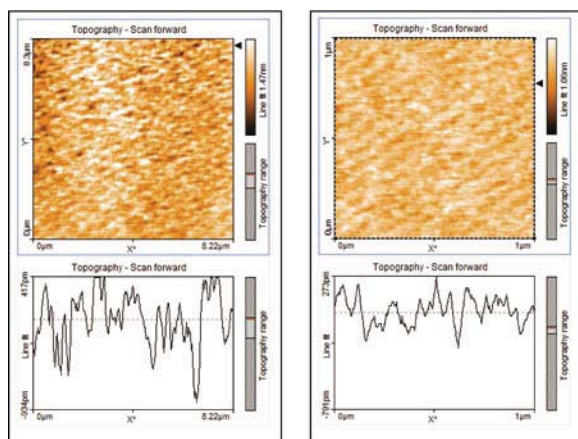
授的課題組進行研究工作。Butcher回憶道：“當Shuji Nakamura先生首次展示了他的藍光GaInN/GaN 發光二極體（LEDs）後，來自於日本、美國和歐洲的大量研究和生產資源都轉向了GaN的MOCVD生長領域”。“而Trevor教授很有遠見，他並不想與海外的許多課題組直接進行競爭。我們的課題組在之前的十年中就已經積極地進行了氮化物生長的研究，我們所採取的是與不同的研究路線，專注於低溫下的氮化物生長”。

在與同事Bing Zhou和Xin Li的合作中，Butcher曾採用了雷射誘導化學氣相沉積（LICVD）方法來構建低溫薄膜生長系統，該系統包含有Butcher開發的一種遠端電漿微波源。Butcher說：“然而，採用雷射誘導CVD方法在薄膜生長均一性上存在很大的問題，因此在隨後的開發中我就放棄了這種雷射沉積的方法”。

Butcher的職業生涯轉向了新的研究方向：在1995年到1997年之間，他工作於Pacific Solar公司（現在的CSG Solar AG公司），同時他在這段時間中也完成了他的博士學位（PhD）；兩年後，他受雇於澳大利亞核科學和技術組織（NSTO），此時他依然是Macquarie大學的榮譽研究助理。在他和已故Tansley教授的工作受到美國海軍研究辦公室（US ONR）官員Colin Wood的關注後，在1999年時他重新回到了該機構開始進行了全職研究，Wood曾對Butcher的研究工作給與了資助。

在六年多前，Butcher開始研究如何來對Macquarie大學所開發的低溫薄膜沉積技術進行提升，但這項計劃以2005年BluGlass公司進行資產分拆而告終。

左上圖：
Meaglow技術在630°C溫度下形成的200nm厚度Ga-晶面的GaIn薄膜。
原子力顯微鏡測得該薄膜表面的粗糙度的方均根值為0.23nm，在圖中還可以區分出分子線度的臺階起伏。
右上圖：原子力顯微鏡測得InN薄膜表面具有0.1nm的均方根粗糙度，以及具有分子線度的臺階起伏。



照片為安裝在Lakehead大學中的Meaglow反應器原型，顯示了其中的不銹鋼超高真空（UHV）生長室（左圖）和計算機電子控制系統（右圖）。

BluGlass公司將它自身定位於構建光電器件的雄心勃勃的任務，不僅僅是在藍寶石基板上，而且也可在玻璃上，而玻璃是一種極其便宜的基板材料。根據BluGlass公司在澳大利亞證券交易所上最近的公告，它們生長的薄膜材料在結晶特性上仍需作進一步的改進。

當BluGlass公司的研究取得進展時，作為該公司首席技術官Butcher的健康狀況卻在不斷惡化，他被診斷出得了癌症。雖然他在2007年和2008年成功地得到了治療，但他還需要休息一年的時間來進行恢復。當他重新恢復痊愈後，他就開始仔細考慮下一步的努力目標。Butcher說道：“我發現我還是想回到科學研究中，來研究一些低溫下薄膜生長的基本性問題，以開發一種能超出我以前技術一代或兩代的新技術”。虧得有了一次機遇，通過Lakehead大學學者Dimitar Alexandrov與他的友誼，他的這一夢想才得以實現。Alexandrov為Butcher提供了在Meaglow研發中發揮其重要作用的機會。

生長中存在的問題

最近，對Meaglow技術的研究正在設法改善低溫生長氮化物材料的結晶質量。其中的一個問題便是薄膜中的雜質問題，即薄膜中存在著摻雜元素或其他雜質元素的沾汙。在雜質濃度超過其溶解度極限時，這些雜質會導致產生夾雜物和缺陷的擴展，在極端情況下會產生新的結晶晶界。在採用電漿方法沉積薄膜的所

有雜質元素中，氧是最受關注的雜質元素。氧元素沾汙的主要來源於微波電漿源和射頻（RF）感應電漿源中通常所採用的電介質窗口材料，此問題可以採用常規的鈍化方法來給予解決，但這又會使系統暴露於大氣，之後需要三天時間才能恢復。然而，Meaglow技術的研究已經學會了如何來避免這個問題，它所開發的高密度電漿源已經無需再採用電介質視窗材料，並可以將窗口面積按比例擴展到很大。

位於加拿大的全套Meaglow設備已經克服了一個更為基礎性的挑戰。由於降低生長溫度會大幅度降低鎵原子的表面遷移率，將會降低到比MOCVD的生長溫度時還低。而理想的情況是，這些原子又必須擴散到足夠的遠，才能在與氮原子結合之前最終形成一個原子級別的起伏臺階，以實現二維的薄膜磊晶生長。Butcher解釋到，「如果表面遷移率太小，形成一個GaN分子所需的時間太短，那麼鎵原子的擴散長度可能會遠小於這一距離」，「隨後三維的生長將會占主導地位，並且將會形成多晶的N-晶面材料」。

除非採用極其緩慢的生長速率，不然就不可能克服傳統晶體生長方法的這種限制性。Butcher說，「然而，物理學可讓你來改造製程」。他解釋道，解決這一問題的竅門源於一種為分子束磊晶（MBE）所開發的遷移增強型磊晶技術。「其想法是採用一個大的金屬蒸汽脈衝來使基板表面達到完全飽和，即使得金屬蒸汽基本上充滿整個表面，同時又能維持一個最低的活性氮的氣流」。在生長製程過程中，在金屬蒸汽脈衝的結束時刻才開始引入以電漿團粒，隨後金屬蒸汽會慢慢地被消耗掉。Butcher補充道：「然而，對於鎵原子來說，它會有足夠時間來積極找到有利的晶格位置，使得它們可以進行進一步的二維生長」。引入一系列的這種金屬蒸汽脈衝就可以堆積形成所需厚度的薄膜。Butcher指出，這種形式的磊晶技術已經存在了好幾年，但是傳統上它比正常的薄膜生長速率還是要慢得多。「最近的一些進展已經突破了在這方面的限制，並已經在新的Meaglow薄膜生長系統中得到了應用」。

目前，該公司希望在Meaglow設備的銷售上取得



用於Meaglow反應器的金屬有機物蒸汽輸運系統。由於大多數金屬有機物蒸汽不需要再使用-1托左右氣壓的載氣——相對於傳統的MOCVD系統，這樣就能大大簡化蒸汽的輸運系統。

進展，並且將發展它的磊晶晶圓對外加工服務。這種新穎反應器的優勢不只局限於它能在低溫下生長InN和GaIn薄膜，而且其運行的成本較低，因為這種沉積製程是無氮過程，同時對鎵原子擴散長度的控制也相對較為容易，這些優點都是進行如量子點和奈米線等奈米結構生長的關鍵性因素。通過安裝在Lakehead大學的Meaglow設備原型，Thunder Bay所啟動的研究專案不但證實了其所具有的性能並且還作了進一步的改進。Thunder Bay與其校友會有一個研究合同，來共同開發這種Meaglow技術，以將其應用於高速場效應電晶體（FETs）和其他器件的製程。持續的努力最終將開發出一種新的商業化Meaglow薄膜生長技術來替代當前在技術上已十分成熟MOCVD製程，這種Meaglow生長技術可以克服傳統MOCVD製程的固有弱點。**CS/Taiwan**

標準Meaglow反應器原型設備的一個寬幅照片，顯示了具有真空裝載鎖的超高真空（UHV）中央生長室，還配置了殘餘氣體分析（RGA）和反射高能電子衍射（RHEED）分析室、金屬有機物（MO）蒸汽輸運系統（圖中左側）和相應的電子控制設備（圖中右側）



廣告索引 ◆ AD Index

AD INDEX

Compound Semiconductor / Taiwan No. 2 (2012 Feb./Mar./Apr.)

| Advertiser | Page |
|---|------|
| Aixtron SE | P1 |
| Computex 2012 2012年台北國際電腦展 | P2 |
| DKSH Taiwan Ltd. 台灣大昌華嘉股份有限公司 | 封面裡 |
| FINETECH JAPAN 2012 | 封底 |
| Grace Haozen Applied Materials 豪臻應用材料 | P13 |
| Heidenhain Co., Ltd. 海德漢股份有限公司 | P7 |
| JC's Chunson Limited 沖成有限公司 | P3 |
| LayTec AG | P5 |
| RABOUTET S.A. | 9 |
| Taiwan International Lighting Show 2012 2012台灣國際照明科技展 | 封底裡 |

行政及銷售人員 Administration & Sales Offices

行政人員 Administration

**總經理／發行人
(President / Group Publisher)**
施養榮 Douglas Shih

主編 (Chief Editor)
于嘉言 Nelson Yu
nelson@arco.com.tw

美術編輯 (Art Editor & Production)
曹宇容 Rebecca Tsao

廣告刊登 (Advertising)
劉方美 Monica Liu
monica@arco.com.tw
Tel: 02-2396-5128分機204

發行・訂閱 (Circulation・Subscription)
Tel: 23965128分機233

**亞格數位股份有限公司
Arco Infocomm, Inc.**
台北市八德路一段五號七樓
Tel: 886-2-23965128(代表號)
Fax: 886-2-23967816

銷售人員 Sales Offices

Hong Kong (香港)
Mark Mak (麥協和)
Email: markm@actintl.com.hk
Tel: 852-2838-6298

China (中國)
Michael Tsui (徐旭昇)
Email: michaelt@actintl.com.hk
Tel: 86-755-2598-8571

Shanghai (上海)
Judy Huang (黃作美)
Email: judyh@actintl.com.hk
Tel: 86-21-6251-1200

Beijing (北京)
Oasis Guo (郭鏡園)
Email: oasisg@actintl.com.hk
Tel: 86-10-5860-7751

Korea (韓國)
Lucky Kim
E-mail: semieri@semieri.co.kr
Tel: 82-2-574-2466

Singapore (新加坡)
Joanna Wong
E-mail: triplesinternational@gmail.com
Tel: 65-6339-5596 / 65-9062-9227

US (美國)
Janice Jenkins
E-mail: jjenkins@brunmedia.com
Tel: 1-724-929-3550
Tom Brun
E-mail: tbrun@brunmedia.com
Tel: 1-724-539-2404

Europe (歐洲)
Robin Halder
E-mail: robin.halder@angelbc.com
Tel: +44 (0) 2476-718970
Shenzad Munchi
E-mail: sm@angelbc.co.uk
Tel: +44 (0) 1923-690215
Jackie Cannon
E-mail: Jackie.cannon@angelbc.com
Tel: +44 (0) 1923-690205

FPD 業界世界最大商貿展 & 技術研討會

World's Largest FPD Exhibition & Conference

22nd FINETECH JAPAN

日期: 2012年4月11日(三) - 13日(五)

會場: 日本東京有明國際展覽中心 (Tokyo Big Sight, Japan)

主辦單位: Reed Exhibitions Japan Ltd.



FPD業界 世界最大! WORLD'S LARGEST!

フラットパネル ディスプレイ研究開発・製造技術展

FINETECH JAPAN

ファインテック・ジャパン

FPD R&D AND MANUFACTURING TECHNOLOGY EXPO & CONFERENCE

主催: リード エグジビション ジャパン株式会社
ORGANISED BY: REED EXHIBITIONS JAPAN LTD.

同期展覽

3rd Highly-functional Film Technology Expo

FilmTech JAPAN

1st Highly-functional Plastic Expo

PLASTIC JAPAN

Photonix 2012
EXPO & CONFERENCE



展會相關訊息 >>> www.ftj.jp/zh-hk/

Organised by



FINETECH JAPAN 展會事務局 Reed Exhibitions Japan Ltd.

18F Shinjuku-Nomura Bldg., 1-26-2 Nishishinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 163-0570, JAPAN
TEL: +81-3-3349-8568 FAX: +81-3-3349-0598 E-mail: fpd@reedexpo.co.jp

"Our customer's R&D director looked at me and said, 'Rogier, packaging costs are just too high. We need MUCH BETTER productivity.'"

"That's how Hexagon was born."



INNOVATION HAS A NAME.

Rogier Lodder, Senior System Engineer

After conversations with dozens of customers, we integrated sputtering, etch, thermal and cleaning functions onto one ultra-compact platform – Hexagon. It handles the most advanced packaging challenges with throughput up to 60 wph and maintenance intervals of more than 4000 wafers. So we can say to our customers, "we heard you."



Today lower cost of ownership has a name: Hexagon.
Learn more at www.oerlikon.com/systems/hexagon