

高密度電漿設備之開發與乾蝕刻應用

蘇天佑、武東星；韓斌

E-mail: 9121425@mail.dyu.edu.tw

摘要

本論文係結合靜電式探針 (Langmuir probe) 的檢測技術應用, 研究探討在感應耦合式高密度電漿系統中, 經由腔體壓力、ICP 功率、RF 功率以及氣體流量等參數的改變, 量測其解離出來的電漿特性, 並將所研究之結果實際應用於製程驗證上, 在此研究上我們將應用於SiO₂的深度蝕刻, 端看電漿的特性變化調整如何使之得到最佳蝕刻效果。於電漿研究部分, 從分析結果顯示不論上述何種參數之改變, 其解離出的電漿密度皆在10¹¹ cm⁻³ 以上的等級。尤其當ICP功率由400 W逐漸增加到1200 W時, 電漿密度亦可從1.3 × 10¹¹ cm⁻³上升至3.8 × 10¹¹ cm⁻³; 反觀其它參數之改變, 整體電漿密度的變化量為1.9 × 10¹¹到3.2 × 10¹¹ cm⁻³ 之間, 這顯示ICP功率對於電漿密度之影響能力最強。此外由於電漿之功率密度計算為離子通量 (ion Flux) 與離子能量 (ion Energy) 的乘積值, 其同時兼具離子數量與能量之特性, 因此對於以物理性為主的蝕刻製程 (ion-driven etch), 尤其是在蝕刻率方面, 電漿之功率具有決定性的影響, 相關實驗同時也由矽石光波導之蝕刻得到驗證。

關鍵詞: 乾蝕刻; 電漿密度; Langmuir 探針

目錄

封面內頁 簽名頁 授權書.....	iii	中文摘要.....	iv	英文摘要.....	v
誌謝.....	v	目錄.....	vi	圖目.....	vii
第一章 概論.....	1	第二章 電漿量測原理與實驗裝置.....	4		
2.1 電漿原理簡介.....	4	2.1.1 電漿之定義.....	4	2.1.2 電漿離子化.....	5
2.1.3 輝光放電.....	5	2.1.4 電漿電位.....	6	2.1.5 電漿蝕刻機制.....	6
2.1.5.1 化學性蝕刻.....	6	2.1.5.2 物理性蝕刻.....	7	2.1.5.3 化學及物理性蝕刻.....	7
2.2 系統設計.....	7	2.2.1 腔體設計.....	8	2.2.2 抽氣系統設計.....	8
2.2.2.1 輸送腔.....	9	2.2.2.2 反應腔.....	10	2.2.3 氣體管路設計.....	10
2.3 電漿量測裝置.....	11	2.4 量測方法.....	12	2.4.1 靜電式探針量測系統.....	12
2.4.1.1 系統介紹.....	12	2.4.1.2 量測操作方法.....	13	2.4.1.3 I-V特性曲線.....	14
2.4.1.4 電漿密度與電子溫度.....	14	2.4.2 掃描式電子顯微鏡.....	15	2.4.2.1 SEM工作原理.....	15
2.4.2.2 電子束與試片之相互作用.....	16	2.4.2.3 二次電子.....	16	2.4.2.4 反射電子.....	17
2.4.3 膜厚量測儀.....	18	3.1 電漿特性的實驗設計.....	19	3.2 平面光波導的實驗設計.....	19
3.2.1 蝕刻測試片.....	20	3.2.1.1 平面光波導之製作.....	20	3.2.1.2 平面光波導模擬設計.....	21
3.2.1.3 BPM_CAD 軟體模擬分析.....	21	3.2.1.4 基板的製作.....	22	3.2.1.5 SiO ₂ 蝕刻機制.....	23
第四章 結果與討論.....	25	4.1 電漿部分.....	25	4.2 平面光波導部分.....	28
4.2.1 光罩製作.....	28	4.2.2 製程壓力改變.....	29	4.2.3 ICP Power改變.....	29
4.2.4 RF Power調整.....	30	4.2.5 Gas Mixture 調整.....	30	第五章 結果.....	32
參考文獻.....	33	圖目.....	33	圖2.1 ICP蝕刻機台.....	36
圖2.2 平移式機械臂機構示意圖.....	37	圖2.3 Langmuir probe電漿檢測系統.....	38	圖2.4 使用Langmuir Probe所量測之電漿密度分布圖.....	39
圖2.5 圖2-5 電漿I-V特性曲線.....	40	圖2.6 SEM機構部件示意圖.....	41	圖2.7 原子序大小對反射電子產生量及二次電子產生量的影響.....	42
圖3.1 顯示C4F8流量與氟碳聚合物厚度之關係.....	43	圖4.1 不同壓力、功率、流量之電漿密度圖.....	44	圖4.2 在不同的氬氣流量、腔體壓力、RF功率以及ICP功率下, 對於電漿密度的變化.....	45
圖4.3 在不同的氬氣流量、腔體壓力、RF功率以及ICP功率下, 對於直流偏壓的變化.....	46	圖4.4 在不同的氬氣流量、腔體壓力、RF功率以及ICP功率, 對於離子通量的變化.....	47	圖4.5 在不同的氬氣流量、腔體壓力、RF功率以及ICP功率下, 對於功率密度的變化.....	48
圖4.6 SiO ₂ 未蝕刻前的Mask.....	49	圖4.7 SiO ₂ 蝕刻3.5 μm的圖形.....	49	圖4.8 SiO ₂ 被蝕刻8.6 μm的圖形.....	50
圖4.9 SiO ₂ 被蝕刻6.1 μm的圖形.....	50	圖4.10 在不同的腔體壓力下, SiO ₂ 的蝕刻率與偏壓值變化.....	51	圖4.11 SiO ₂ 被蝕刻2.6 μm的圖形.....	51
圖4.12 SiO ₂ 被蝕刻8.6 μm的圖形.....	52	圖4.13 SiO ₂ 被蝕刻6.7 μm的圖形.....	52		

圖形.....	52	圖4.14在不同的ICP功率下，SiO ₂ 的蝕刻率與偏壓值 變化.....	53	圖4.15 SiO ₂ 被蝕刻8.6 μm的圖形.....	53
圖4.16 SiO ₂ 被蝕刻4.1 μm的圖形.....	54	圖4.17在不同的RF功率下，SiO ₂ 的蝕刻率與偏壓值 變化.....	54	圖4.18 SiO ₂ 被蝕刻2.8 μm的圖形.....	55
圖4.19 SiO ₂ 被蝕刻5.5 μm的圖形.....	55	圖4.20 SiO ₂ 被蝕刻4 μm的圖形.....	56	圖4.21 SiO ₂ 被蝕刻5 μm的圖形.....	56
圖4.22 SiO ₂ 被蝕刻6.5 μm的圖形.....	57	圖4.23 SiO ₂ 被蝕刻8.3 μm的圖形.....	57	圖4.24 SiO ₂ 被蝕刻7.6 μm的圖形.....	58

參考文獻

- [1] E. Kandler, G. Grabhoff, and K. Drescher, "Characterization of plasma in an inductively coupled high-dense plasma source," *Surface and Coating Technology*, vol. 74, 539 (1995).
- [2] M. A. Lieberman, and A. J. Lichtenberg, "Principles of plasma discharges and materials processing," John Wiley & Sons Inc., 1994.
- [3] O. A. Popov, "High density plasma sources," Noyes Publications, 1995.
- [4] 吳孟奇, 洪勝富, 連振圻, 龔正譯, "半導體元件," 東華書局, 2001.
- [5] 李世鴻, "半導體工程原理," 全威圖書, 1997.
- [6] H. Xiao, "Introduction to Semiconductor Manufacturing Technology," Prentice Hall Inc., 2001.
- [7] C. K. Chung, "Inductively coupled plasma equipment and technology in MEMS," *The Vacuum Society of the R.O.C.*, vol. 13, 17 (2000).
- [8] S. M. SZE, "Semiconductor devices physics and technology," Murray Hill, 1985.
- [9] P. Bhattacharya, "Semiconductor Optoelectronic Devices," Prentice Hall Inc., 1997.
- [10] C. Y. Chang, "ULSI Technology," Mcgraw Hill Inc., 1996.
- [11] M. J. Madou, "Fundamentals of Microfabrication," CRC, 1997.
- [12] A. Grill, "Cold plasma in material fabrication: from fundamentals to applications," IEEE Press Marketing, 1994.
- [13] I. Kaganovich, "Negative ion density fronts," *Phys. Plasmas*, vol. 8, 2540 (2001).
- [14] K. J. An, H. S. Kim, J. B. Yoo, and G.Y. Yeom, "A study on the characteristics of inductively coupled plasma using multidipole magnets and its application to oxide etching," *Thin Solid Film*, vol. 341, 176 (1999).
- [15] C. O. Jung, K. K. Chi, B. G. Hwang, J. T. Moon, M. Y. Lee, and J. G. Lee, "Advanced plasma technology in microelectronics," *Thin Solid Film*, vol. 341, 112 (1999).
- [16] S. T. Jung, H. S. Song, D. S. Kim, and H. S. Kim, "Inductively coupled plasma etching of SiO₂ layers for planar lightwave circuits," *Thin Solid Film*, vol. 341, 188 (1999).
- [17] D. S. Dunn, J. L. Grant, and D. J. McClure, "Texturing of polyimide films during O₂/CF₄ sputter etching," *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 7, 1712 (1989).
- [18] E. Kay, and A. Dilks, "Metal-containing plasma polymerized fluorocarbon films — their synthesis, structure, and polymerization mechanism," *J. Vac. Sci. Technol.*, vol. 16, 428 (1978).
- [19] T. Nakano, and S. Samukawa, "Effects of Ar dilution on the optical emission spectra of fluorocarbon ultrahigh-frequency plasmas C₄F₈/CF₄," *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 17, 686 (1999).
- [20] W. W. Stoffels, H. Moriguchi, and K. Tachibana, "Silicon surfaces treated by CF₄, CF₄/H₂, and CF₄/O₂ rf plasmas: Study by in situ fourier transform infrared ellipsometry," *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 15, 209 (1997).
- [21] G. S. Oehrleina, and Y. Kurogi, "Sidewall surface chemistry in directional etching processes," *Materials Science and Engineering*, vol. 24, 153 (1998).
- [22] T. Tsukada, H. Nogami, Y. Nakagawa, E. Wani, K. Mashimo, H. Sato, and S. Samukawa, "SiO₂ Etching using high density plasma sources," *Thin Solid Films*, vol. 341, 84 (1999).
- [23] T. Y. Su, D. Hsu, E. L. Lin, F. C. Liao, Y. H. Liu, and D. S. Wu, "Characterization of plasma in an inductively-coupled high-dense plasma source and its etching mechanism," *The Vacuum Society of the R.O.C.*, vol. 13, 25 (2000).
- [24] J. W. Lee, J. F. Donohue, K. D. Mackenzie, R. Westerman, D. Johnson, and S. J. Pearton, "Mechanism of high density plasma processes for ion-driven etching of materials," *Solid-State Electronics*, vol. 43, 1769 (1999).
- [25] S. B. Cho, H. Y. Song, S. G. Park, and B. H. O, "Improved etch characteristics of SiO₂ by the enhanced inductively coupled plasma," *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 19, 1308 (2001).