

圖 1. 單個晶粒的特性是通過鏈路調整來設定的。使用連結修正設定各個晶片的屬性。

Bilder: iStock (1), 3D-Micromac (2)

空氣軸承技術的新發展

利用雙重脈衝解耦實現的動態增益

在晶圓層級進行連結修整（**Link Trimming**）時，對精度與動態性能有極高的要求。

透過一種創新的空氣軸承定位系統，該系統在 **X** 與 **Y** 軸上實現了脈衝解耦控制，在多方面超越了客戶的目標要求。這款名為「**Dynamic Waferstage**」的裝置，已於 **Laser World of Photonics**（世界光電大展）上首次亮相。



雖然雷射光學結構的品質與精度至關重要，但這只是整體成功的一部分。

Uwe Wagner
CEO von 3D-Micromac

作者

Frank Deiter 是專業雜誌
《Mikroproduktion》的總編輯。

在記憶體晶片、感測器，或用於電源管理的整合電路（IC）中，晶粒（Die）的個別特性通常會在晶圓測試（Wafer Probing）完成後進行調整。此一調整過程係透過精確切斷微細導線（英文稱為 Fuses）來實現，稱為 Fuse Cutting 或 Link Trimming。該過程可藉由施加電壓或聚焦雷射能量來完成。

透過此技術，得以啟用、編程，或關閉特定電路模組，以確保即使在測試階段發現晶粒存在缺陷，最終晶片仍能維持所需功能。

此外，Link Trimming 亦可應用於感測元件的特性微調，或移除失效的微型發光元件（如 Micro-LED）等高精度修整任務。

圖 2：微細導線（英文稱為 **Fuses**）在製程中以雷射即時切斷（on the fly）。

晶圓製程中的 Link Trimming 技術以提升動態響應性能為目標

為了因應未來微電子市場的成長，並在系統構建中實現更高的封裝密度，先進封裝（Advanced Packaging）的解析度與精度必須提升至全新水準。

雷射微加工正順應此一趨勢：來自德國開姆尼茨（Chemnitz）的公司 3D-Micromac 已開發出名為 microVEGA 的晶圓層級雷射微加工平台。該系統能處理 200mm 與 300mm 晶圓，並以高產能及精確的製程控制脫穎而出。為此，microVEGA 系統配備了整合式量測技術，實現全程無縫的製程監控。同時，為確保極致的溫度穩定性，系統可將溫度控制精準維持在 $\pm 0.1\text{ K}$ 範圍內。

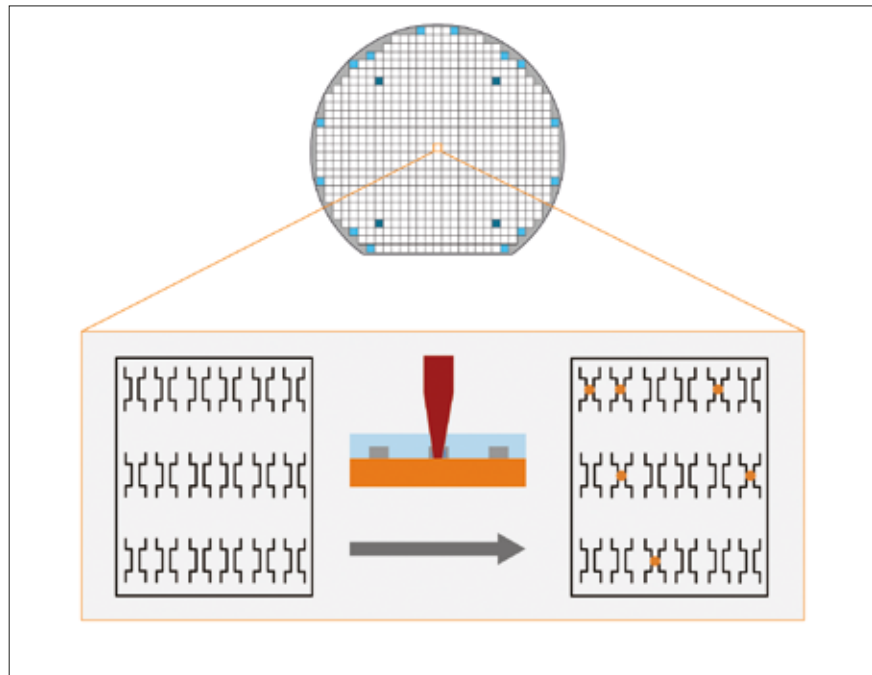
以提升動態響應性能為目標

在一家知名德國晶片製造商進行大規模投資之際，開姆尼茨的雷射專家接獲委託，設計用於下一代 Link Trimming 應用的設備。

由於該應用中的典型結構尺寸約為 1 至 2 微米，因此需要特別精確的三維定位與雷射聚焦，以及高精度的雷射光斑與結構對位（Laserspot-to-Structure Alignment）技術。

3D-Micromac 的執行長 Uwe Wagner 強調：

「雷射光學結構的品質與精度只是成功的一半，同時還需高度精密且具備優異動態性能的運動系統。」



在開發新型號 microVEGA FC 時，系統全面重新設計以實現 300 mm 晶圓的精確定位。

除了必須達成小於 100 奈米的定位精度與小於 40 奈米（3 Sigma）的重複精度外，動態性能方面亦設定了新的嚴格標準。

- 適用於敏感環境，如無塵室，以及...
- 結構複雜度低於磁性軸承或靜壓軸承

脈衝解耦的優勢

尤其是能在極小步距下達成高精度的特性，使空氣軸承技術成為首選。然而，動態驅動力會引發振動，干擾系統的精度。為了應對這一問題，採用了脈衝解耦技術。



» X 軸與 Y 軸上的雙重脈衝解耦是市場上的創新技術。 <<

Wolfram Meyer. Leiter Vertrieb und Business Development bei Eitzenberger

與來自德國 Wessobrunn 的空氣軸承專家 Eitzenberger 緊密合作後，最終選擇採用空氣軸承系統。

- 沒有機械磨耗
- 不需要潤滑劑
- 沒有啟動阻滯與滑動跳動現象
- 極高的運行平穩性與精度
- 在恆定條件下具有高動態性能

脈衝解耦並非將馬達的反作用力直接傳遞至機械的精密部分，而是將其引導至一個反作用質量上。

然而，將這些力重新導向卻增加了機械結構的複雜性。因此，目前市場上僅有單一軸向實現脈衝解耦的空氣軸承系統，且已經相當成熟。

圖 3：雷射微加工設備

3D-Micromac 的 microVEGA FC：最新版本專為 300 mm 晶圓的 Link Trimming 打造，更具動態性能。

不過，正如 Eitzenberger 國際銷售及業務開發主管 Wolfram Meyer 所強調，新一代機台不應僅止步於現有技術水準。

「我們的『Dynamic Waferstage』是一個全新的系統，在 X 軸與 Y 軸採用雙重脈衝解耦技術，這是市場上的創新突破，我們將於慕尼黑舉行的 Laser World of Photonics 展會上首次亮相。」

達成目標所面臨的技術瓶頸

一個軸的反作用質量必須與該軸的運動質量之間維持一定的比例。

若以上層軸以傳統方式進行解耦，則下層軸不僅需承載上層軸，還需承載其對應的反作用質量。

如此一來，下層軸本身也需要配置更大的反作用質量。

這樣的結構特性限制了系統的可擴展性，也使得實現高固有頻率與優良的動態性能變得更加困難。



Bilder: Eitzenberger (3, 4, 5)

Eitzenberger 的研發經理 Janis

Wortmann 解釋道：

「關鍵在於，兩個軸共用同一個反作用質量。

這樣一來，下層軸便無需承載上層軸的反作用質量，

而反作用力的傳遞路徑也與機台的量測架構（Metrology Frame）保持隔離。」

一種巧妙設計的輕量化結構，採用鋁合金與碳纖維複合材料（CFK），以扁平化形式將反作用質量透過空氣軸承與 Y 軸的定子相連。

憑藉此系統，兩個軸皆可充分發揮其動態性能，而不會彼此干擾或影響雷射加工過程。

另一項優勢是：即便在常見的工作頻率（1 至 3 Hz）下，被動式（地面）振動隔離系統已足夠。

空氣彈簧的共振頻率根本不會被激發，因此無需使用傳統上在此動態等級中常見的花崗岩穩定系統。

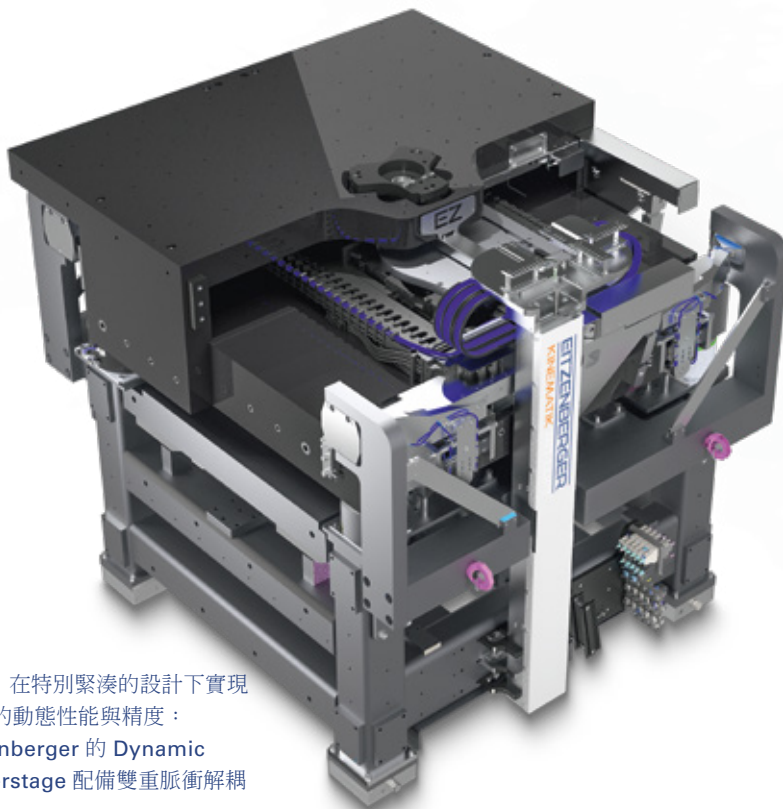


圖 4：在特別緊湊的設計下實現更高的動態性能與精度：

Eitzenberger 的 Dynamic Waferstage 配備雙重脈衝解耦技術。

真空通道軸承作為解決方案

最大的突破在於一項實現高度緊湊結構的技術，Wortmann 如此描述道：

「這項革命性的創新在於，運動軸是建立在整合式真空通道軸承上的。」

與傳統需依賴真空預載的空氣軸承不同，這項技術不再需要單獨的真空腔來產生預載壓力，而是可在整個軸承面上產生正壓與負壓。

Wortmann 解釋說：「透過整合式真空通道軸承，我們可以大幅減輕主滑軌的結構負擔，因為我們能將固定的花崗岩結構剛性應用於可動部件上。」

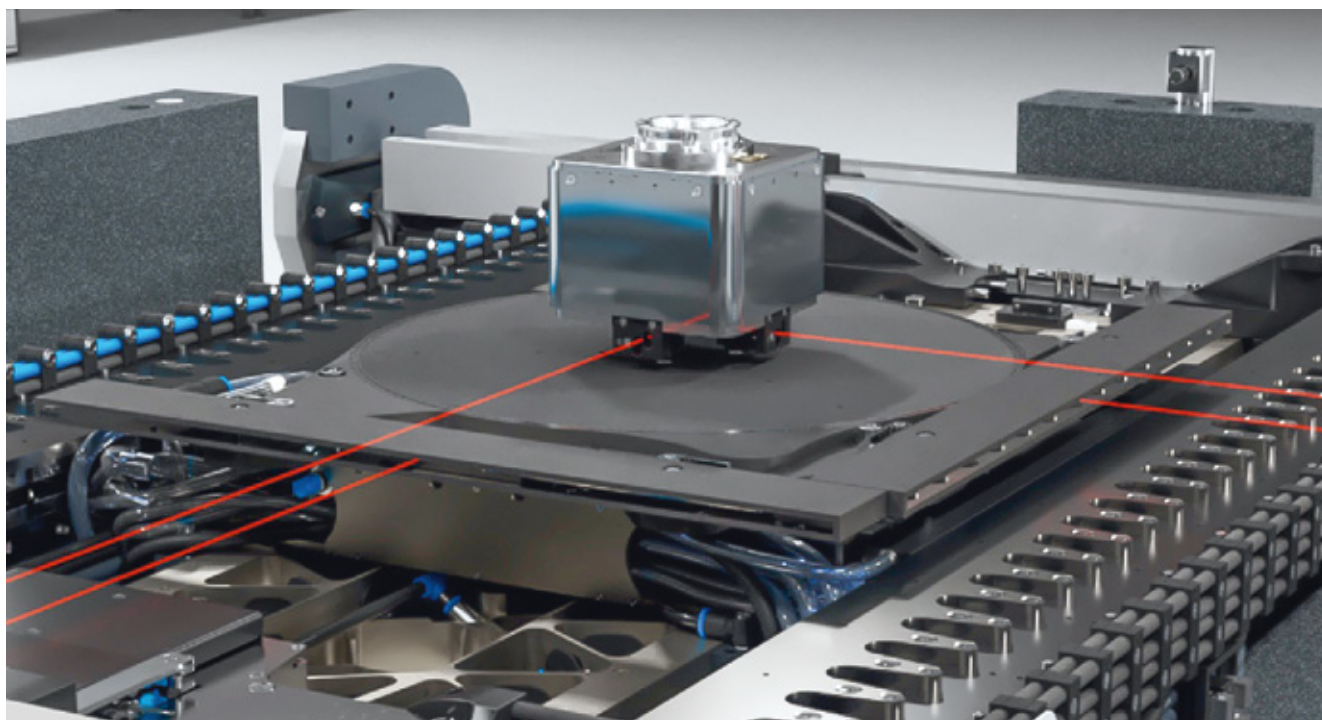


圖 5 : Dynamic Waferstage 中的差分雷射干涉儀

最具突破性的創新技術，是本系統採用了以真空通道軸承為基礎的運動軸設計。

Janis Wortmann,
R&D-Manager bei Eitzenberger

主滑軌可以倚靠花崗岩本體支撐，因此不需要完全自支撐的剛性結構。來自花崗岩基座的剛性增益不會增加可動質量，這在動態性能方面是一大優勢。

Wortmann 自豪地表示：「這是我們公司內部全新開發的技術，也是全球首創。」

透過雷射干涉儀實現最高精度

該工作平台（Stage）配備來自 SIOS 公司之高穩定性差分雷射干涉儀，解析度達 5 皮米（pm）。這些雷射干涉儀實現了近乎無 Abb é 誤差的設計，並以最佳方式整合至工作平台中，使在全動態條件下，工作點的幾何偏差得以最小化。真正的挑戰並非來自雷射干涉儀本身的複雜性，而是來自於 Wafer Chuck 上的光學反射鏡設計。

對此，Eitzenberger 進行了全球範圍內的深入調研與驗證，最終成功克服這一難題。Wolfram Meyer 滿意地回顧道：「這道障礙也終於被我們跨越了。」

動態指標超出預期

Eitzenberger 已經製造過以空氣軸承為基礎、共平面 XY 軸的門橋式（Gantry）工作台。在此次具體應用中，主要聚焦於掃描過程中所需的極高加速度與動態精度。

透過持續的結構優化，Y 軸（含晶圓卡盤）的第一共振頻率成功提升至超過 500 Hz，這是一項非常出色的成果。

晶圓工作台的高度僅 87 mm，設計相當緊湊。

Y 軸的加速度能力同樣卓越，最高可達 8 g。

配合水冷系統，能持續達到 2 g 的長時間加速度運動模式。

定位精度目標也被超越，達成 ± 100 奈米的水準。

翻譯作者：

大慶科技儀器有限公司

大慶科技:台灣總代理Eitzenberger空氣軸承
大慶科技:台灣總代理sios雷射干涉儀產品

sales@dct3d.com

www.dct3d.com

HERSTELLER

EITZENBERGER GmbH
D-82405 Wessobrunn
info@eitzenberger.com
www.eitzenberger.com
Messe Laser,
München: A3.416

mehr
Info



3D-Micromac AG
D-09126 Chemnitz
info@3d-micromac.com
www.3d-micromac.com
Messe Laser,
München: A3.318

mehr
Info

