

線鋸切削機構於晶圓片曲線切削之研究

Study of the wire saw mechanism for curve cutting of wafer

胡志中 許春耀 邱冠霖

Chih-Chung Hu Chun-Yao Hsu Kuan-Lin Chiu

摘要

應用熱能(雷射)、電能、化學能等加工方式，對晶圓片進行切割，將造成元件損傷，故目前皆以鑽石刀具將晶圓切割(dicing)成片狀。由於該單結晶材料破裂韌性低，切削加工時不像金屬產生塑性變形，而是以細微裂縫延伸的破裂方式產生新表面，因此，無法應用鑽石刀具對晶圓片進行曲線式的切割。線鋸切削係以鋼線帶動游離磨粒(磨粒+液體)，對材料進行切削加工，其磨粒運動的情況與拋光加工類似。拋光所使用磨粒的尺寸較小(粗拋光 $5\mu\text{m}$ ，精拋光 $0.25\mu\text{m}$)，其材料去除的機制，包括磨漿中薄膜剪應力及磨粒滾動撞擊對工件產生的微量切削，由於線鋸切削的磨粒尺寸較大($8\mu\text{m} - 27\mu\text{m}$)，故薄膜剪應力及滾動撞擊的影響應該非常小。線鋸切削以鋼線帶動磨漿適合切削精密陶瓷、半導體，硬脆材料。本研究發完成的線鋸切削機構包括：伺服馬達控制鋼線往覆運動機構，鋼線擺動切削機構，X、Z 軸平台及可旋轉夾治具機構，進行晶圓片曲線切割。

關鍵詞：線鋸切削、曲線切削、晶圓片、游離磨粒。

ABSTRACT

Using Laser, electrical discharge machining and chemical method to cut the wafer in semiconductor device will damage the element. Currently diamond tools are used in dicing the silicon wafer. Wire saw machining uses steel wires to move free abrasives in cutting materials. The movement of these free abrasives is similar to polishing. The size of abrasives used in polishing is smaller ($5\mu\text{m}$ for rough polishing and $0.25\mu\text{m}$ for fine polishing). The mechanism for material removal includes the thin film shear force in the slurry and the fine cutting from the rolling and impact of abrasives on the workpiece. Because of the larger size of abrasives used in wire saw machining ($8\mu\text{m}-27\mu\text{m}$), the influence of the thin film shear force and rolling impact should be very limited. Wire saw machining is a process in which stainless steel wires are used to mobilize abrasive slurry to cut brittle materials. The operating mechanism for wire saw machining is discussed as follows. The gear mechanism provides the drive for the reciprocating movement of steel wire. A stepping motor were used to control stroke, feed and cutting speed of the steel wire and to carry the free abrasives. In the swinging case, the time required for grains to enter and exit the cutting zone is short, and chip disposal is smooth. Thus, the wire-saw combined with swinging generates a high material removal rate. The angle of the swinging steel wire and reciprocating speed can be programmed by users.

Keywords : Wire saw, Curve cutting, Wafer, Free abrasive

一、前言

半導體產業中矽晶圓扮演重要的角色，提供各種材料製作的基材，經過無塵室曝光、顯影、蝕刻過程，再切割成矽晶片進行封裝測試。矽晶圓具有高熱傳能力、重量輕、抗磨耗、抗腐蝕能力，皆為金屬合金材料所沒有的特性。使用水刀加工的衝擊法、雷射加工的熱能法、放電加工的電能法，或化學能等加工方式，對半導體晶圓片進行切割，都容易造成元件損傷。故目前皆以鑽石刀具將晶圓切割(dicing)成片狀。由於該單結晶材料破裂韌性低，切削加工時不像金屬產生塑性變形，而是以細微裂縫延伸的破裂方式產生新表面，因此，無法應用鑽石刀具對晶圓片進行曲線式的切割。

線鋸切削以鋼線帶動磨漿(磨粒+液體)對硬脆工件料進行切削加工(圖 1)，因鋼線壓力與運動使的磨粒在工件表面產生摩擦與滾動，材料發生塑性變性及脆性破裂，以去除工件。

利用單式或複式游離磨料線鋸切，配合不同種類及粒度的磨料，切割各種硬、脆的非金屬材料，合乎經濟效應。它和固定磨粒的鋸切方式相比，游離磨粒的加工有以下幾個特點：1.發熱量低，故加工變質層小。2.可得更細的溝槽線徑(約0.24mm或更小)，故可減少被切削材料的浪費。3.因鋼線本身不鑲鑽石，故成本較低。4.由於有類似拋光加工的現象，故適當的控制加工條件，可得較佳的表面糙度。5.對於加工機的結構剛性，比傳統的加工機要求低。6.複式線鋸(圖 2)可同時鋸切許多薄片，且厚度幾乎完全相同[1]。

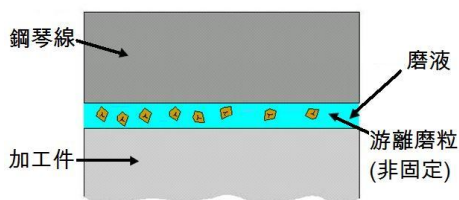


圖 1. 鋼線帶動游離磨漿切削工件

線鋸切削加工乃以鋼線帶動磨漿，配合不同種類及粒度的磨料，去除被切割材料。由於材料的去除幾乎完全靠磨漿中的磨粒完成，故機械力很微小，可避免脆性破裂的發生。高效率精密線

切割加工法具有類似拋光加工特性，可得良好表面粗糙度 [2, 3]。Contardi [4] 證明了線鋸切削加工精密陶瓷，比其他傳統加工經濟有效率。為提升切割加工效率，多線式高效率精密線切割加工法扮演了重要的角色。Yamamoto [5] 運用多線式線切割機加工花崗岩材料，獲得很好的切割效率。Kojima [6] 成功地將多線式線切割法應用至細薄片矽晶圓片切削。Suwabe [7] 分析多種複合式磨漿對於線切割效率的影響。Clark[8] 使用固定式鑽石磨粒切削陶瓷材料。Salem 及 Lee 等人[9, 10] 運用機電化學方式，在 HF 溶液中加入直流電壓以 Pt 金屬線放電線切割矽晶圓有良好成效。

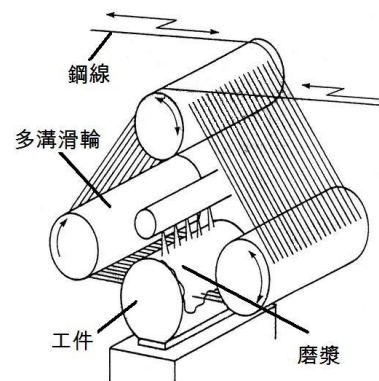


圖 2. 複式線鋸

隨著科技演進發展，矽晶圓切割需求逐漸朝非直線元件方向發展。以光導波(wave guide)元件為例，為協助光波傳輸，電路常設計成類似 Ω 之曲線形狀。光導波元件為具高靈敏度積體光學(integrated optics)關鍵性組件。由於不受電磁波干擾的影響，為高密度波長多工通訊系統，具有穩定性佳、可量產、可積體化的特點，應用在各種環境中，降低人類工作環境的危險。若能將晶圓片切割成類似 Ω 形狀的曲線，能提高每片晶圓的使用率，增加產能，減少昂貴晶圓材料的損失，降低製造成本。鑽石刀具只能作直線式切削，無法進行曲線式晶圓片切割。本文提出應用線鋸切削機構於晶圓片曲線切削之研究。

二、研發設計方法

本研究目的為晶圓片曲線切削之線鋸切削機

構之研發。經由電腦輔助模擬設計出最佳傳輸轉動機構。本研究係關於一種可切削出曲線之線鋸切割機構，包括：一機台主體、一滾輪系統、一夾具組、一移動機構及一搖擺式機構。該機台主體係用以作為本線鋸切割機整體之主要支撐結構。該滾輪系統包括複數個滾輪，用以支撐一鋸線成一張力狀態。該夾具組係用以夾持且旋轉一工件。該移動機構係用以支撐該夾具組，且可於該機台主體上做水平及垂直方向之移動，以帶動工件移動。該搖擺式機構係與該機台本體樞接，且具有二導引頭，該二導引頭係分別位於該工件之二側，其係用以支撐且導引該鋸線，當該搖擺式機構搖擺動作時，可使該鋸線接觸且切割該工件。藉此，可以於晶圓上切削出曲線，以大量提昇每片晶圓的產能，降低生產成本。

選定伺服馬達及連桿組，配合鋼線搖擺式切割機構與鋼線收放機構，以達到線切割加工之功能。配合 pc-based 控制技術，由程式控制馬達、齒輪軸或減速機，控制線切割加工之衝程、鋼線進給率與鋼線擺動角度，以提升工件加工速度。

三、結果與討論

本研究以圖 3 之可切削複雜曲線之線鋸切割機構，由晶圓片中依循光導波元件之曲線進行鋸切研究。本切割機概略分成 9 個部份：(1).搖擺式切割機構 (2).刀具切割動力及張力維持機構 (3).Z 軸平台 (4). X 軸平台及可旋轉之夾治具 (5). 直流馬達及連桿組 (6).自動控制箱 (7).電腦系統 (PC-based) (8).機架本體 (9).磨料攪拌器及磨料噴嘴。本切割機的運轉機制說明如下：

圖 4 (圖 3 中之(1))為鋼線經曲柄迴轉，使鋼線擺動之切削模式，磨粒較容易被帶入切削工作區，除了排屑順暢外，且每一個有切削作用的磨粒在切削工作區的工作負荷較均勻。鋼線擺動的角度、鋼線往復速度均可調整。本研究所用之鋼線為不銹鋼亦可用其他種類(如鎢線)的線材，唯鋼線並沒有鍍鑽石，原因為鍍鑽石之鋼線成本非常昂貴。

圖 5 (圖 3 中之(2))為鋼線置放捆線機構中，經由搖擺式機構之引導使其與工件接觸，帶動磨漿中的磨料，對工件進行搖擺式切割。當鋼線搖

擺時張力會產生變化(即忽緊忽鬆)，使得切割無法進行，因此必需在捆線機構與搖擺式切割機構間設置一張力維持機構，該機構係利用彈簧力做為補正鋼線張力變化之用，使鋼線維持張緊的狀態，如此才有切割效用。接著運用步進馬達的作動，提供鋼線進給，而捆線機構與步進馬達間則以一比一之時規齒輪帶動，使捆線機構產生往復轉動，進而提供鋼線往復切割的動力。該步進馬達由程式控制，設定切割衝程、鋼線進給、鋼線速度。

圖 3 中之(3)為 Z 軸平台，此平台包括：精密螺桿、平台、滑塊及滑軌、三角架、步進馬達及減速機。步進馬達由電腦程式控制，經由一比五十減速機帶動螺桿轉動，使 X 軸平台及夾治具於 Z 軸做微量上下移動，使工件對鋼線做進給，進給速度約為每分鐘 0.1mm，Z 軸總移動距離為 400mm，Z 軸之滑塊及滑軌可承受平台上之作用力，Z 軸平台則連接 X 軸平台，由於 Z 軸與 X 軸間為一懸臂樑機構，故以三角架加強兩平台間之連結。

圖 6 (圖 3 中之(4))為 X 軸平台及夾治具，本機構與 Z 軸平台大致相同，而此平台上則安裝夾治具，可用來挾持片狀及圓柱狀工件，晶圓與鋼線於切割時成正交接觸。平台則由電腦程式控制，提供 X 軸向的進給，配合 Z 軸進給及夾治具旋轉，保持切削路徑於鋼線正下方(如此才具有切削能力)，以完成工件複雜曲線之切割。

圖 3 中之(5)為直流馬達及連桿組，以電流控制器來調整馬達轉速，利用連桿帶動搖擺機構使鋼線擺動，其擺動的角度及往復速度均可調整。

圖 3 中之(6)為自動控制箱，本控制箱包括以下零件 (a). 步進馬達驅動器三組 (b). 24V 3A 變壓器三顆 (c). AT 規格 POWER (d). 延長線。

此控制箱之功能為步進馬達與電腦間的連接與驅動。驅動器接收電腦程式信號，再轉換成電路信號至步進馬達，以控制步進馬達運轉。變壓器則經由驅動器提供步進馬達電源，AT POWER 則連接驅動器，提供程式訊號所需電力。

圖 3 中之(7)電腦，本電腦為 CPU350Hz 記憶體 64mb，PCI 規格 8255 卡兩張。以 VISUAL BASIC 6.0 編寫程式，設定 8255 卡 I/O 位址後，

送出信號至控制箱之驅動器，控制步進馬達做轉速變化及正反轉。

圖 3 中之(8)機架本体，由 40*40 鋁擠型為主，連接成一長型機體。圖 3 中之(9)磨料攪拌馬達及噴嘴，磨料馬達為 220 v 抽水馬達，將磨漿(磨料+液體)經由噴嘴噴射至鋼線與工件間，由鋼線帶動磨漿中之磨料，對工件進行切割行為，磨料為碳化矽或氧化鋁。

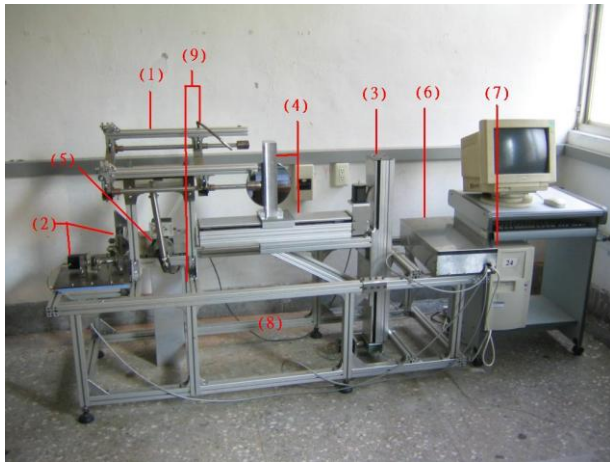


圖 3. 可切削複雜曲線之線鋸切削機構



圖 4. 圖 3 中(1)搖擺式切割機構



圖 5. 圖 3 中(2) 鋼線切削動力及張力維持機構



圖 6. 圖 3 中(4) X 軸平台及夾治具

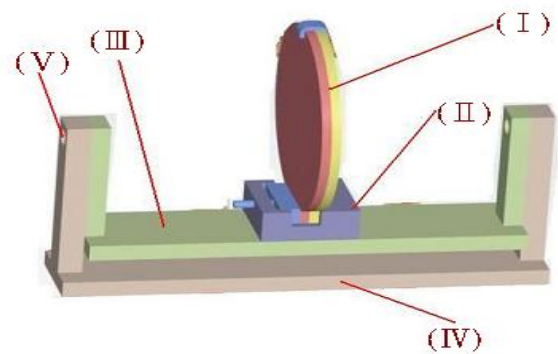


圖 7 旋轉式夾治具進行晶圓片曲線切割

旋轉式夾治具示意圖(圖 7)，說明如下：(I) 將晶圓片夾於兩塊壓克力中。(II)鎖住壓克力板的夾具，夾具固定於旋轉台上。(III)可 360 度旋轉的轉檯。(IV)支撐轉檯的基座。(V)轉軸。

旋轉式夾治具平台由電腦程式控制，驅動步進馬達提供 X 軸向的進給、Z 軸進給及夾治具旋轉量，使晶圓片獲得至所需的轉動角度及進給速度。切削路徑規劃必須保持於鋼線正下方，方便進行複雜曲線之切割。

圖 8 為光導波元件於矽晶片中之切割示意圖。光導波元件依需求往往呈現各種曲線的設計，以直線方式切割時，晶圓上光導波元件將無法緊密的排列，浪費許多排列空間，降低每片晶圓的產能。圖 9 為在晶圓片上切割完成的曲線，顯示本文所研發的線鋸切削機構於晶圓片曲線切削是可行的。

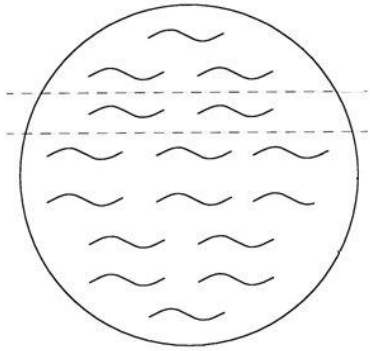


圖 8 光導波元件於矽晶片中之切割示意圖

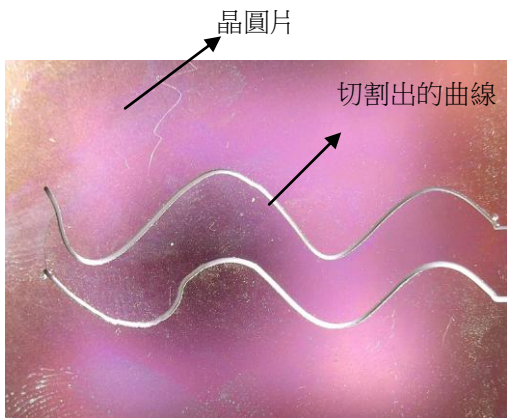


圖 9 晶圓片上切割出的曲線

四、結論

本研究完成草圖構思、零件設計、機台研發組裝與自動控制程式撰寫。應用游離磨粒晶圓片曲線切削機構，本實驗室已成功開發完成，對於產業競爭力，有實質的提昇，該裝置可提供脆性材料另一種新的加工選擇。

本研究已獲得發明專利(發明第 1251527 號)，(專利期間 2006/03/21-2024/05/24)。

感謝國科會(NSC91-2622-E-262-006-CC3)補助部份研究經費。

參考文獻

- [1] C. Y. Hsu, The study of wire saw machining, 2000, Doctoral Thesis, University of Taiwan.
- [2] S. Chonan, Z. W. Jiang, Y. Yuki, Vibration and deflection of a silicon-wafer slicer cutting the crystal ingot, *J. Vib. Acoust.*, 115 (4), 1993, pp.

529-534.

- [3] S. Bhagavat, I. Kao, Theoretical analysis on the effects of crystal anisotropy on wiresawing process and application to wafer slicing, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 46 (5), 2006, pp. 531-541.
- [4] G. L. Contardi, Wire saw beads economic production, *Ind. Diam. Rev.*, 53 (558), 1993, pp. 256-260.
- [5] T. Yamamoto, Multi-wire slabbing of granite, *Ind. Diam. Rev.*, 55 (567), 1995, pp. 179-181.
- [6] M. Kojima, A Tomizawa, Development of new wafer slicing equipment, *Sumitomo Met.*, 42 (4), 1990, pp.218-224.
- [7] H. Suwabe, K. I. Ishikawa, T. Miyashita, A study of the processing characteristics of a swinging multi-wire saw-regarding the effects of slurry composition, *Int. Conf. on Precision Eng.*, 1, 1997, pp.253-256.
- [8] W. I. Clark, A. J. Shih, R. L. Lemaster, S. B. McSpadden, Fixed abrasive diamond wire machining, part II: experiment design and results, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 43, 2003, pp.533-542.
- [9] M. S. Salem, C. L. Lee, S. Ikeda, M. Matsumura, Acceleration of groove formation in silicon using catalytic wire electrodes for development of a slicing technique, *J. Mater. Process. Tech.*, 210, 2010, pp.330-334.
- [10] C. L. Lee, Y. Kanda, S. Ikeda, M. Matsumura, Electrochemical method for slicing Si blocks into wafers using platinum wire electrodes, *Sol. Energ. Mat. Sol. C.*, 95, 2011, pp.716-720.

