

國立交通大學

工學院專班半導體材料與製程設備學程

碩士論文



利用晶圓接合增加氮化鎵族發光二極體亮度

—金錫薄膜與金錫合金為接合介質的比較

Enhance brightness of GaN-based Light-Emitting Diode

--Using Au/Sn thin film and AuSn alloy Bonding media

研究生：張郁香

指導教授：吳耀銓教授

中華民國九十六年九月

利用晶圓接合增加氮化鎵族發光二極體亮度

— 金錫薄膜與金錫合金為接合介質的比較

研究生：張郁香

指導教授：吳耀銓 博士

國立交通大學 工學院半導體材料科學與製程設備學程 碩士班

摘 要

氮化鎵族發光二極體(InGaN/GaN light-emitting diode)利用矽作為基板除了具有良好的散熱效果外，並可讓元件做成垂直型的結構、增加發光面積、使電性和發光效率都有明顯的助益。由於傳統藍寶石基板與矽之間的热膨脹係數差異過大，為了降低接合過程產生的熱應力，如何能夠在低溫下進行發光二極體結構的轉移變成一個很重要的課題。本研究以金/錫作為中間介質層，在 280~400°C 的低溫下利用晶圓接合以及雷射剝離技術將氮化鎵薄膜轉移至矽基板上。

在實驗中我們分別探討晶圓接合、電性、反射率、及元件製作四個部份。以雷射剝離後薄膜轉移至矽基板面積的大小，評估晶圓接合的好壞；利用不同 P 型氮化鎵歐姆接觸金屬之選擇及熱處理溫度的改變，使電阻及反射率最佳化，進而製作出垂直式薄型氮化鎵發光二極體。

Enhance brightness of GaN-based Light-Emitting Diode

--Using Au/Sn thin film and AuSn alloy Bonding media

Student : Yu-Hsiang Chang

Advisor : Dr. YewChung Sermon Wu

Program of Semiconductor Material and Process Equipment

College of Engineering

National Chiao-Tung University

ABSTRACT

Vertical InGaN/GaN light-emitting diodes (LEDs) epitaxial films were fabricated on a Si substrate using wafer bonding and laser liftoff technology. The vertical GaN light-emitting diode will add luminescence area, improve electrical performance, and can get better luminescence efficiency. The diversity of thermal coefficients between sapphire and silicon is big. To reduce the thermal stress produced during bonding process, it's a challenge to transfer the structure of the LEDs in low temperature. The middle medium layer in our study is Au/Sn. We use wafer bonding and laser lift-off technology to transfer the GaN thin film to the silicon substrate in 280~400°C.

The topics will be focused on wafer bonding, electrical, reflection and the device fabrication. After laser lift-off process, the evaluation of wafer bonding is by the area of the thin film on the Si substrate. We optimize the electric resistances and the reflection by different P-GaN ohmic metals and the changes of the temperatures of heat treatment. And we made the vertical thin-GaN LEDs finally.

誌謝

出社會工作後再回到學校在職進修，這過程耗費許多時間和心力，能有機會再度重拾書本進入校園學習，在此要感謝許多人的支持與幫忙。

首先，感謝我的指導教授吳耀銓博士，很幸運的能得到吳耀銓老師的指導，除了在論文研究方面給予明確的方向與指導外，在半導體元件的理論和應用方面使我有更進一步的瞭解；同時感謝潘扶民博士、陳智博士、張翼博士在論文上給予許多寶貴意見和指導，讓此論文更加完善。更感謝潘老師、陳老師以及吳老師在風雨交加的颱風天指導論文口試，讓我銘感五內。

在研究過程中感謝陳智老師及其實驗室林漢文同學對 immersion Sn 試片的協助，及中央大學劉正毓老師提供 Laser Lift off 設備在實驗上的幫助。

另外要感謝工研院電光所朱慕道組長、前任經理李晉東博士、現任經理蔡政達博士等長官的支持與鼓勵，讓我有機會進入交大進修。另外實驗室崢哥、豪哥、秉緯、晟民(小黑)、志榜、博文、寶明、美儀學長姐們、已畢業的柏均學長，同學騏廷、仁吉、稀源，學弟承佑、奕宏、偉哲，以及工研院電光所 W100 的同事們，承蒙你們的幫忙與照顧，謝謝你們。

最後要感謝我的母親、公公、婆婆，有您們的支持與幫忙讓我能順利完成交通大學的學業；感謝外子在各方面對我的包涵、鼓勵及相互打氣，能完成學業你是我最大的精神支柱，對於兩個寶貝女兒也感到內疚，因為實在無法多騰出一些時間陪妳們，謹將此論文獻給我摯愛的家人們，以及所有幫助過我的人。

目錄

	頁次
中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vii
圖目錄	viii
	
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究動機.....	4
第二章 文獻回顧與理論背景研究.....	7
2.1 晶圓接合技術.....	7
2.1.1 晶圓接合技術的優點.....	8
2.1.2 晶圓接合技術的種類.....	8
2.1.3 影響晶圓接合品質的因素.....	11

2.2	高亮度高功率發光二極體.....	17
2.2.1	簡介藍光發光二極體的發展.....	17
2.2.2	高功率藍光發光二極體.....	20
2.2.3	雷射剝離技術.....	32
第三章	實驗方法與晶圓接合介質的設計.....	34
3.1	試片準備與清洗.....	35
3.2	接合介質的選擇.....	37
第四章	結果與討論.....	39
4.1	Au/Sn 金屬結構晶圓接合.....	39
4.2	Au/Sn/Au 金屬結構晶圓接合.....	41
4.3	Au ₈₀ Sn 合金晶圓接合.....	43
4.4	增加阻障層厚度改善 Au ₈₀ Sn 合金晶圓接合.....	46
4.5	電性.....	49
4.5.1	Ni/Au.....	49
4.5.2	Ni/Ag.....	52
4.6	反射率探討.....	56
4.6.1	反射率量測介紹.....	56
4.6.2	Ni/Ag 反射率.....	56

4.7	元件製作.....	59
4.7.1	元件製作流程.....	59
4.7.2	元件特性.....	62
第五章	結論與未來工作.....	66
5.1	結論.....	66
5.2	未來工作.....	67
參考文獻	68



表目錄

表 2-1 各種塊材材料的熱傳導係數.....	30
-------------------------	----



圖目錄

圖 1-1	傳統氮化鎵 LED 電極同側的情形.....	3
圖 1-2	藉由晶圓接合和雷射剝離基板將氮化鎵轉移到其它基板.....	3
圖 1-3	Au-Sn 合金相圖.....	6
圖 2-1	晶片微小不潔粒子對接合介面的影響.....	13
圖 2-2	Z. L. Liao 和 D. E. Mull 用石墨和石英所設計的夾具.....	16
圖 2-3	本實驗室設計用來晶圓接合的夾具.....	16
圖 2-4	三五族化合物半導體之能隙與晶格常數關係圖.....	19
圖 2-5	幾何改變形狀 LED 示意圖 (ATON)	24
圖 2-6	比較 SiC 及 Sapphire 基板用 ATON 結構之光取出效率與角 τ 之關係圖.....	24
圖 2-7	ATON-Chip 的光取出路徑示意圖.....	25
圖 2-8	傳統的發光二極體封裝示意圖.....	25
圖 2-9	覆晶型發光二極體結構示意圖.....	26
圖 2-10	覆晶型與傳統發光二極體光取出效率比較圖.....	26
圖 2-11	不同表面粗糙度的可能光行進路徑.....	27

圖 2-12	傳統與經表面粗糙化的 LED 分別在(a) Sapphire 和(b) Transparent metal layer 面檢測的發光功率差異.....	27
圖 2-13	DBR 型發光二極體示意圖.....	28
圖 2-14	利用鏡面反射層防止光被吸光基板所吸收.....	28
圖 2-15	Si sub.與 Sapphire sub.藍光發光二極體的 L-I 圖.....	30
圖 2-16	Electroplating Cu sub.與 Sapphire sub.藍光發光二極體的 L-I 圖	31
圖 2-17	用 38 ns, 0.6 J/cm ² 單一脈衝雷射打在 GaN/Sapphire 界面處， 氮化鎵薄膜的溫度隨時間和試片厚度之變化情形.....	33
圖 3-1	試片清潔流程圖.....	36
圖 3-2	實驗流程圖.....	37
圖 3-3	金屬結構圖(a)Au/Sn (b)Au/Sn/Au (c)AuSn 合金.....	38
圖 4-1	Au/Sn 試片接合後之 OM 圖.....	40
圖 4-2	Au/Sn 試片雷射剝離後之 OM 圖.....	40
圖 4-3	Au/Sn/Au 試片接合後之 OM 圖.....	42
圖 4-4	Au/Sn/Au 試片雷射剝離後之 OM 圖.....	42
圖 4-5	Au ₈₀ Sn 合金試片接合後之 OM 圖.....	44
圖 4-6	Au ₈₀ Sn 合金試片雷射剝離後後之 OM 圖.....	44

圖 4-7	AuSn 合金試片於 400°C 接合後之截面 SEM 圖.....	45
圖 4-8	EPMA 分析圖.....	45
圖 4-9	減少 Au 與 Si 反應之三種試片 (a)Ti/Pt(300/100Å),260°C (b)Ti/Pt(300/500Å) 400°C (c)TaN barrier, 400°C	47
圖 4-10	試片截面 SEM 圖 (a)Ti/Pt(300/100Å), 260°C (b)Ti/Pt(300/500 Å) 400°C (c)TaN barrier, 400°C	48
圖 4-11	(a)(d)Ti/Pt(300/100Å), 260°C , (b)(e)Ti/Pt(300/500Å), 400°C (c)(f) TaN barrier, 400°C bonding & LLO 圖.....	48
圖 4-12	Ni/Au and Ni/Au/AuSn 400°C 30min 之 I-V 圖.....	50
圖 4-13	Ni/Au/AuSn 400°C 30min auger 縱深圖.....	51
圖 4-14	Ni/Au/AuSn (a) bonding (b) LLO 之 OM 圖.....	51
圖 4-15	NiAg/AuSn 試片 400°C 30min 退火後之 I-V 圖.....	54
圖 4-16	Ni/Ag 和 NiAg/AuSn 試片 400°C 30min、300°C50min 退火後 之 I-V 圖.....	54
圖 4-17	NiAg/AuSn 加入擴散阻障層後 300°C 50min 退火後之 I-V 圖..	55
圖 4-18	(a)(b) 400°C 30min , (c)(d)300°C 50min bonding & LLO 圖.....	55
圖 4-19	Ni/Ag 在 300°C~500°C 退火後之反射率.....	57
圖 4-20	300°C 退火 50min 之 Ni/Ag 和 Ni/Ag/AuSn 反射率.....	58

圖 4-21	Ni/Ag/AuSn 加入擴散阻障層在 300°C 退火之反射率.....	58
圖 4-22	元件流程圖.....	61
圖 4-23	標準製程平面型(std)與垂直式薄型化(thin GaN)之示意圖.....	63
圖 4-24	標準製程平面型與垂直式薄型化順向偏壓之 I-V 特性曲線....	63
圖 4-25	標準製程平面型與垂直式薄型化逆向偏壓之 I-V 特性曲線....	64
圖 4-26	標準製程平面型與垂直式薄型化之發光強度.....	64
圖 4-27	垂直式薄型化製程 LED 發光的外觀.....	65
圖 4-28	電激發光下標準製程平面型與垂直式薄型化之波長.....	65

