

在矽基板上的反向砷化鎵太陽電池之製作

陳勵璋、蕭宏彬

E-mail: 322112@mail.dyu.edu.tw

摘要

本論文主要在探討以反向結構砷化鎵太陽電池在矽基板上的製作，利用晶圓接合技術和磊晶層剝離技術將薄膜砷化鎵太陽電池轉移至矽基板上。一般傳統的 InGaP/GaAs/Ge 三界面太陽電池到目前為止已獲得不錯的轉換效率，然受制於鎘的能隙只有 0.66 eV，鎘界面只會貢獻約 270 mV 的開路電壓。根據研究發現在不影響光電流情況下，這個界面的材料可以是 InGaAs，其能隙為 1.03 eV，對應可以增加電壓 550 ~ 650 mV。不過，InGaAs 將與鎘基板或砷化鎵基板產生晶格不匹配而限制其對整體效能的貢獻，若改以反向變質多界面(Inverted Metamorphic Multijunction)技術，先成長晶格匹配的 InGaP 和 GaAs，再成長 InGaAs，任何差排將被限制在 InGaAs 界面，轉換效率可以進一步獲得提高。而且，經由磊晶層剝離技術所移除的基板亦可以回收重覆使用，節省資源和成長的浪費。在本論文中則應用晶圓接合技術以金銀金與金錫金將反向結構砷化鎵太陽電池與矽基板接合在一起，再以磊晶層剝離技術將接合在矽基板上的砷化鎵薄膜與砷化鎵基板分離，最後以黃光微影製程完成反向結構砷化鎵太陽電池在矽基板上的製作，電池受光區並無抗反射光學薄膜的製作。在矽基板上的薄膜砷化鎵太陽電池之開路電壓(Voc)為 0.85 伏特，短路電流密度(Jsc)為每平方公分為 20.58 毫安培，填充因子(F.F.)為 0.74，太陽光轉換效率()為 12.8%

關鍵詞：砷化鎵太陽電池、反向變質結構、晶圓接合、磊晶層剝離

目錄

目錄 封面內頁 簽名頁 授權書	iii	中文摘要	iii
.	iv	英文摘要	v
.	vi	誌謝	vii
.	vi	目錄	vii
.	ix	圖目錄	vii
.	ix	表目錄	vii
. xi		第一章 序論 1.1 前言	1
.		1.2 研究背景與動機	1
.		2 第二章 理論介紹 2.1 太陽光光譜	6
.		2.2 太陽能電池原理	6
.		2.2.1 太陽能電池參數介紹	11
.		2.2.2 太陽能電池等效電路	13
.		2.3 反向結構砷化鎵太陽電池	15
.		2.4 晶圓接合	19
.		2.4.1 晶圓接合的種類	19
.		2.4.2 晶圓接合的品質	21
.		2.4.3 晶圓接合的夾具設計	23
.		2.5 磊晶層剝離技術	25
.		第三章 傳統與反向結構太陽能電池製程 3.1 元件結構介紹	27
.		3.1.1 傳統結構砷化鎵太陽電池	27
.		3.1.2 反向結構砷化鎵太陽電池	28
.		3.2 傳統結構薄膜砷化鎵太陽電池製作流程	29
.		3.3 反向結構薄膜砷化鎵太陽電池製作流程	32
.		第四章 實驗結果與討論 4.1 簡介	37
.		4.2 晶圓接合分析	37
.		4.2.1 傳統結構薄膜太陽電池晶圓接合分析	37
.		4.2.2 反向結構薄膜太陽電池晶圓接合分析	38
.		4.3 薄膜太陽能電池電壓電流量測	43
.		4.3.1 傳統結構太陽電池電壓電流特性	43
.		4.3.2 反向結構太陽電池電壓電流特性	45
.		4.3.3 傳統結構與反向結構太陽電池對照	46
.		第五章 結論	48
.		參考文獻	48
.		圖目錄 圖 1.1 理論轉換效率與材料能隙關係圖	3
.		圖 1.2 半導體對光之吸收係數圖	4
.		圖 2.1 太陽光光譜圖	6
.		圖 2.2 在地球表面測得的太陽光光譜谷狀分佈	7
.		圖 2.3 AM0, AM1 與 AM(sec) 定義圖	8
.		圖 2.4 太陽能電池運作原理	10
.		圖 2.5 太陽能電池 I-V 特性曲線圖	11
.		圖 2.6 太陽能電池之等效電路圖	14
.		圖 2.7 InGaP/GaAs/Ge 三界面太陽能電池結構圖	15
.		圖 2.8 吸收不同波長太陽光譜的材料示意圖	16
.		圖 2.9 (a) 傳統三界面太陽電池結構 (b) 反向變異結構 示意圖	18
.		圖 2.10 微小粒子對晶圓接合介面影響示意圖	22
.		圖 2.11 晶圓接合夾具設計示意圖	24
.		圖 2.12 磊晶層剝離示意圖	25
.		圖 2.13 (a) - 族太陽電池製程 (b) - 族薄膜太陽電池製程	26
.		圖 3.1 傳統結構太陽電池示意圖	28
.		圖 3.2 反向結構太陽電池示意圖	29
.		圖 3.3 傳統結構薄膜砷化鎵太陽電池製作流程圖	32
.		圖 3.4 夾具實物圖	34
.		圖 3.5 反向結構薄膜砷化鎵太陽電池製作流程圖	36
.		圖 4.1 銀膠在 (a) 120 與 (b) 100 磊晶層剝離後的俯視圖	38
.		圖 4.2 砷化鎵與矽基板以金銀金接合介面剖面圖	38

. 40 圖4.3 退火350 時間0.5、1小時的薄膜砷化鎵俯視圖 40 圖4.4 退火350 時間2、4小時的薄膜砷化鎵俯視圖 41 圖4.5砷化鎵與矽基板以金錫金接合介面剖面圖 42 圖4.6 退火280 、310 在0.5小時的薄膜砷化鎵俯視圖 . . . 42 圖4.7 退火280 、310 在4小時的薄膜砷化鎵俯視圖 . . . 43 圖4.8 傳統結構太陽電池照光電壓電流曲線圖 44 圖4.9 反向結構太陽電池照光電壓電流曲線圖 45 圖4.10 傳統正向結構與反向結構電壓電流曲線圖 47 表目錄 表2.1 不同空氣質量數定義的太陽光入射功率表 9 表2.2 各材料之熱膨脹係數表 24 表4.1 退火溫度與時間對應接合結果 39 表4.2 傳統結構砷化鎵太陽電池各參數表 44 表4.3 反向結構砷化鎵太陽電池各參數表 46 表4.4傳統結構與反向結構太陽電池參數對照表 47

參考文獻

[1]莊嘉琛, " 太陽能工程(太陽電池篇), " 全華科技圖書股份有限公司, (2001).

[2]W. Hoagland, "Solar energy," Sci. Amer. Sept. 1995. vol. 273, pp. 170-173.

[3]Jianhua Zhao, Aihua Wang, and Martin A. Green, "19.8% efficient " honeycomb " textured multicrystalline and 24.4% monocrystalline silicon solar cells," Appl. 1998, 73, pp. 1991-1993.

[4]R. R. King, D. C. Law, K. M. Edmondson, et al., " 40% efficient metamorphic GaInP/GaInAs/Ge multijunction solar cells ", Appl. Phys. Lett., vol. 90, 3, 2007.

[5]P. Sharps, A. Cornfeld, M. Wanlass, "Inverting the triple junction improves efficiency and flexibility." Compound Semiconductor. Oct. 2007, pp. 25-28.

[6]M.A. Steiner, J.F. Geisz, R.C. Reedy, and S. Kurtz, "A direct comparison of inverted and non-inverted growths of GaInP solar cells," 33rd IEEE Photovoltaic Specialist Conference, May. 2008, pp. 11 – 16 [7]J.F. Geisz et al., "High-efficiency GaInP / GaAs / InGaAs triple-junction solar cells grown inverted with a metamorphic bottom junction," Appl. Phys. Lett. 91, 2007, pp. 023502.

[8]A. van Geelen, P. R. Hageman, G. J. Bauhuis, P. C. van Rijsingen, P. Schmidt, and L. J. Giling, "Epitaxial Lift-off GaAs Solar Cell from a Reusable GaAs Substrate," Mat'ls. Sci. and Eng'g. B45, (1997) pp. 162-171.

[9]Brenton Burnett, "The Basic Physics and Design of III-V Multijunction Solar Cells," 2002, pp. 10-11.

[10]M. P. Thekackra, "The Solar Cell Constant and Solar Spectrum Measurement from a Research Aircraft," NASA Technical Report No. R-351, 1970, pp. 15-20.

[11]C. Riordan and R. Hulstrom, "what is an air mass 1.5 spectrum?" , Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, vol. 2, 1990, pp. 1085-1088.

[12]施敏, "Semiconductor Device Physics abd Technology," 2002. p348.

[13]Richard C. Neville, "Solar Energy Conversion:THE SOLAR CELL", Second edition, ELSEVIER, 1995.

[14]M. A. Green, "Solar Cells Operating Principles, Technology, and System Application," 1982, P85-96.

[15]C. M. Fetzer, R.R. King, P.C. Colter, K.M. Edmondson et al., "High-efficiency metamorphic GaInP/GaInAs/Ge solar cells grown by MOVPE", J. Crystal. Growth, vol. 261, 341, 2004. pp. 341-348.

[16]M. Stan, D. Aiken, B. Cho, A. Cornfeld, J. Diaz, V. Ley, A. Korostyshevsky, P. Patel, P. Sharps, T. Varghese, "Very high efficiency triple junction solar cells grown by MOVPE" J. Crystal Growth 310 (2008) pp. 5204 – 5208.

[17]J.F. Geisz, et al., "Inverted GaInP / (In)GaAs / InGaAs Triple-Junction Solar Cells with Low-Stress Metamorphic Bottom Junctions." 33rd. IEEE Photovoltaic Specialists Conference, May, 2008, pp. 11-16.

[18]T. Soga, M. Kawai, K. Otsuka, T. Jimbo, M. Umeno, "Proceedings of the Second World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion," 1998, pp. 3737.

[19]T. Suni, K. Henttinen, I. Suni, and J. Ma"kinen, "Effects of Plasma Activation on Hydrophilic Bonding of Si and SiO₂", J. Electrochem. Soc., 149, June 2002., pp. G348-G351.

[20]C. L. Chang, Y. C. Chuang, and C. Y. Liu, "Ag/Au Diffusion Wafer Bonding for Thin-GaN LED Fabrication", Electrochemical and Solid-State Letters, 10 (11), 2007, H344-H346.

[21]G. R. Dohle, J. J. Callahan, K. P. Martin, and T. J. Drabik , "Bonding of Epitaxial Lift Off (ELO) Devices with AuSn," in Tech. Dig., 45th ECTC, 1995, pp. 423 – 427.

[22]H. C. Lin, K. L. Chang, G. W. Pickrell, K. C. Hsieh, and K. Y. Cheng, "Low temperature wafer bonding by spin on glass", J. Vac. Sci. Technol. B, 20, March 2002, pp. 752-754.

[23]K. Hjort, "Transfer of InP epilayers by wafer bonding", J. Crystal Growth, 268, August 2004, pp. 346-358.

[24]M. Shimbo, K. Furukawa, K. Kukuda, and K. Tanzawa. "Silicon-to-Silicon Direct Bonding Method", J. Appl. Phys. 60, (1986) pp. 2987.

[25]P. Demeester, I. Pollentier, P. De Dobbelaere, C. Brys and P. Van Daele, "Epitaxial lift-off and its applications", Semicond. Sci. Technol. 8 (1993), pp. 1124-1135.

[26]Y. Yazawa, J. Minemura, K. Tamura, S. Watahiki, T. Kitatani, T. Warabisako, "Process damage free thin-film GaAs solar cells by epitaxial lift

off with GaInP window layer," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 50, (1998) pp. 163-168.

[27]J.J. Schermer, G.J. Bauhuis, P. Mulder, E.J. Haverkamp, J. van Deelen, A.T.J. van Niftrik, P.K. Larsen, "Photon confinement in high-efficiency, thin-film III—V solar cells obtained by epitaxial lift-off," *Thin Solid Films* 511 – 512 (2006), pp. 645 – 653.