氮化鋁鎵/氮化鎵高電子遷移率電晶體製作與特性之分析

林睿靖、廖豐標

E-mail: 9708126@mail.dyu.edu.tw

摘 要

寬能隙氮化鎵化合物半導體材料在高頻、高功率微波應用比一般的三五族化合物半導體材料有許多的優點，特別是氮化鎵高電子遷移率電晶體(HEMT)的高崩潰電壓可以承受十伏甚至上百伏的電壓。和砷化鎵、碳化矽或矽材料製作的元件相較，雖然砷化鎵有較高的電子遷移率，但是砷化鎵在低電場時就達到峰值速度；至於碳化矽材料雖然可以承受高電場，但是電子遷移速率太慢，峰值速度表現不如氮化鎵出色；而矽材料之電子速度在上述提及材料中速度是最慢的。 近年來，在氮化鎵高電子遷移率電晶體(HEMT)的研究與製作都專注於氮化鋁鎵/氮化鎵的結構。氮化鋁加/氮化鎵高電子遷移率電晶體(HEMT)在高頻、高功率微波應用非常合適的元件。其具有特殊的材料特性；藉由氮化鋁鎵/氮化鎵之能帶差與氮化鎵極化效應可以產生二維電子氣層(2DEG)，其二維電子氣平板電子濃度（Sheet Carrier Concentration）可達到 以上。 本研究製作Al0.25Ga0.75N/GaN高電子遷移率電晶體，使用電流電壓曲線量測儀器HP4155A量測元件特性後，進一步探討Al0.25Ga0.75N/GaN高電子遷移率電晶體照光對於元件特性的影響。

關鍵詞 : 氮化鋁鎵/氮化鎵高電子遷移率電晶體 ; 極化效應 ; 二維電子氣層

目錄

封面內頁 簽名頁 博碩士論文暨電子檔案上網授權書.....iii 中文摘要.....iv ABSTRACT.....v 誌謝.....vi 目錄.....vii 圖目錄.....x 表目錄.....xiii 第一章 簡介.....1 1.1 Ⅲ-Ⅴ 族微波元件發展歷史.....1 1.2 AlGaN/GaN HEMT.....2 1.3 論文架構.....2 第二章 氮化鎵/氮化鋁鎵材料與HEMTs.....4 2.1 材料特性與比較.....4 2.1.1 高飄移速率與高電子遷移率.....4 2.1.2 能隙(Bandgap).....5 2.1.3 熱傳導係數(Thermal Conductivity).....5 2.1.4 崩潰電壓(Breakdown Voltage).....6 2.2 基板選擇.....7 2.3 極化效應.....7 2.3.1 極化電荷.....10 2.3.2 鋁成分對極化效應的影響.....11 2.3.3 片載子濃度與遷移率(Sheet Carrier Concentrations and Mobility).....14 2.3.4 二維電子氣層的片載子濃度(Sheet Carrier Concentrations of Two Dimension Electron Gases).....15 2.4 HEMT工作原理.....15 2.5 光對HEMT影響.....16 2.5.1 光導的影響(Photoconductive Effect).....17 2.5.2 光生電壓的影響(Photovoltaic Effect).....19 2.5.3 照光下的RF特性.....22 2.5.3.1 在GaAs層的吸收.....23 2.5.3.2 光在AlGaAs層被吸收.....24 2.5.4 光增益控制HEMT放大.....25 第三章 元件製作與量測.....26 3.1 元件製作.....26 3.2 試片結構.....28 3.3 微影(photolithography).....28 3.4 平台隔離製作.....30 3.5 歐姆接觸.....32 3.5.1 表面處理.....33 3.5.2 快速退火.....33 3.5.3 閘極蕭特基接觸.....34 3.6 元件完成圖.....35 3.7 量測方法.....38 3.7.1 Transmission Line Method(TLM).....38 3.7.2 Circular Transmission Line Method(CTLM).....42 3.7.3 電流-電壓法(Current-Voltage Method).....43 第四章 元件電性的量測結果與討論.....45 4.1 歐姆特性.....45 4.2 蕭特基特性.....46 4.3 HEMT元件特性.....50 4.4 討論.....60 第五章 結論.....61 參考文獻.....62

參考文獻

[1] 施敏(原著)，黃調元(譯者)，「半導體元件物理與製作技術 (Semiconductor Devices Physics and Technology 2rd Edition)」，國立交通大

學出版社， 2007年10月，新竹市。
[2] R. Dingle, H. L. Stormer, A. C. Gossard and W. Wiexmann,“ Electron mobilities in modulation-doped semiconductor heterojunction superlattices ”, Applied Physics Letter, Vol. 33, pp. 665, 1978.
[3] T Mimura, S Hiyamizu, T Fujii, K Nanbu,“ A new field-effect transistor with selectively doped GaAs/n – Al Ga As heterojunctions ’ ’, Japanese. Journal of Applied Physics, Vol.19, No.5, pp.L225-L227, May, 1980 [4] M. S. Shur, R. Gaska, A. Khan, and G Simin,“ WIDE BAND GAP ELECTRIC DEVICES (KEYNOTE) ”, Fourth IEEE International Conference on Device, Circuit and System ”.Aruba, April 17-19, 2002.
[5] Joachim Piprek,“ Nitride Semiconductor Device ”, 2007 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.Weinheim, ISBN:978-3-527-40667-8
[6] http://itri2.org/ttec/hte_e/report/hte-chap5.pdf [7] O. Ambacher, B. Foutz, J. Smart, J. R. Shealy, N. G. Weimann, K. Chu, M. Murphy, A. J.Sierakowski, W. J. Schaff, and L. F. Eastman, R. Dimitrov, A. Mitchell, and M. Stutzmann,“ Two dimensional electron gases induced by spontaneous and piezoelectric polarization in undoped and doped AlGaN/GaN heterostructures ”, Journal of Applied Physics, Vol.87, PP.334, JANUARY 2000 [8] Hadis Morkoc, Aldo Di Carlo, Roberto Cingolani,“ GaN-based modulation doped FETs and UV detectors ”, Solid-State Electronics, Vol.46, pp.157-202, 2002 [9] O. Ambacher, J. Smart, J. Shealy, N. G. Weimann, K. Chu, M. Murphy, W. J. Schaff, and L. F. Eastman“ Two-dimentional electron gasses induced by spontaneous and piezoelectric polarization charges in N- and Ga-face AlGaN/GaN hetrostructures ”.J. Appl. Phys. 85, 3222 (1999) [10] Alvaro A. de Salles, Murilo A.Romero,“ Al0.3Ga0.7AsGaAs HEMT's Under Optical Illumination ”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.39, No.12, Dec, 1991 [11] ALWYN J. SEEDS, ALVARO AUGUSTO A. DE SALLES,“ Optical Control Microwave Semiconductor Devices ”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.38, No.5, Dec, 1990 [12] M. K. Verma and B. B. Pal,“ Analysis of Buried Gate MESFET Under Dark and Illumination ”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.49, No.9, Sep, 2001 [13] az 5214E photoresist product data sheet [14] H. M. Zhou , B. Shen , D. J. Chen , N. Tang , T. S. Chen ,G. Jiao , L. Ru , R. Zhang , Y. Shi and Y. D. Zheng“ Ti/Al/Au and Ti/Al/Pt/Au Mukti-Layer Ohmic Contact on AlxGa1-xN/GaN Heterostructures ”, 2004 The Fourth International Workshop on Junction Technology 15-16, Page(s):179 – 182, March 2004.
[15] T. lalinsky , G. Vanko , Z. Mozolova , J. Liday , P. Vogrincic , A. Vincze , F.Uherek , S. Hascik , I. Kostic (2006) ”Nb-Ti/Al/Ni/Au Ohmic Metallic System to AlGaN/GaN ”. In Proc. 6th Int. Conf. on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems. P. 151-154.
[16] Dieter K. Schroder, Semiconductor Material and Device Characterization, 3rd Edition January 2006, Wiley-IEEE Press, ISBN: 978-0-471-73906-7.