

# CVD 磊晶物理模型系統分析技術

## CVD Analysis Technology for Epitaxy Physical Model System

黃智勇<sup>1</sup>、林義鈞<sup>1\*</sup>、王慶鈞<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 工研院機械所 先進機械技術組 固態光源機械技術部

<sup>2</sup> 工研院機械所 先進機械技術組 副組長

**摘要：**CyberEpi 軟體是一套使用 CVD 磊晶物理模型分析的系統，CyberEpi 軟體套件包括五個主要模組：SimEpi，FlowEpi，OptiEpi，LibEpi 和 OptiEpi Plus。使用者可以快速驗證磊晶流場與化學反應（SimEpi）耦合模擬效果，並透過創新的流場可視化平台（FlowEpi）和製程參數最佳化（OptiEpi）的精確模型校準。CyberEpi 可以作為 MOCVD 的數位雙向系統，它包括高級專業人員產生的製程累積資料庫（LibEpi）。開發友善資料庫介面數系統，可為那些缺乏基礎多重物理學複雜知識的人們提供了便利。此軟體另一強大的功能是可提供關鍵設備設計參數（OptiEpi Plus），如噴灑頭幾何形狀設計，以獲得更高的產量，或指引下一代新設備的開發，以增強製程能力。

**Abstract：** The CyberEpi software suite includes five main modules: SimEpi, FlowEpi, OptiEpi, LibEpi, and OptiEpi Plus. Users can quickly conduct the coupling simulations of epitaxial flows and chemical reactions (SimEpi) through precise model calibration using an innovative flow visualization platform (FlowEpi), and process parameter optimization (OptiEpi) of deposition experiments. CyberEpi can serve as a digital twin system of MOCVD. It includes a process database (LibEpi) generated by high-level professionals. The generation of the database allows further development of a user-friendly interface for those lacking detailed knowledge of the underlying multi-physics. The most advanced feature enables the user to extract the key equipment design parameters (OptiEpi Plus) such as showerhead geometries for higher yield, or to guide the development of next generation equipment with enhanced process capability.

**關鍵詞：**數位化、磊晶、有機金屬化學氣相沉積

**Keywords：** Digitization, Epitaxy, MOCVD

### 前言

對於 LED 與半導體工業來說，有機金屬化學氣相沉積之磊晶製程設備是最重要的。MOCVD 磊晶製程發展至今已有 50 年歷史，但是在全世界只有兩個主要製造商（威科，愛思強），因為磊晶製程是具多重物理化學耦合現象，包含三與五族氣體、高溫（600~1050±1°C）複合材料、流體動力、

熱傳與化學反應動力等，因此在所有製程技術領域中，MOCVD 是一種處理最複雜的製程技術。

2014 年諾貝爾物理學獎聯合頒發給了赤崎勇和中村修二，因發明能夠實現明亮節能的“高效藍光發光二極管”。這些科學家利用 MOCVD 設備和製程，成功開發 GaN 和 InGaN 薄膜材料的技術。由於它是一項相對較新的技術，目前僅有兩個主要的設備製造商 Veeco 和 Aixtron。MOCVD

磊晶仍然是一個艱鉅而賦有挑戰性的研究課題，製程開發技術仍然依賴於傳統的 trial-and-error 實驗，由於浪費時間和資源使這些實驗往往無效率。針對新興照明市場之節能產品的需求，LED 產品研發週期必須加快縮短。傳統方法採用 trial and error 方式進行磊晶製程實驗，製程人員經驗顯示需要 6-8 小時來測試一組 LED 整體結構的參數，並需要幾週的時間才能找到優化的製程參數，進而對 LED 產品上市時間產生不利的影響。這種方法依賴具多年磊晶生產經驗的人員來判斷參數設置，產品只能經過長時間的開發才能啟動。這種開發過程導致時間和資源的大量浪費，未來難以保持競爭優勢。優化製造參數的軟體開發不僅克服了傳統手動調整的困難，並有效地找到最佳的設備設計參數，大幅縮短新的設備開發時間。

CyberEpi 是一種 APP（應用程序）網絡物理系統軟體，用於計算磊晶製程與優化 MOCVD 機台，乃基於耦合高溫多重物理和化學模擬，CyberEpi 包括 2 維與 3 維複合成長的模擬能力。考慮沉積反應器的幾何形狀、化學物質和生長條件參數等，以詳細的化學動力學和質量/熱傳遞模型來預測膜生長速率和厚度均勻性。CyberEpi 有助於縮短磊晶製程開發和設備使用週期的改善，並有效提供最佳參數以降低成本。

CyberEpi 適用於兩種類型的用戶：（1）使用者希望開發新的生長過程或改善其現有的沉積製程參數；（2）設備開發商希望改進當前反應器設計或開發新的噴灑頭，以獲得更高的產量和產量。此外，CyberEpi 是磊晶製程的雙向軟體，它不僅可以幫助使用者了解製程參數對產品設備特性的影響，而且可以根據新設備所需特性來確定可行的製程參數。

該技術通常適用於雷射二極體、LED 照明、下一代顯示器、太陽能電池、電力和射頻半導體等產業的 MOCVD 磊晶製造設備。CyberEpi 初步應用示例已在全球領先的 LED 公司 Epistar 進行 beta 測試，並且驗證過程模擬的準確性。以 Epistar 的 CyberEpi 軟體介面與 MOCVD 設備，

進行薄膜厚度不均勻性和生長速率之磊晶製程測試。我們還與真空設備領先的供應商 ULVAC Technologies Inc.（台灣分公司）合作，且從 CyberEpi 提供的設計參數，提供巴斯大學（英國）和國立交通大學（NCTU）在台灣的合作開發新型 MOCVD 噴灑頭原型。本團隊參考的文獻、發表期刊的論文和申請各國的專利皆詳述在參考資料中 [1-27]。

### 創新「可視化磊晶製程參數優化系統 (CyberEpi)」基礎技術

CyberEpi 採用獨特高溫流場可視化技術進行設計驗證，該技術以可視化動態高溫流場為虛擬平台，分析磊晶成長過程化學反應之黑盒子，了解磊晶製程之基礎高溫流場穩定性影響機制來優化製程參數。在 MOCVD 反應腔體中，建置宏觀穩定流場環境的驗證技術，並結合微觀表面化學反應路徑的獨特決策技術，以進行多物理化學耦合模擬分析。然後將該分析與測量驗證的結果進行比較和校準，並將得到的統計分析信息存儲在數據庫中。此套製程優化軟體特徵乃具有網絡物理系統（CPS）模擬技術，並整合資料庫以適用於 LED 高溫磊晶製程。

對於研發 LED 新結構與製程需要如化學、機械、流力、質傳、傳熱等理論基礎，磊晶製程人員通常來自光電子背景，並不了解化學反應的過程，於是發展新型設備結構則受到基礎知識差異的限制。如果將來建立 CPS 高溫多物理化學耦合模擬分析技術，只有具有理論模擬基礎的專家或製程設計才能了解如何使用該工具。不幸的是這些合格人員與在線工程師和操作人員的比例非常低（約 1：100）。通常需要 1 週時間才能獲得最佳的模擬分析，如正確的邊界條件、可靠的模擬分析結果與最佳化的製造參數等。當使用 CyberEpi 資料庫和技術時，一般在線人員找到最佳化製程參數的時間可以縮短到幾分鐘而非幾週。

CyberEpi 技術使工程師能夠跨越理論基礎的技術差距，輕鬆使用系統軟體方式，協助磊晶製

## 更完整的內容

詳見【機械工業雜誌】423 期・107 年 6 月號

---

機械工業雜誌・每期 220 元・一年 12 期 2200 元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9339

傳 真：03-582-2011

機械工業雜誌・官方網站：[www.automat.tw](http://www.automat.tw)

機械工業雜誌・信箱：[jmi@itri.org.tw](mailto:jmi@itri.org.tw)