

## Process Watch：對應分析提升缺陷可見性

作者：Chet Lenox、David W. Price 與 Douglas G. Sutherland

**作者按語：**Process Watch 探索了一系列半導體產業製程管制（缺陷檢測與量測）的關鍵概念。根據之前探討製程管制 10 大根本法則的文獻，新一系列的連載將著重說明瞭製程管制的附加趨勢，包括積體電路生產的成功實施策略及益處。在本文中，我們很高興地加入了我們的嘉賓作者和 KLA-Tencor 公司的同事 Chet Lenox 的深刻見解。

為了使得積體電路製造商的新製程節點或新產品達到最大的利潤，需要儘早及快速地提升良率。實現快速提升良率的關鍵在於要能夠給工程師提供優質和可調整的資料，以便其做出製程品質及所需改善的決策。

用於做出這些決策的資料有兩種基本形式：

- 生產線內檢測和量測結果
- 產線終點 (EOL) 參數測試、產品良率結果和故障分析

生產線內檢測與量測是製程工程師的主要的資料來源，可以快速識別偏離和採取糾正措施。產線終點的檢測結果是衡量任何製程流程能否生產優質產品的標準，它包括電晶體參數、良率次分類和功能故障分析 (PFA) 資料，由此可以深入分析製程品質和根本原因機制。

一般而言，由於晶圓製程和 EOL 資料匯集之間的長時延遲，晶圓廠在生產線內發現並解決問題比起在產線上終點發現<sup>1</sup>可以達到更好的經濟效益。然而，EOL 結果是瞭解生產線內缺陷與產品性能和良率之間相關性的重要組成部分，尤其有利於在早期製程研發週期。因此，理想的良率改善方法主要依賴於生產線內檢測與量測以監測偏離和檢定制程變化，而 EOL 結果只用於驗證良率改善的變化。

為實現這樣的檢驗組合，生產線內資料是適當取樣的優質資料，而且必須確立生產線內結果和 EOL 良率之間明晰的相關性。常用於確立這種相關性的一個關鍵工具就是**對應分析**。對應分析是指將 EOL 電路故障和 PFA 位置對應到線內檢測中檢測工具所識別的缺陷位置。

對應分析有兩種基本形式。在傳統方法中，EOL 良率故障引導 PFA，通常採用利用穿透式電子顯微鏡 (TEM) 證實缺陷的方式。然後將此位置對應到線內缺陷的位置，以確定與生產線內檢測結果的相關性。這種分析通常能夠提供良率故障的明確的因果關係，但速度慢（每週數十個），並且無法用於在 TEM 中難以定位或成像的缺陷模式。

第二種方法越來越受歡迎，它將 EOL 電路故障位置直接疊加到生產線內的缺陷資料上（圖 1）。之所以能做到這一點，主要得益於現代邏輯設計方法和分析工具，可以將電路故障定位到可能發生失效的「關鍵」位置。此外，新的技術可以讓生產線內檢測單純依據設計的潛在關鍵失效位置。

例如，KLA-Tencor 的寬頻電漿光學圖案化晶圓檢測系統採用專利技術 (NanoPoint™, pin • point™)，利用設計資料定義非常微小的檢測區，只專注於關鍵圖案。<sup>2,3,4</sup> 採用這些基於設計的技術來檢測跟潛在關鍵失效有關的圖案，其產生的檢測結果就會包含與產線終點良率密切相關的缺陷。這種更加直接的技術帶來更快的分析週期，提升了採樣率（每個晶圓數百個缺陷），並能夠對在 EOL 難以實際發現的缺陷模式進行成功的因果關係分析。

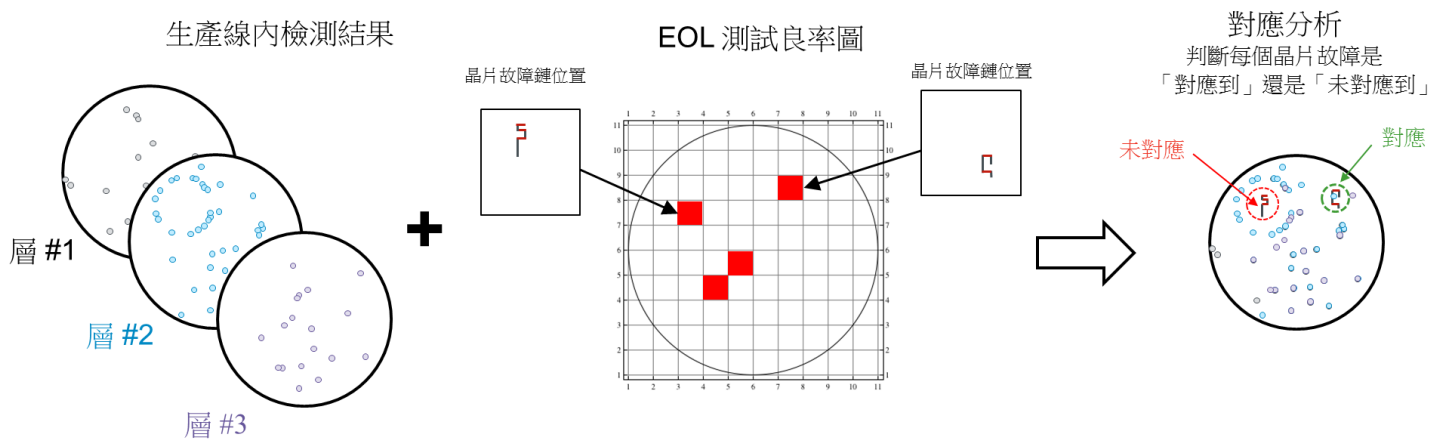


圖 1. 在晶片可能出現故障的 EOL 鏈位置，對生產線內檢測結果採用對應分析技術。

若要從電路失效關鍵對生產線內缺陷位置成功進行直接的對應分析，以下是一些有益的方法：

- 用於對應分析的晶圓應當在其所有關鍵製程步驟進行檢測。這樣可以避免在 EOL 故障的潛在因果關係中出現「漏洞」
- 應當使用結構疊加演算法，這種演算法結合了基於點的生產線內缺陷位置與基於面的 EOL 關鍵報告
- 用於標記鏈與缺陷間的「對應」疊加距離，必須足夠大能容忍檢測工具缺陷定位精度 (DLA)，但又要足夠小，保證誤報統計概率很低；見圖 2
- 檢測儀發現的所有缺陷都應當用於分析，而非只是透過後續步驟進行分類而已
- 應當利用電路失效關鍵位置層資訊以及 x/y 映射

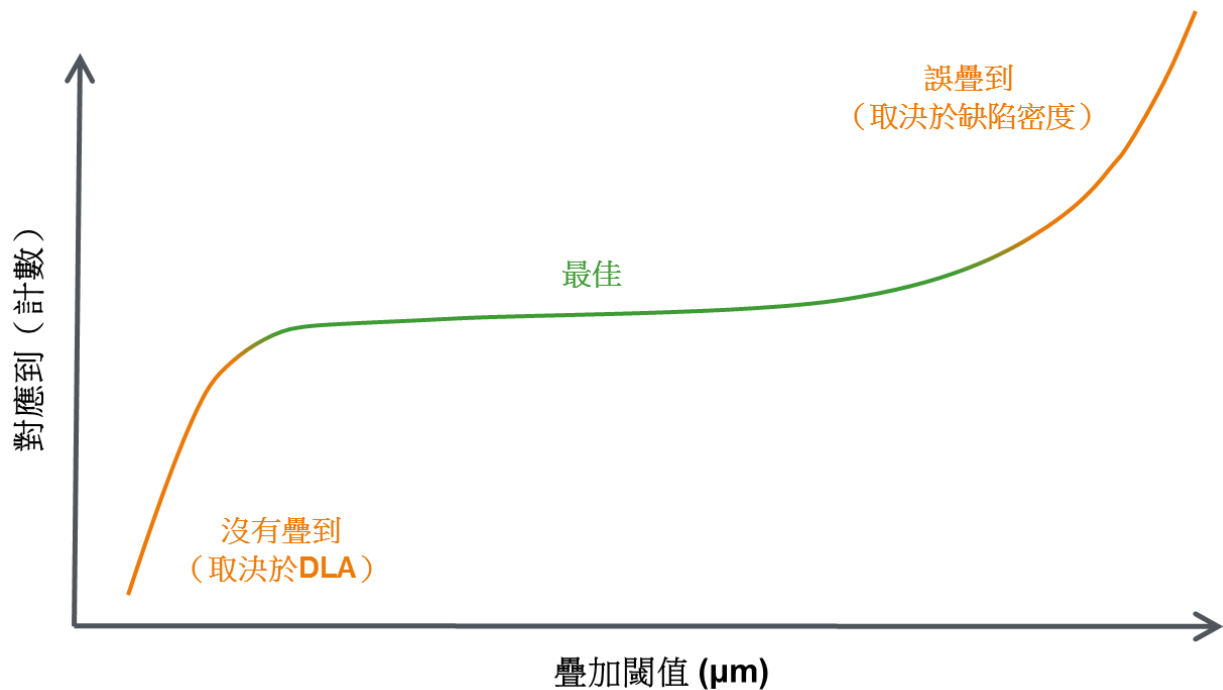


圖 2. 用於將 EOL 電路鏈疊加到生產線內缺陷的閾值必須經過優化，以避免失效或誤報。

如果運行正當，檢出率衡量標準（用百分比表示）將量化「對應到」生產線內缺陷的數量。這種衡量標準可廣泛用作生產線內檢測能力的指標，其中數字越大，表示生產線內檢測可越有信度來用於良率改善。因此，對應分析應當盡可能用於研發週期和新產品推出的早期階段。這樣就有時間透過以下這些傳統方法提升生產線內的缺陷檢測檢出率：

- 檢測工具和程式改進，包括根據產品佈局使用引導式檢測
- 批次、晶圓和晶粒級別的採樣調整
- 製程步驟檢測位置優化

如果定期進行，對應分析有助大幅提升生產線內檢測的可信度，並提升良率的學習速度。對於有效的生產線內監測方案，對應檢出率升高到 70% 以上並非不常見。值得一提的是，即使進行了直接的 EOL 至生產線內的分析，仍然需要較慢的 EOL PFA 帕雷托(Pareto)與對應分析，以驗證鏈故障和對應檢出率。

良率的提升速率通常是影響晶圓廠新製程和新產品推出的盈利能力的主要因素。提升速率受生產線內晶圓檢測有效性的影響非常大，它有利於加快資訊流轉，讓製程工程師更快作出決定。對應分析是衡量生產線內檢測的有效性、推動檢測改進的關鍵方法，尤其是在確定 EOL 電路鏈失效與生產線內缺陷結果之間的有相關聯時。

#### 參考文獻：

- 1) Process Watch : [The Most Expensive Defect \(代價最大的缺陷\)](#) , *Solid State Technology (固態技術)* , 2014 年 12 月
- 2) “Introduction to NanoPoint” (「NanoPoint 簡介」) , [http://www.kla-tencor.com/index.php?option=com\\_joomdoc&task=document.download&path=NanoPoint\\_Overview.pdf](http://www.kla-tencor.com/index.php?option=com_joomdoc&task=document.download&path=NanoPoint_Overview.pdf)
- 3) J. Ahn 等人 , “Highly effective and accurate weak point monitoring method for advanced design rule (1x nm) devices,” (「適用於先進設計規則 (1x nm) 設備的高度有效和精確的弱點監測方法」) *Proc. of SPIE (國際光學工程學會會刊)* , 9050, 905018 卷 , 2014 年。
- 4) A. Srivastava 等人 , “In-line Inspection of DRC Generated Hotspots” (「DRC 產生熱點的生產線內檢測」) , *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing (電氣和電子工程師協會半導體製造學報)* , 第 29 卷 , 第 299-305 頁 , 2016 年 , ISSN 0894-6507。

#### 作者簡介：

Chet Lenox 博士、David W. Price 博士和 Douglas Sutherland 博士分別是 KLA-Tencor 公司的良率顧問、資深總監和首席科學家。Lenox 博士、Price 博士和 Sutherland 博士一直與許多半導體積體電路製造商直接合作，協助他們最佳化整體檢測策略，以實現最低總成本。此系列文章總結了他們在這些工作中觀察到的一些普遍經驗。