



晶片之戰的隱形英雄： 五大半導體材料開啓自主化新時代

技術主編：張德宜 T. Y. Chang

現職：工研院(ITRI) 材料與化工研究所 先進電子構裝材料研究組 正研究員/副組長

學歷：University of Bradford 化學/化工博士

專長：光阻劑材料、光電顯示材料、生質材料

隨著積體電路技術邁向更高密度、更高速度與更低功耗的方向發展，半導體製程對關鍵材料的性能、功能性與製程相容性提出更嚴格的要求。其中，高解析光阻劑在微影技術中占據核心地位，其解析度直接決定了晶片線寬的精細程度。根據市場調查，全球光阻市場持續擴張，2022年市值達37.6億美元，預估至2028年將成長至50.1億美元，顯示光阻劑在半導體產業中的重要性日益提升。

為了進一步提升微影圖案精度，抗反射層材料(Anti-Reflective Coating; ARC)被廣泛應用於光阻下方，藉由光學干涉或吸收設計抑制曝光時的反射光，避免產生鬼影與圖案失真。其中有機底部抗反射塗層(Bottom Anti-Reflective Coating; BARC)因其材料設計彈性以及與光阻間的良好相容性，成為業界主流技術。為強化國內自主材料能力，研究單位亦投入BARC材料設計、製程平台建置與專利布局，以強化供應鏈穩定性。

在光阻組成中，光酸(Photoacid Generator; PAG)是一種關鍵成分。其在曝光後釋放酸，觸發光阻材料結構變化，進而影響顯影過程中圖案的形成與品質。光酸的選擇與設計直接影響光阻的敏感度、解析度與熱穩定性，是提升製程性能不可或缺的技术環節。同時，厚膜光阻劑亦在MEMS、封裝與顯示器製程等應用中扮演重要角色。不同於一般薄膜光阻，厚膜材料需要具備良好的塗佈性、穩定的輪廓控制以及高附著力，以適應複雜結構製程。目前正型與負型光阻各有優勢，正型光阻解析度高，適合微細圖案；負型光阻則具有更快的曝光速度、材料成本較低、對特定基材有更好的附著力，適合用於不需極高解析的應用場景。進一步地，隨著異質整合(Heterogeneous Integration)與系統級封裝(SiP)技術發展，對電源完整性與訊號穩定性提出更高要求。嵌入式去耦電容(EDC)因此成為關鍵元件，而高介電圖案化材料正是實現其效能提升的關鍵。傳統高介電材料雖具備良好電性能，卻多數不具備圖案化能力，製程整合難度高。為此，業界發展出以感光性聚醯亞胺搭配高介電 BaTiO_3 粉體的有機-無機混合材料，不僅能進行高解析圖案製作，亦可兼具高介電常數、低空隙率、良好熱穩定性與製程相容性，適用於3D IC與先進封裝技術中，有效提升整體系統效能。

綜觀而言，這些半導體關鍵材料—從光阻、抗反射層、光酸，到厚膜材料與高介電圖案化材料—在製程精度提升、元件微縮、系統整合等方面皆發揮關鍵作用。未來隨著AI、高速運算、低功耗裝置等應用需求持續攀升，半導體材料技術的創新與在地化發展將成為全球競爭的核心焦點。🔗