



中央研究院院士

林本堅 院長

把心放上去，用心則樂

Happiness Follows Dedication of Your Mind

撰文：林麗娥

全球地緣政治影響加劇，頻頻擾動世界半導體供應鏈的環境。如何持續佔據關鍵位置，提高全球半導體價值鏈的韌性，是臺灣正面臨的重要課題。其中極紫外光 (extreme ultraviolet, EUV) 微影技術，是量產晶片時的關鍵製程技術，緣此《科儀新知》240 期推出「EUV 關鍵元件與技術」專題，介紹臺灣新興技術與發展現況。提到半導體技術的躍進，大家第一個會想到的必定是改寫全球半導體發展史、今年 (2024) 甫獲第六屆總統創新獎，被譽為「浸潤式微影之父」、「半導體界愛因斯坦」，現任國立清華大學半導體學院院長的林本堅院士。本期「人物專訪」特別邀請林院士與讀者分享，他是如何把心放在「光」的探索，且信仰如何讓他具有傳教士般的堅定信念，奔走國際、成功鼓吹，扭轉當時認為乾式微影才是正道，轉而採以水為介質的浸潤式微影技術 (immersion lithography)。

捕捉光影 解決科技難題

林本堅院士出生於越南，在越南接受華僑教育的他，從小就對「光」充滿興趣，特別是母親在他 13 歲時，終於把他心儀很久，每次看見母親拿在手上就很想擁有的相機送給他，開啟了他對光的研究。照相、沖洗底片時，是把景物感光在底片上。而半導體產業中的微影技術，是利用光線穿透將印有電路圖的光罩，在矽晶片上投印出電路圖。院士在上帝賦予的天分與帶領下，讓他對光的掌握超越一般人。後來藉由干涉將光場完整資訊記錄下來，並利用繞射原理將光場重建的全像術 (holography) 研究，拿到美國俄亥俄州州立大學電機工程博士。從此人生職涯展開對光影不間斷的研究，為社會服務、解決科技難題。

萬事都互相效力 叫愛神的人得益處

作為一個虔誠的基督徒，林本堅院士表示：「自從信主之後，神好像對我的生命有了計畫，一步一步帶領著我。」從排斥基督教、在偶然的機會下，同學向他傳福音，決定信靠耶穌。從越南孤身來到新竹，在新竹中學努力了一年，並相信上帝的帶領，後來考上臺灣大學電機系。愛好攝影的林本堅院士本來最希望進入柯達 (Kodak) 公司上班，沒想到求職信杳無回音，意外進入 IBM 公司上班。1970 年起在 IBM 工作 22 年後自行創業 9 年，2000 年時離開生活 38 年的美國，進入台積電工作。在台積電的支持下，讓浸潤式微影技術為世界半導體技術帶來一瞬千里的發展，成功把摩爾定律推進 6、7 個世代，為人類帶來科技的躍升。

院士舉羅馬書 8:28-30 中的一段話「萬事都互相效力，叫愛神的人得益處」與讀者分享他一生所秉持的理念。萬事中不是每天花草芬芳、順心如意，除了有美好的事物，也有各種苦難、挑戰與壓力。基督徒認為，這是神要我們得到益處的方式，是達到光明終點前的磨練，有了這樣的體悟，讓我們更有面對挫折的信心和勇氣。而苦難之後所得到的益處，除了表面的名利、財富與榮譽。真正的益處是神要藉著這些試煉，陶冶我們的心靈，模塑我們的品格，這是生命中最大的益處。

翻轉世界半導體技術發展的浸潤式微影技術

製程技術一直是維持摩爾定律的引導性和決定性因素。過去半導體晶片製程中，主要採用乾式曝光，以空氣為鏡頭和晶圓之間的介質，把光罩上的圖形在晶圓上成像；而浸潤式微影則是以水為介質，在鏡頭和晶圓之間注入水，光的波長在水中縮短，可以刻出更精密的晶片。林本堅院士所發明的浸潤式微影技術，讓半導體的摩爾定律得以在 65 奈米製程之後沿續，更促使台積電與 Intel 等大廠並駕齊驅。實際上，早在 1987 年當時在 IBM 工作的院士於一場微型電路工程會議 (Microcircuit Engineering Conference) 中，以《次半微米光學微影的未來 (The Future of Subhalf-Micrometer Optical Lithography)》為題，就已提出將水代替空氣的概念。院士回憶道：「在那次演講中，我告訴大家浸潤式微影將是擴展光學微影的一種方式。因為目前仍有許多比較容易的方法可以擴展光學微影，所以浸潤式微影可能是最後一個方法」。

在那之後晶片製程節點尺寸一路從微米尺度到 0.7、0.5、0.35、0.25、0.18、0.13 微米至 90 奈米，半導體相關的產學界都運用了巧妙的方法解決。而到了 65 奈米的世代，所使用

的光源波長已縮短到 193 奈米，並進一步抵達 157 奈米階段。此外，成像鏡頭的數值孔徑從 0.18 經過多次提高到 0.93，技術上遭遇瓶頸，已很難再往前突破。儘管當時已有 EUV 技術，但是技術尚不成熟，於是大家都把希望寄託在 157 奈米的光源波長上。

更加肯定浸潤式微影技術的可行性

林本堅院士表示，在看了麻省理工學院林肯實驗室 (MIT Lincoln Laboratory) 的兩位研究員 M. Switkes 和 M. Rothschild 有關光源 157 奈米於浸潤式液體上所作的研究後，更加肯定以水作為介質的浸潤式微影技術的可行性。這兩位研究員用 157 奈米波長的雷射光測量許多液體，這些液體穿透率都不高又是油性，有些還會污染晶片。同時他們也研究嘗試使用 157 奈米波長的雷射光量測水，但是 157 奈米波長無法穿透水，所以無法測量水的折射率。幸虧研究員順便測量 193 奈米波長的水折射率，得到 1.46 的數據。

院士一看到 1.46 這個數字就很有感覺。雖然 1.46 後來被確認為 1.44，193 奈米波長的光通過折射率為 1.44 的水，可獲得 134 奈米波長的光，這個波長比 157 奈米短得多。況且 157 奈米只比 193 奈米短 23%，僅能提高解析度 23%。但採用 193 奈米加水卻把解析度提高 44%，幾乎是兩倍，換句話說，只要將成像鏡頭的最後一個元件與光阻之間的空間浸入水中，就可以解決當時的技術難題。只是當時整個半導體業包括供應商和用戶都已集中精力與經費在 157 奈米的研發。但 157 奈米技術對半導體廠來說製造難度很高。

轉戰到台積電工作的林院士 2002 年 2 月受邀到 SPIE 「國際微影討論會」進行全會眾演講 (plenary speaking)，分析 157 奈米和極紫外光技術發展尚未成熟，於是再次提出浸潤式的可能性，並發表了浸潤式設備及操作的示意圖。同年 9 月，院士再度受邀到一場針對 15 奈米技術的工作坊 (workshop) 進行演講。由於是 157 奈米的研討會，聽眾預期院士可能要分享的是用浸潤式繼續推進 157 奈米，沒想到院士建議大家回頭善用 193 奈米波長的光，再加上水把有效的波長縮至 134 奈米，比 157 奈米更短。院士演講結束後，原本 157 奈米的工作坊竟所有交談的時間都環繞在討論 193 奈米加水！

院士提出這樣的技術改革建議後，更艱鉅的任務就接踵而至，他花了很大的努力，在技術、政治和商業上將產業從 157 奈米傳統技術轉向 193 奈米浸潤式技術。當時全球對 157 奈米的投資已遠超過 10 億美元，因此要說服曝光機台的廠商研發並量產浸潤式機台極為困難。於是林本堅院士與台積電處內的同仁寫了好幾篇論文，除了透過在國際研討會議上發表論文，從理論的觀點證明浸潤式微影的可行性及優勢，並駁斥一些錯誤的負面看法。同時申請專利、奔走荷、德、美、日各地作技術和商業的交談，終於說服艾司摩爾 (ASML) 公司採用，自此展開台積電與 ASML 攜手並進的半導體全新世代。院士因其在浸潤式微影領域的開創性研究和領導地位，於 2013 年榮獲克雷多布魯奈提獎 (IEEE Cleo Brunetti Award) 及國際電機電子工程師學會 (IEEE) 西澤潤勳章 (Jun-ichi Nishizawa Medal)。

為臺灣培養半導體人才 延續在全球半導體的領先地位

從過去全球自由化的貿易政策下，半導體業以高度專業分工、效率極大化的方式運行，企業根據比較優勢將各種生產環節外包到不同的地點，使企業能夠更靈活地回應市場需求，

並快速適應創新技術。到逐漸形成生產環節分佈在多個國家的半導體產業全球價值鏈，由歐美大廠主導設計或整合元件製造 (integrated device manufacturer, IDM) 等環節，亞洲地區則負責晶圓代工、記憶體和半導體封測等。近年更隨著美中科技戰、新冠疫情爆發、烏俄戰爭及地緣政治影響等因素，半導體科技已成為國家實力的象徵，國際主要經濟體均期望能提高國內半導體的自給率和建立有彈性的供應鏈，以強化國家安全，未來全球半導體將從高度分工開始走向區域內整合。

院士表示，儘管這樣的演變未必是國際利益最大化的局面，然而這樣的趨勢恐怕很難抵擋，因此臺灣更要培養自己的競爭力來因應全球的變化。這就是他接受到清華大學半導體學院擔任院長的主要原因，為臺灣培養半導體的「專才」、「通才」、「活才」三才並進的人才，能夠在特定領域擁有「專才」、具備廣大視野和半導體通識的「通才」，同時是具有解決新問題能力及創立半導體新領域的「活才」，以延續我們在全球半導體的領先地位。

給儀科中心 50 歲的生日祝福

林本堅院士在 2022 年將其家庭生活、成長學習、基督信仰及職場經驗書寫成冊，出版了『把心放上去：「用心則樂」人生學』一書的第二版。院士一路走來，對於人生每個階段都忠心的完成，有所交代。院士以其書名來祝福即將邁入 50 周年的儀科中心，鼓勵儀科中心同仁：「家庭、工作、生命是每個人最珍貴的所有。凡事要把心放上去、用心發揮、用心平衡。」如此才能不斷前進，共同走向下一個 50 周年。





採訪後記：與林本堅院士進行專訪後，院士於113年6月27日至儀科中心進行參訪。除參觀前瞻光學加工核心實驗室與先進真空鍍膜實驗室等核心實驗室，亦聽取「中心的整體概況與學研合作模式」與「半導體製程與檢測設備開發」等成果簡報。