



X光散射術之 半導體檢測應用

The Application of X-Ray Scatter
in the Metrology of Semiconductor Processes

徐得銘

工研院量測中心
儀器與感測技術發展組
光電產業檢測設備發展部

關鍵詞(Keywords)

- X 光 X-ray
- 疊對位移 Overlay
- 半導體製程 Semiconductor Process

摘要(Abstract)

利用 X 光(X-ray)所發展的小角散射術(small angle X-ray scatterometry, SAXS)，其量測解析度遠高於傳統使用深紫外光(deep ultraviolet, DUV)的散射術。本文章將利用 NIST 所發展的小角散射術及美國國家實驗室的先進光子源(advanced photon source, APS)同步輻射加速器的 X 光來量測疊對光柵之疊對位移。在此我們製作了一多組疊

對光柵，且每組彼此之間具有 1 nm 的疊對位移差值，利用小角散射理論或是嚴格耦合波理論(rigorous coupled-wave analysis, RCWA)分析其散射訊號，可得其三維結構及疊對位移值。從分析的數據可知，利用 X 光的小角散射術具有非常好的疊對位移解析度，其對於未來先進半導體製程檢測將是一大利器。

The optical resolution of a system by using small angle X-ray scattering (SAXS) is higher than that of deep ultraviolet (DUV) scatterometry. In this paper, we use the method of SAXS which is purposed by the National Institute of Standards and Technology (NIST) and the X-ray source at the advanced photon source (APS) to measure the overlay target. We produced a series of overlay target with the same structure but different overlay



value. The rigorous coupled-wave analysis (RCWA) and small angle scatter theorem are used to analyze the measured signals, and then we can obtain the three dimension structure and overlay value. In this paper, we can know that X-ray scatterometry is a powerful tool in the metrology of semiconductor processes.

1. 前言

X 光與物質的交互作用(即電磁交互作用), 主要為光電吸收和來自於原子中束縛電子的彈性散射。原子序大的物質, 因內含的束縛電子較多, 其對 X 光的散射也就較強。但若整個物質內的電子分布是均勻無秩序的(例如: 水), 那麼物質對 X 光的散射也相對的沒有方向性的偏好, 而在空間中形成單調的均勻散射。當材料內部的電子密度開始有不均勻的分布, 此時材料對 X 光的散射模式會因電子密度在空間上有了分佈, 而出現相對的散射強度分佈特徵。而分析 X 光散射強度隨散射方向的變化特性, 可以獲悉材料內部的電子密度分佈, 此分佈即可表示材料的平均結構。

由於 X 光小角散射術具有奈米等級的解析度, 已廣泛地應用於材料科學的量測上[1-3], 然而目前仍較少應用於半導體製程的量測。為了深入了解 X 光小角散射術, 本人於 2013 年赴美國國家標準技術研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)參與客座研究, 研究其在半導體檢測上的應用[4-6]。美國國家標準技術研究院, 前身為國家標準局, 是一家標準測量實驗室,

屬於美國商務部的非監管機構。該研究所的官方使命為: 促進美國的創新和產業競爭力, 推進度量衡學、標準、技術以提高經濟安全並改善我們的生活質量。美國國家標準技術研究院僱員大約有 2900 名科學家、工程師、科技工作者, 以及後勤和管理人員, 大約 1800 名輔助工作人員(來自美國公司和國外的工程師和研究員), 另外還有 1400 名專家分布在國內約 350 個附屬研究中心裡。美國國家標準技術研究所的組織架構, 其具有兩個量測實驗室(Metrology Laboratory), 兩個科技實驗室(Technology Laboratory), 及兩個國家設施(National User Facility)。其中材料量測實驗室(Material Measurement Laboratory, MML)由六個部門所組成, 我所參加客座研究的單位為材料科學與工程(Materials Science and Engineering)部門中的 X 光小角散射術研究團隊。

由於半導體製程關鍵尺寸(critical dimension, CD)設計的逐年減小, 利用傳統的光學儀器來量測製程中的線寬或是層與層之間的疊對誤差(overlay)已愈趨困難。目前先進半導體製程中的鱗式場效電晶體(fin field-effect transistor)其線寬已小於 25 nm, 未來預期可以進一步縮小至 9 nm。此數奈米之結構已遠小於任何光學儀器可解析的尺寸, 在量測上是一大難題。目前 X 光小角散射術是少數非破壞性可檢測 20 nm 以下線寬三維形貌的工具。在客座期間, 可看見一些國際上半導體大廠或組織如 Intel、KLA-Tencor、SEMATECH 等, 都跟美國國家標準技術研究院有合作, 開發 X 光小角散射術檢測技術, 或是利用 X 光小角散射術量測三維鱗式場效電晶體結構, 由此可看見未來在半導體檢測上 X 光小角散射術會是一個非

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】383期・104年2月號

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：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：www.automan.tw