

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

將發光二極體結構轉移到銅基材以製作高功率發光二極體
(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2216-E-009-015-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：國立交通大學材料科學與工程學系(所)

計畫主持人：吳耀銓

計畫參與人員：廖崢，徐志偉，黃秉偉，鄭季豪

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 5 月 25 日

【將發光二極體結構轉移到銅基材以製作高功率發光二極體(1/3)】

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號： NSC94-2216-E-009-015

執行期間： 94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

計畫主持人：吳耀銓

共同主持人：

計畫參與人員： 廖崢，徐志偉，黃秉偉，鄭季豪

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份(* 7/30 or 10/30才要出國開會)

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學材料科學與工程學系

中 華 民 國 95 年 05 月 日

一、摘要

1. 中文摘要

關鍵詞：高功率發光二極體，銅基材，氧化銦錫，砷化鎵，氮化鎵。

藉著前一系列的計畫，銅基材上的高功率發光二極體已經被我們製作出來。研究中利用氧化銦錫（ITO）當作散阻礙層將磷化鋁銦鎵發光二極體晶圓接合在銅基材上。被接合在銅基材上的發光二極體元件能夠更高的順向注入電流下操作，而此發光二極體的發光強度比一般砷化鎵基材發光二極體高出約三倍之多。這顯著改善的原因是因為金屬銅基材具有較高的熱傳導率。然而，銅金屬是延展性佳的材料，因此，在整個元件的製做過程中，易造成發光二極體元件毀壞（尤其是在切割晶粒時）。為了改善這問題，在這計畫，三個方法將被提出來用以解決這問題：1) 將銅金屬直接選擇性的電鍍在發光二極體結構；2) 利用晶圓接合技術將發光二極體結構轉移到已經鍍銅的矽基材上；3) 在矽基材上製作規則的凹槽陣列，接著將銅電鍍到這規則的陣列上，再將發光二極體的結構接合到此係矽基材上。所用的發光二極體將包括現今較熱門的氮化鎵（GaN）系列與砷化鎵（GaAs）系列。這些方法將可提升製造高功率發光二極體之良率。

2. 英文摘要

Keywords : High-power light-emitting diodes, LED, Cu substrates, AlGaInP, GaN.

High-power light-emitting diodes (LEDs) have been accomplished by packaging technique and making the device with larger area. High-power LEDs fabricated on Cu substrates were investigated in our previous study. The AlGaInP LED structure was bonded to a Cu substrate by using indium-tin-oxide as a diffusion barrier layer. The bonded LED device on Cu substrate could be operated in a much higher injection forward current. The luminous intensity of the Cu-substrate LEDs could achieve higher value than that of GaAs substrate LEDs. The significant improvement might be caused by the Cu substrate which has higher thermal conductivity. However, Cu substrate is a ductile metal plate and easy to deform during the processing. The deformation of the Cu substrate will destroy the LEDs that were bonded on the Cu substrate. To improve this problem, three methods were used: a) the Cu metal was directly electroplated on the LED structure; b) the LED structure was bonded to the Si substrate that was electroplated with Cu metal; c) Cu film was electroplated on the Si wafer that has regular surface patterns, and then bonded with the LED structure. Finally, LEDs will be fabricated on the Cu substrate. We are looking forward to make high-power LEDs and solve the deformation problem in processing.

二、前言及研究目的

發光二極體被廣泛的利用於指示、顯示各種裝置上。早期的應用包括了：汽車內部指示燈、家電指示燈、交通號誌等點光源和一些小尺寸的光學模組以及戶外全彩大型顯示器。自 2000 年以後，隨著發光二極體亮度及效率的增進，可攜式產品（如手機、個人數位助理(PDA) 和數位相機)大量使用發光二極體當作按鍵與螢幕的光源。使得可攜式產品成為發光二極體最大的市場。2002 年以後高亮度以及高功率的發光二極體元件需求量大增。因此，對於高亮度的發光二極體研究及製作必須加緊腳步，滿足未來高亮度發光二極體於照明的應用。現今主要的發光二極體有兩類：氮化鎵 (GaN) 系列與砷化鎵 (GaAs) 系列。

一、氮化鎵 (GaN) 系列

在氮化鎵 (GaN) 中，藉著調整氮化鋁 (AlN) 與氮化銦 (InN) 的比例，人們可以連續改變其能階由 2.0eV 至 6.3eV。所以氮化鎵的發展可說是備受關注。近年來由於氮化鎵磊晶技術的突破，使得以氮化鎵為材料製作的發光二極體 (LED) 和雷射二極體 (LD) 得以商品化。然而由於氮化鎵，在製程上的上的缺陷，導致目前在氮化鎵的發展上有點趨緩。因此對於氮化鎵技術的再突破，實是有其必要且刻不容緩。

由於氮化鎵在高溫，易熱分解成氮氣 (N₂) 和鎵 (Ga) 金屬。這使得氮化鎵基板很難用長晶或拉晶方式 (如 Czochralski 與 Bridgman method) 的方式來製造大面積的氮化鎵基板。以致目前對於生長氮化鎵薄膜都必須透過異質磊晶的方法，成長在其它的基材上。常用來生長氮化鎵的方法有分子束磊晶成長法 (molecular beam epitaxy, MBE)、有機金屬氣相沈積 (metalorganic chemical vapor deposition, MOCVD) 及氫化物氣相磊晶法 (hydride vapor physical epitaxy, HVPE)。在基板的選擇上，由於製作氮化鎵薄膜必須要在高達 900-1050 的溫度下，加上氮化鎵晶體結構對稱性 (氮化鎵為 hexagonal wurzite structure) 和晶格常數的限制，所以無法直接在砷化鎵、磷化銦、矽等半導體基材上磊晶。在目前，較能勝任的基材主要有碳化矽 (SiC) 和藍寶石 (Sapphire)/氧化鋁兩種。而其中又以藍寶石被採用率最大 (80%)。如此，

雖然可以在藍寶石基材上長出氮化鎵磊晶，可是卻也衍生出了以下一些問題。使近來氮化鎵的發展受到限制。

1. 藍寶石導熱性不佳，所以在發展高功率元件時，如雷射二極體(LD)、場效電晶體等高功率元件時，將因藍寶石的散熱差而導致 Joule heating 效應，不僅使元件特性變差，更使元件壽命減低。
2. 藍寶石為電的絕緣體，所以在製作電極上勢必要做在同側。由於氮化鎵鍵結很強只能使用乾式濕刻的方式(如 ECR-RIE 與 ICP-RIE)濕刻，於是在製作 N、P 電極時，會造成晶片蝕刻時溫度升高，使當作蝕刻罩的光阻無法抵抗。蝕刻後的光阻容易變質而難以完全清除乾淨，使元件特性變差。此外以離子轟擊作為蝕刻氮化鎵的方法，也容易傷害元件。如此一來不僅增加元件製作的複雜度而製作量率下降，還必須犧牲部分發光的作用層(active layer)減低亮度。
3. 藍寶石又硬又脆，其 Mohr's scale 為 9。在製作氮化鎵發光二極體上，藍寶石基材必須有一定厚度(一般 > 300 μm)，以避免因高溫而產生變形。當氮化鎵發光二極體在做 dicing 階段時，由於藍寶石晶體對稱性的因素，我們使用傳統 dicing saw 的切割方式，不但會損失切割面積較大，並且會因藍寶石不規則崩裂而無法得到我們想要的晶粒形狀。
4. 由於藍寶石與氮化鎵晶格常數的不匹配(lattice constant mismatch 高達 13%)和熱膨脹係數的差異，導致氮化鎵薄膜缺陷、疊差(stacking fault)頻出。在藍寶石與氮化鎵界面處的差排(dislocation)密度高達 10^{10}cm^{-2} ，而且還延伸到元件結構上，使主動層失效讓元件特性大受影響。

在我們 90 年國科會計劃中(NSC90-2216-E009-037)，我們利用了晶圓接合和雷射移除技術將氮化鎵薄膜成功的由藍寶石基材轉移至矽(Si)，砷化鎵(GaAs)及銅(Cu)等基板上。下面將簡略介紹晶圓接合和雷射移除技術結合所得到的結果。

在晶圓接合部分，我們成功的將 GaN/Sapphire 之磊晶片，與 Si 或 GaAs 接合。再用雷射從光滑平整的藍寶石導入，使氮化鎵磊晶層轉移到 Si 或 GaAs 基板上。使用的是 248nm KrF 脈衝式的準分子雷射。由於藍寶石能隙為 7.2eV

無法吸收 248nm 的雷射光。利用 band gap-selective adsorption 原理，雷射光到達藍寶石和氮化鎵的界面處，才會被氮化鎵所吸收。而以非游離輻射的方式（即熱），將能量釋出。若雷射光能量夠大使界面溫度可以超過 950 以上，則界面處的氮化鎵會分解為氮氣和鎵，如此便達到可以分離移除藍寶石生長基板。可惜的是，這個分離技術仍有瑕疵。造成的主要的原因，是因為沒有辦法可以同時將雷射光束之面積調大，且平均控制每一點的能量密度強到剛好可以分解氮化鎵。折衷之下，只能將雷射光束面積調小，以求能量密度能高至可以分解氮化鎵。造成的主要缺點可歸類如下：

1. 能量密度為 $600\text{mJ}/\text{cm}^2$ 時，其能有效分解氮化鎵之面積大約為 $1\text{mm}\times 1\text{mm}$ 。在製作大面積氮化鎵轉移上，需要一區塊一區塊的掃射。
2. 由於分離基板時氮化鎵會分解成氮氣和鎵，體積迅速膨脹快 1 千倍。這瞬間產生的應力對於氮化鎵薄膜和矽基材是非常大的傷害。
3. 均勻性和完整度控制不易。

緊接著在 91-93 年間，藉著本系的國科會系所特色計畫：“光資訊關鍵性材料製程與性質研究”中之第五子計畫“晶圓接合與溼式蝕刻方式來剝離側向覆蓋生長之氮化鎵晶層。我們開發了另一更好的技術。也獲得了一美國專利。同時在研究的過程中，由於對氮化鎵之研究，在氮化鎵的領域裡，我們也在 APL 與 Mater. Chem. Phys. 各發表了一篇文章。緣起是因為，在 90 年我們研究氮化鎵整個技術流程後，發現氮化鎵最核心的問題在於沒有自己的基板。為了解決藍寶石與氮化鎵晶格常數和熱膨脹係數不匹配，在磊晶上需使用厚的緩衝層，才得製造出有關氮化鎵的元件。不過這將使得氮化鎵中的高密度差排會隨著氮化鎵成長而延伸上去，導致氮化鎵相關元件特性變差。幸運的是，其中的高密度差排，人們已可藉由“側向覆蓋生長”(epitaxy lateral overgrowth) (ELOG) 之氮化鎵晶層而獲得大大的改善。其主要方法是，在長完 $2\ \mu\text{m}$ 氮化鎵緩衝層後，再鍍覆一層遮蔽面罩層(mask layer)如二氧化矽。經蝕刻製程做出開口(pattern)後，再去做氮化鎵的選擇性磊晶成長(selective area growth) (SAG)。此時，氮化鎵只會選擇在沒有遮蔽面罩層上方生長，不會直接長在遮蔽面罩層上。GaN 繼續生長時，成長的範圍會由原來的選擇性

生長的地方往側向成長(ELOG)。由於差排無法往側向延伸，所以 ELOG GaN 的品質相當良好。其中，ELO GaN 的差排密度與 SAG GaN 的差排密度可以差達 $10^3 \sim 10^4 \text{ cm}^{-2}$ 。如此一來我們可以將差排侷限在 SAG GaN 成長範圍，而獲得品質良好的 ELOG GaN。之後並可以在 ELOG GaN 上成長製作我們想要的結構，得到品質良好的薄膜及元件。此後我們可以藉由設計遮蔽面罩從的形狀、大小，和 GaN 生長的壓力、溫度和前驅物的流量控制，使 SAG 與 ELOG 之 GaN 長成特別的形狀。而在遮蔽面罩上我們也可經由特別的設計，使之在往後的製程上可以達到薄膜分離上的目的。利用這長在藍寶石上之高品質 ELOG GaN，轉移到其它基材之接合/剝離方法，我們獲得了美國專利。

二． 砷化鎵 (GaAs) 系列

在砷化鎵 (GaAs) 系列中，目前先進的磊晶製程已經能夠明顯的提升發光二極體的亮度以及效率。利用磊晶成長在砷化鎵晶片上的磷化鋁銻鎵 (AlGaInP) 四元合金已經被使用於紅光到綠光波長範圍的發光二極體。[1] 但是，砷化鎵基材會吸收這發光波長範圍的光，因此這種結構的發光二極體效率往往被砷化鎵基材所限制。很幸運的，這個問題已經可以使用晶圓接合技術來解決。前人的實驗中是使用直接接合技術將四元合金發光二極體結構接合在磷化鎵 (GaP) 透明基材上，[2-4] 並且去除砷化鎵基材，藉由此透明基材改善光取出 (Light extraction) 的效率。這方法可以提高發光效率 (Luminous efficiency) 大約 2.5 倍，輸出功率 (Output power) 提升了 9 倍。另一種方式是利用間接晶圓接合法，將此發光二極體結構接合轉移到已經鍍金的矽基材上。這種技術使用金屬反射原理將發出的光反射。[5-7] 當然，亦能使光亮度及輸出功率大幅提昇。另外，砷化鎵基材的熱導率不好，當高電流操作此元件時，熱會明顯的降低發光二極體元件的發光強度。因此，發光二極體操作被限制在低電流，為了達成更高的光輸出表現，將熱快速的移除，使發光二極體推向更高的操作電流是必須的。

本實驗室之前的實驗中，提出了將磷化鋁銻鎵與銅基板利用晶圓接合的方式作整合，隨後將砷化鎵基板用溼式蝕刻法去除，這種晶圓接合轉移技術成功的將發光二極體操作電流提升 8~10 倍，而發光的飽和強度也已經被提高了 3 倍以上。造成這顯著改善的主要原因是兩材料熱導率 (Thermal conductivity) 的差異。一般而言，銅基板的熱導率為 $401 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 是砷化鎵基

材的 9 倍之多 (砷化鎵熱導率為 $46 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)。因此,在一般發光二極體中存在的焦耳熱 (Joule-heating) 已經被明顯的改善,所以利用金屬基板來解決發光二極體中熱的問題是可行的。

基於上述良好的結果,證明本實驗室提出了利用銅金屬基材提升發光二極體的光輸出功率。但是,這方法與氮化鎵 (GaN) 系列之晶圓接合具有同一缺點:銅這種金屬是屬於比較容易塑性變形的材料,元件製作完成後進行切割工作時銅很容易塑性變形。這變形會使二極體隨之碎裂。

因此為了將這問題解決,除了晶圓接合技術外,亦提出了結合利用電鍍銅的方式來執行。主要的二極體會包括 GaN 系列的發光二極體與 GaAs 系列的二極體。而方法則有三種:(1) 直接將銅電鍍在發光二極體結構上接著再製作發光二極體元件;(2) 將銅膜先行電鍍在矽基材上再將發光二極體利用晶圓接合的方式轉移到這基板上,接著製作元件;(3) 將銅膜先行電鍍在已經具有圖形陣列的矽基材上再將發光二極體利用晶圓接合的方式轉移到這基板上,接著製作元件。期望以這三種方式來提升發光二極體輸出功率,並且解決銅基板製程和切割時的問題。

其中方法(1)“直接將銅電鍍在發光二極體結構上接著再製作發光二極體元件”,在 GaN 之應用,已被提出來過[8]。但散熱的效果似乎沒有完全發揮,操作電流只能提升 2 倍左右。照道理,基板由氧化鋁變成銅基板,熱導率的提升有約 10 倍之多(氧化鋁熱導率為 $32 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)。其操作電流的提升,應該至少也要比我們的 GaAs/CuLED 高(8 倍以上)。顯然,電鍍銅的散熱效應,實在是是需要開發。

參考文獻

- [1] F. A. Kish, F. M. Steranka, D. C. Defever, D. A. Vanderwater, K. G. Park, C. P. KuoM, and G. Craford, *Appl. Phys. Lett.* 64, 2839 (1994).
- [2] G. E. Hofer, D. A. Vanderwater, D. C. DeFever, F. A. Kish, M. D. Camras, F. M. Steranka, and I.-H. Tan, *Appl. Phys. Lett.* 69, 803 (1996).
- [3] F. A. Kish, D. A. Vanderwater, D. C. Defever, D. A. Steigerwald, G. E. Hofler, K. G. Park, and F. M. Steranka, *Electron. Lett.* 32, 132 (1996).
- [4] I. H. Tan, D. A. Vanderwater, J.-W. Huang, G. E. Hofler, F. A. Kish, E. I. Chen,

- and T. D. Ostentowski, *J. Electron. Mater.* 29, 188 (2000).
- [5] R. H. Horng, D. S. Wu, S. C. Wei, C. Y. Tseng, M. F. Huang, K. H. Chang, P. H. Liu, and K. C. Lin, *Appl. Phys. Lett.* 75, 3054 (1999).
- [6] R. H. Horng, D. S. Wu, C. H. Seieh, W. C. Peng, M. F. Huang, S. J. Tsai, and J. S. Liu, *J. Electron. Mater.* 30, 907(2001).
- [7] R. H. Horng, Y. C. Lien, W. C. Peng, D. S. Wu, C. Y. Tseng, C. H. Seieh, M. F. Huang, S. J. Tsai, and J. S. Liu, *Jpn. J. Appl. Phys., Part 1* 40, 2747(2001).
- [8] R. H. Horng, C. E. Lee, S. C. Hsu, S. H. Huang, C. C. Wu, C. Y. Kung, and D. S. Wu, *Jpn. J. Appl. Phys. Stat. Sol. (a)* 201, No. 12, 2786 – 2790 (2004)

三、研究方法，結果與討論

晶圓接合的設計整合流程

本實驗的整合製程步驟如下圖所示：

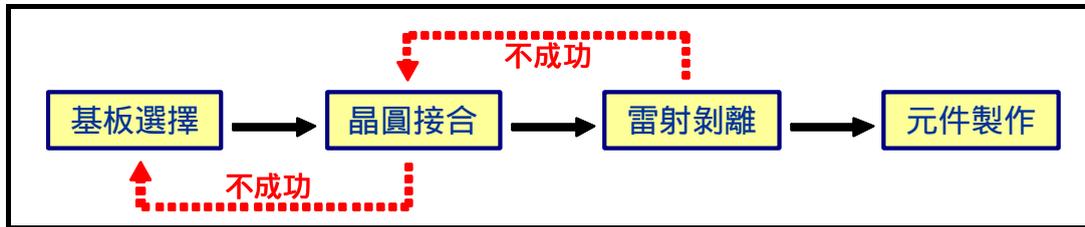


圖 1 整合實驗流程圖

而在實驗進行中，可由兩種方式去判斷是否可行：

(1) Cu/Si 基板的退火過程

當利用電鍍技術將銅沈積於矽晶圓上後，可經由退火的過程來判別阻障層的選擇是否合適及所選擇的蝕刻圖形是否可以減少因熱膨脹係數的差異而造成的應力。

(2) 雷射剝離技術 (Laser Lift-Off)

Cu/Si 基板與 ITO/GaN/Sapphire 結構成功接合後，可由雷射剝離的技術將藍寶石基板移除，也可由此判別接合強度是否能承受剝離過程所產生的應力。

由整合流程圖也可以發現「雷射剝離」的步驟並無法進行變動，因此，在本篇報告，主要是在研究「基板選擇」及「晶圓接合」這兩個步驟，因此，整個實驗的流程如圖 2 所示。經由蝕刻圖形、退火溫度、退火時間等參數的改變來為元件的製作找出最好的製作流程。

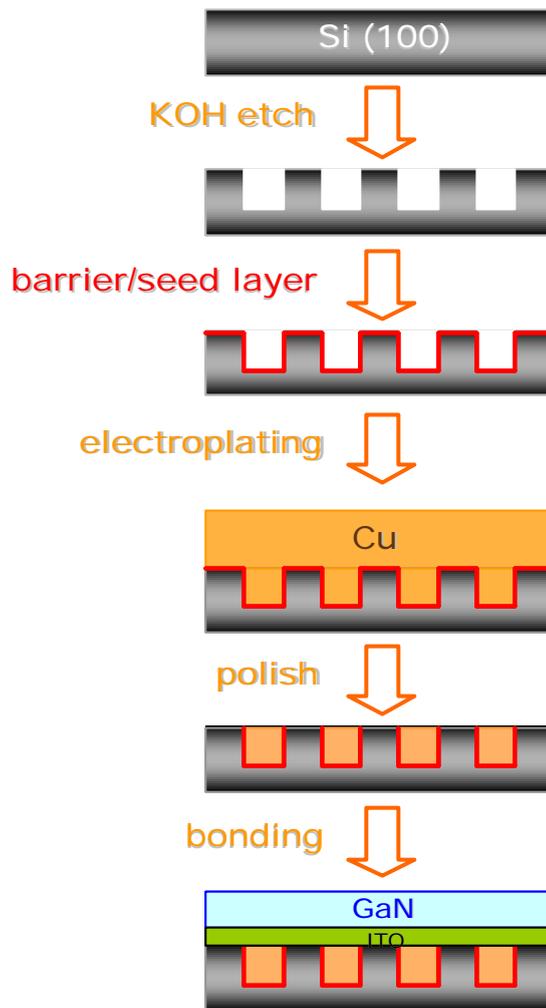


圖 2 實驗流程圖【一】

- (1) 先在矽晶圓 (100) 上利用 90 的 KOH 溶液蝕刻出溝槽。
- (2) 沉積阻障層及晶種層。
- (3) 進行銅的電鍍 (200g/L $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、54g/L H_2SO_4)。
- (4) 當電鍍銅完全填滿溝槽後利用研磨的方式將預接合面平坦化。
- (5) Cu/Si 基板與 GaN/ITO 進行接合。

1. 基板的選擇

本實驗的目的是能將藍寶石基板移除而用以 Cu/Si 基板來取代，雖然能大幅提升其散熱能力，但也因為銅矽之間熱膨脹係數的差異(表 1)而造成製造上的困難，

因此，在基板的選擇上將其分為（1）阻障層與（2）蝕刻圖形的選擇，這兩個部份來說明，藉由已知的退火溫度、時間（500 °C，30min）來判斷是否合適〔1〕。

	Coefficient of Thermal Expansion ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	Thermal Conductivity (W/m-K)
Sapphire	4.0	39
Copper	16.9	388
Si	2.5	141

表 1 各種材料的熱膨脹係數及其熱傳導係數

（1）阻障層（Barrier Layer）的選擇

本實驗中為了避免銅擴散進入矽晶圓中以形成銅矽化合物及增加電鍍銅的附著性所以需要一層阻障層。一般常用的阻障層有Ta、TaN、TiN等，而本實驗選用鈹的原因主要是因為Ta具有較低的電阻係數（表2），對於垂直型發光二極體結構的電性會有較好的表現。

	Resistivity ($\mu\text{-cm}$)
Ta	13.5
TaN	252
TiN	35

表 2 各種阻障材料的電阻係數

而且也有相關研究顯示〔2〕，Ta可以有效避免因銅與矽的熱膨脹係數差異太大而造成的應力，也可提高銅矽之間的附著力，使其在經退火處理後能保持界面的完整性，圖3就是本實驗的Cu/Si基板經500 °C/30min的退火過程後的SEM照片。

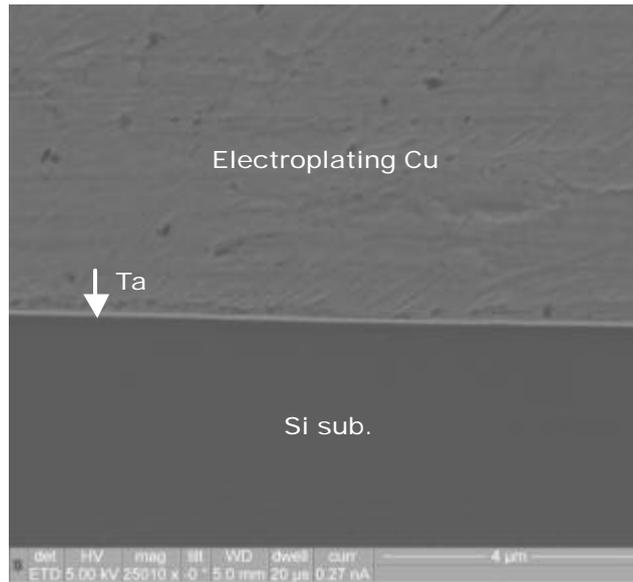


圖 3 EP Cu/Ta/Si 結構的 SEM 截面圖 (500°C , 30 min , N₂ ambient)

(2) 蝕刻圖形的選擇

本實驗中矽材料的存在除了作為切割走道外，另一個作用就是支撐整個元件，因此，雖然理想上為了增加銅的面積而期望矽走道的部份能越窄越好，但卻需考慮到其是否具有足夠的強度去抵擋整個退火過程所產生的應力變化。而在實驗中分別取了兩種圖形，chip size 為 $300 \times 300 \mu\text{m}^2$ 與 $250 \times 250 \mu\text{m}^2$ 的試片，而銅面積佔基板的比率分別為 81% 與 69%，再經退火處理後觀察其變化，由圖 4 我們可以清楚了解到 chip size 為 $300 \times 300 \mu\text{m}^2$ 試片的矽走道產生了裂縫，而 $250 \times 250 \mu\text{m}^2$ 的試片則無此現象 (圖 5)，因此，接下來的實驗皆是使用 $250 \times 250 \mu\text{m}^2$ 的試片。

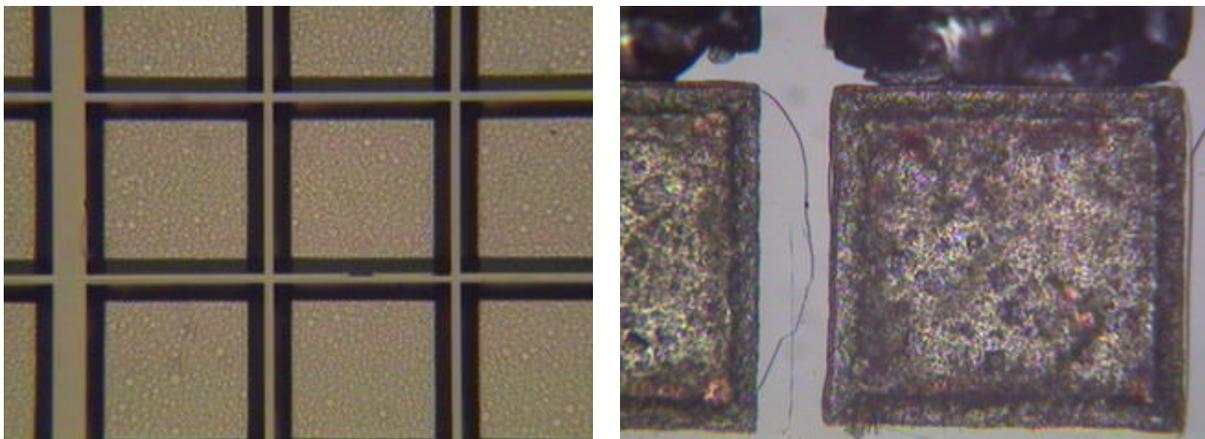


圖 4 $300 \times 300 \mu\text{m}^2$ 試片經 500 /30min 退火後情形。

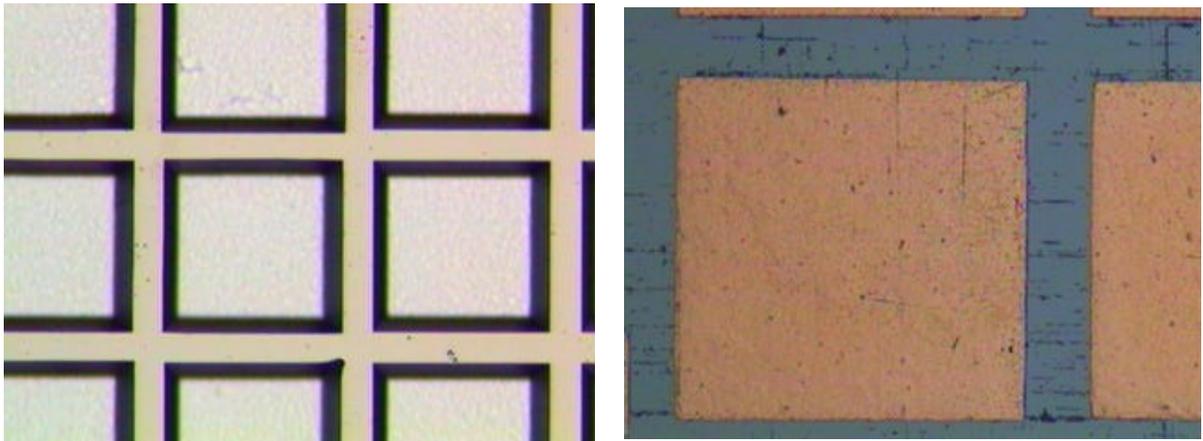


圖 5 250×250 μm^2 試片經 500 °C/30min 退火後情形。

在經過阻障層及蝕刻圖形的確定後，進行了流程圖【一】的製程方式，然而所得到的結果卻是接合失敗（圖 6）。

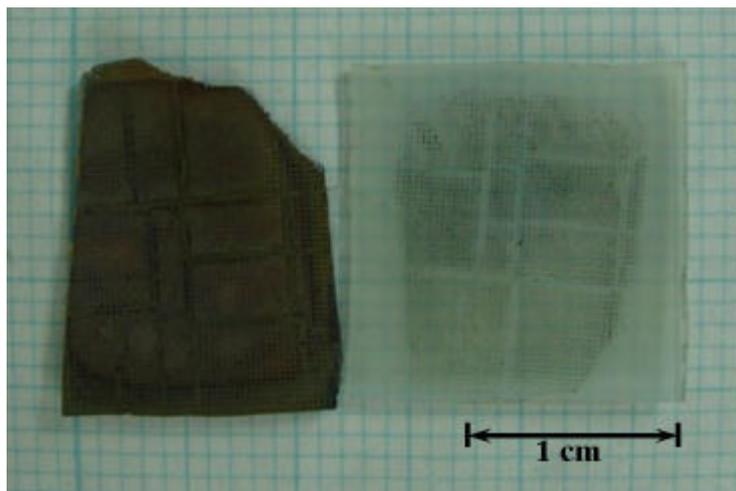


圖 6 實驗流程【一】的實驗結果

經由觀察知在 500°C/30 min 的退火過程中只有矽走道有與 LED 接觸，因此在經過的退火處理後，並未能成功完成接合。推測為電鍍銅含有較多的空孔 (Vacancy) 及缺陷，所以經過熱處理後其厚度約 0.3 μm 的下降（圖 7）而造成電鍍銅未能與 LED 接觸，為了證實我們的推測及為本實驗找尋更適合的製程步驟，我們進了電鍍銅的退火實驗。

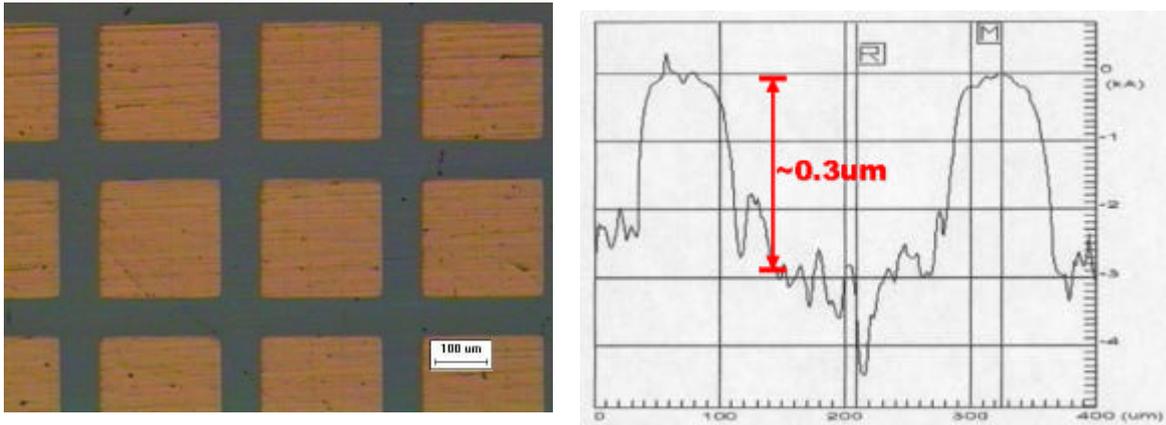


圖 7 製程【一】退火後 Cu/Si 基板的 OM 圖及 a-stepper 圖形。

2. 製程改善【退火步驟】

為了減少實驗的變數，因此利用平坦的矽晶圓來進行電鍍銅與退火時間關係的實驗，圖 8 為其結構示意圖。



圖 8 退火步驟的實驗試片結構圖

我們分別比較了 120 μm 的塊材銅與電鍍銅及實驗中溝槽深度的 40 μm 的電鍍銅在氮氣氛下進行 500 的退火比較。所得到的厚度隨時間的變化（圖 9）及電阻係數隨時間的變化（圖 10）如圖所示。

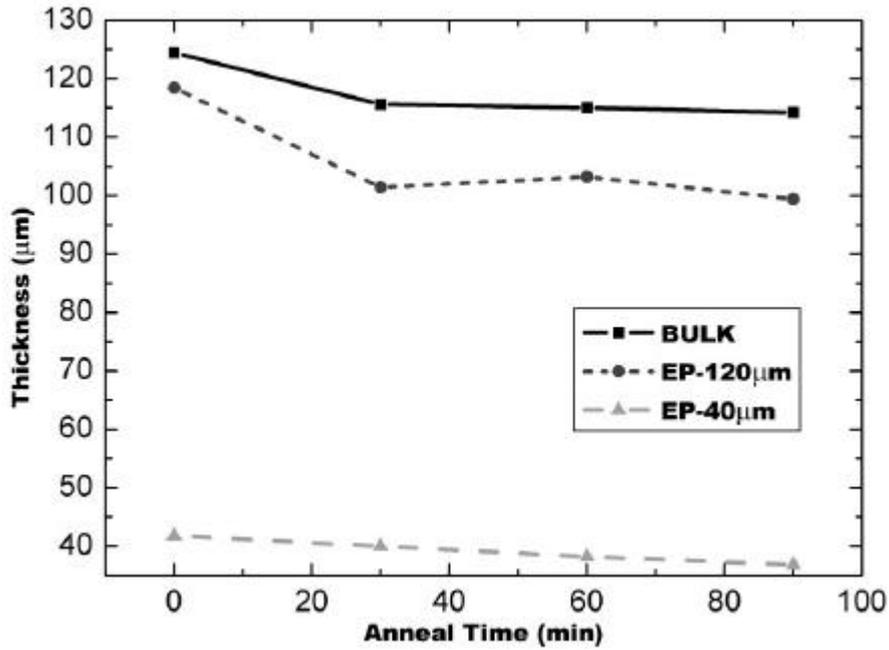


圖 9 銅厚度與退火時間關係 (500°C , N₂ ambient)

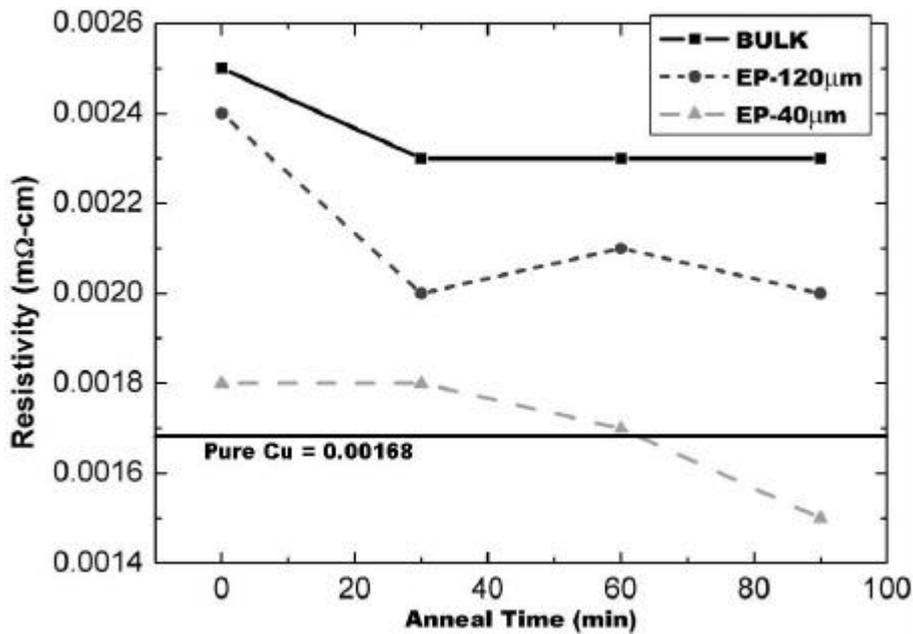


圖 10 電阻率與退火時間關係 (500°C , N₂ ambient)

經由以上的數據得知在氮氣氛下，經過 500°C/30min 的退火後，電鍍銅的厚度及電阻率無明顯的變化，因此我們在製程過程中加入了預先退火 (Pre-anneal) 的動作再進行研磨，我們期望經由此步驟能夠使電鍍銅與發光二極體接觸而完成接合，此製程流程如圖 11 所示。

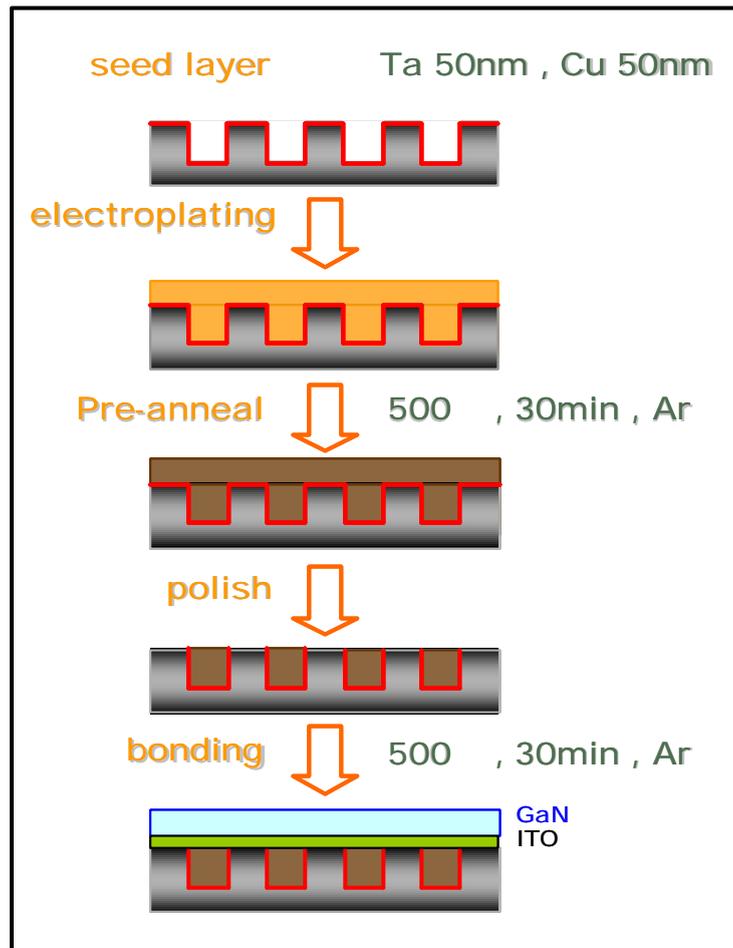


圖 11 實驗流程圖【二】

雖然經過了預先退火的過程，但是仍然是無法成功的進行接合，因此考慮到因為電鍍銅與矽晶圓的機械強度差異（表 3），所以在經過機械研磨的過程中造成的電鍍銅有約 $0.1\mu\text{m}$ 深度的凹陷情形（圖 12），因此，在製程步驟中加入蝕刻矽走道的步驟來使 LED 結構只與電鍍銅進行接觸以達到成功接合的目的。其結果如圖 13-15 所示。

	Young's Modulus (GPa)
Copper	115
Silicon	129

表 3 銅與矽的楊氏係數

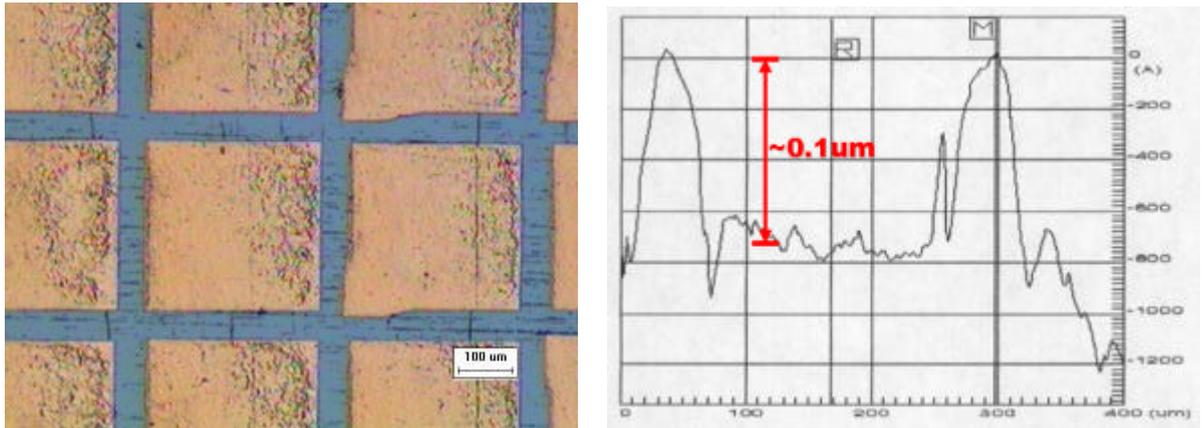


圖 12 製程【二】經退火後 Cu/Si 基板的 OM 圖及 a-stepper 圖形。

3. 製程改善【蝕刻步驟】

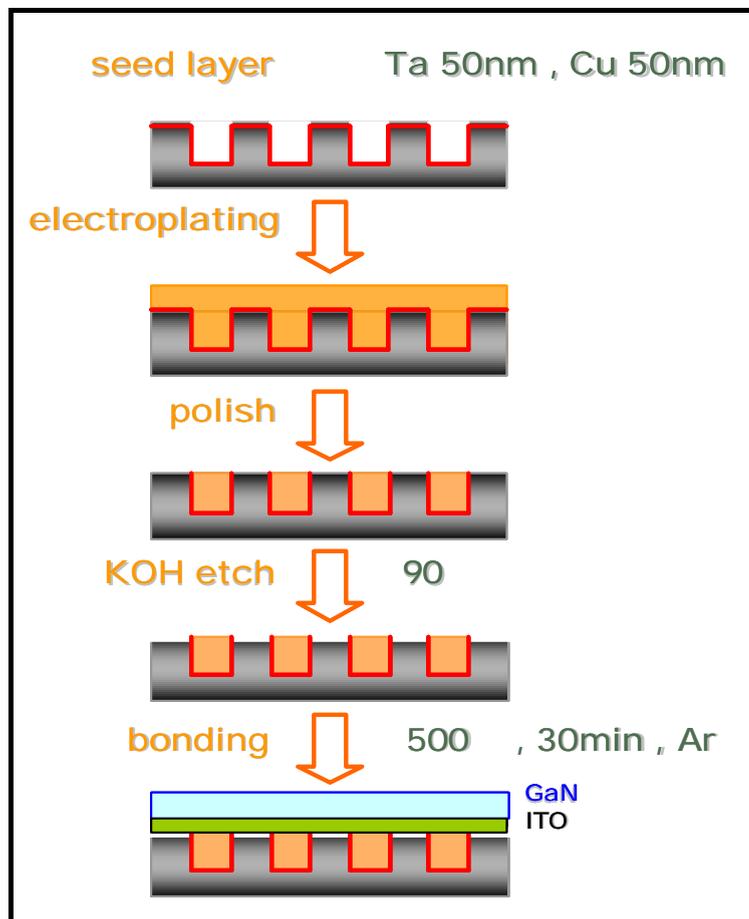


圖 13 實驗流程圖【三】

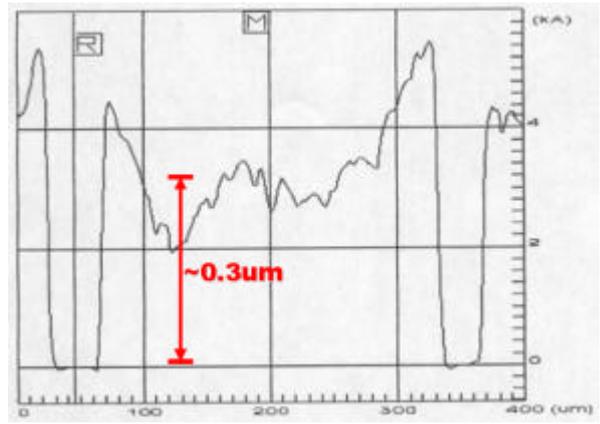
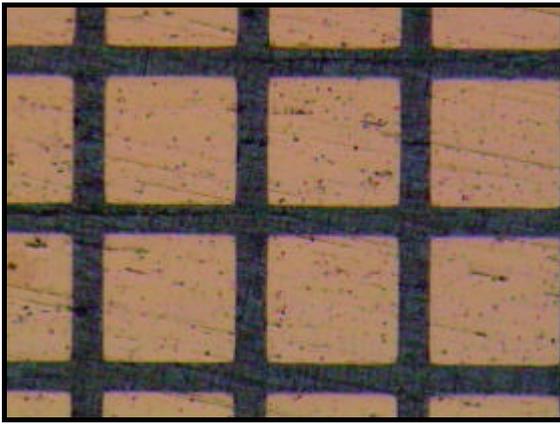


圖 14 KOH 溶液在 90°C 下蝕刻矽走道的情形

4.

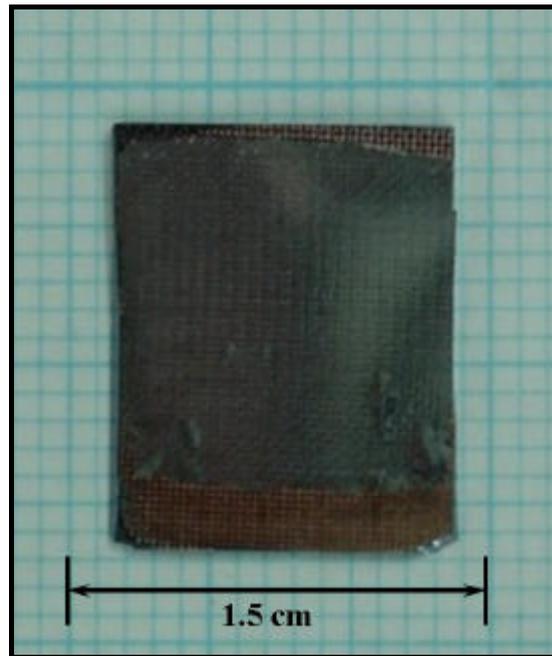
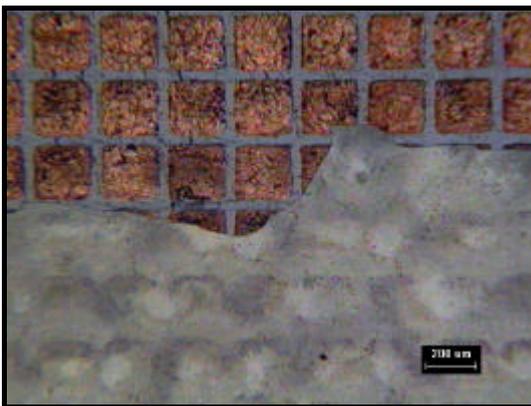
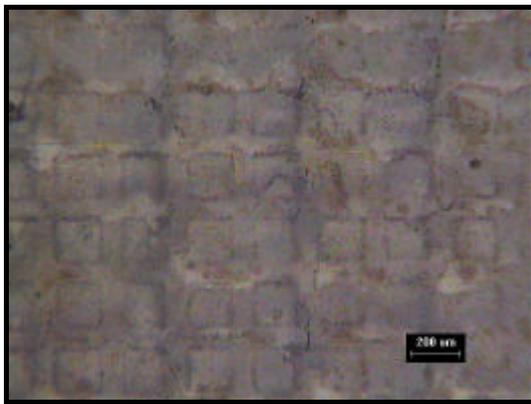


圖 15 成功接合後經雷射剝離的情形

參考資料

- [1] W. C. Peng, Y. S. Wu, "High-power AlGaInP light-emitting diodes with metal substrates fabricated by wafer bonding" Appl. Phys. Lett., vol.84, no.11, 2004.
- [2] T. K. Schmidt, et al. "Influence of tantalum and silver interlayers on thermal stress evolution in copper thin films on silicon substrates" Scripta Materialia, vol. 50, pp. 733-737, 2004.