

【量子點專訪（上輯）】三星 QLED 核心技術採用諾貝爾獎得獎材料

「三星電子之所以致力發展量子點技術，關鍵原因之一是其擁有極為狹窄的發光波峰。」

- 三星電子 Sanghyun Sohn

2023 年諾貝爾化學獎頒給發現與合成量子點的科學家，以表彰其於該領域的重大突破。諾貝爾委員會指出，量子點已在顯示技術與醫療產業展現重要貢獻，並有望廣泛應用在電子、量子通訊與太陽能電池等產業。

量子點為極微小的半導體粒子，其發光顏色會隨粒徑大小而改變，能呈現極為純淨且鮮明的色彩。智慧顯示器領導品牌三星電子已採用此材料，提升顯示器產品效能。

三星新聞中心邀請首爾大學（SNU）化學與生物工程系的傑出教授 Taeghwan Hyeon、韓國科學技術院（KAIST）化學與生物分子工程系教授 Doh Chang Lee 與三星電子影像顯示（VD）事業部顯示器實驗室負責人 Sanghyun Sohn，深入探討量子點如何開創顯示技術的新時代。

- [什麼是能隙](#)
- [量子點 - 粒子越小，能隙越大](#)
- [量子點薄膜工程揭密](#)
- [真正的 QLED 顯示器使用量子點創造色彩](#)



奈米技術巨擘，以研究量子點合成加熱製程聞名

Taeghwan Hyeon

博士，傑出教授

首爾大學（SNU）
化學與生物工程系



量子點先驅者，以研究聚合物與環保技術聞名

Doh Chang Lee

博士，教授

韓國科學技術院（KAIST）
化學與生物分子工程系



傑出專家工程師，於推動全球首款不含鎘量子點顯示器商品化具卓越貢獻

Sanghyun Sohn

博士，先進顯示器實驗室負責人

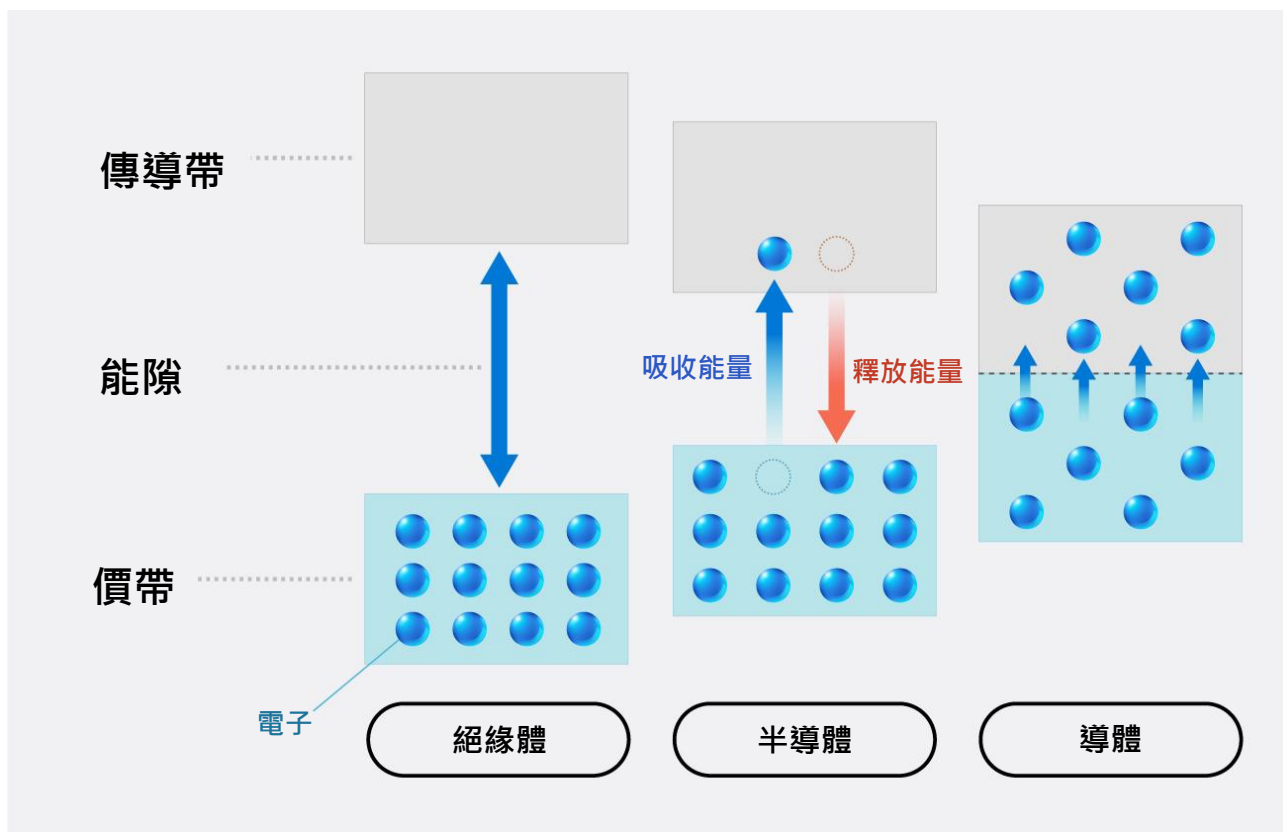
三星電子
影像顯示事業部

什麼是能隙

「研究量子點之前，首先要了解何謂能隙。」 - 首爾大學 Taeghwan Hyeon 教授

「電」的產生源於電子的運動。一般而言，參與運動的是最外層的電子，稱為「價電子」。這些電子所在的能量範圍稱為「價帶」，而位於更高能階、尚未被佔據且可接受電子的能量範圍則稱為「傳導帶」。

當電子吸收外部能量時，得以由價帶躍遷至能量較高的傳導帶。當其釋放該能量後，則會回到原本的價帶位置。價帶與傳導帶之間的能量差，亦即電子在兩者間遷移所需吸收或釋放的能量，稱為「能隙」(band gap)。



▲ 絕緣體、半導體與導體的能量帶結構比較

絕緣體（如橡膠與玻璃）具有較大的能隙，阻礙電子在能帶之間自由移動。導體（如銅與銀）的價帶與傳導帶部分重疊，使電子能夠自由移動，因而展現出優異的導電性。

半導體的能隙介於絕緣體與導體之間，因而在一般條件下導電性有限，但當電子受到熱能、光照或電力等外部能量刺激時，便可產生導電現象，或釋放出可見光。

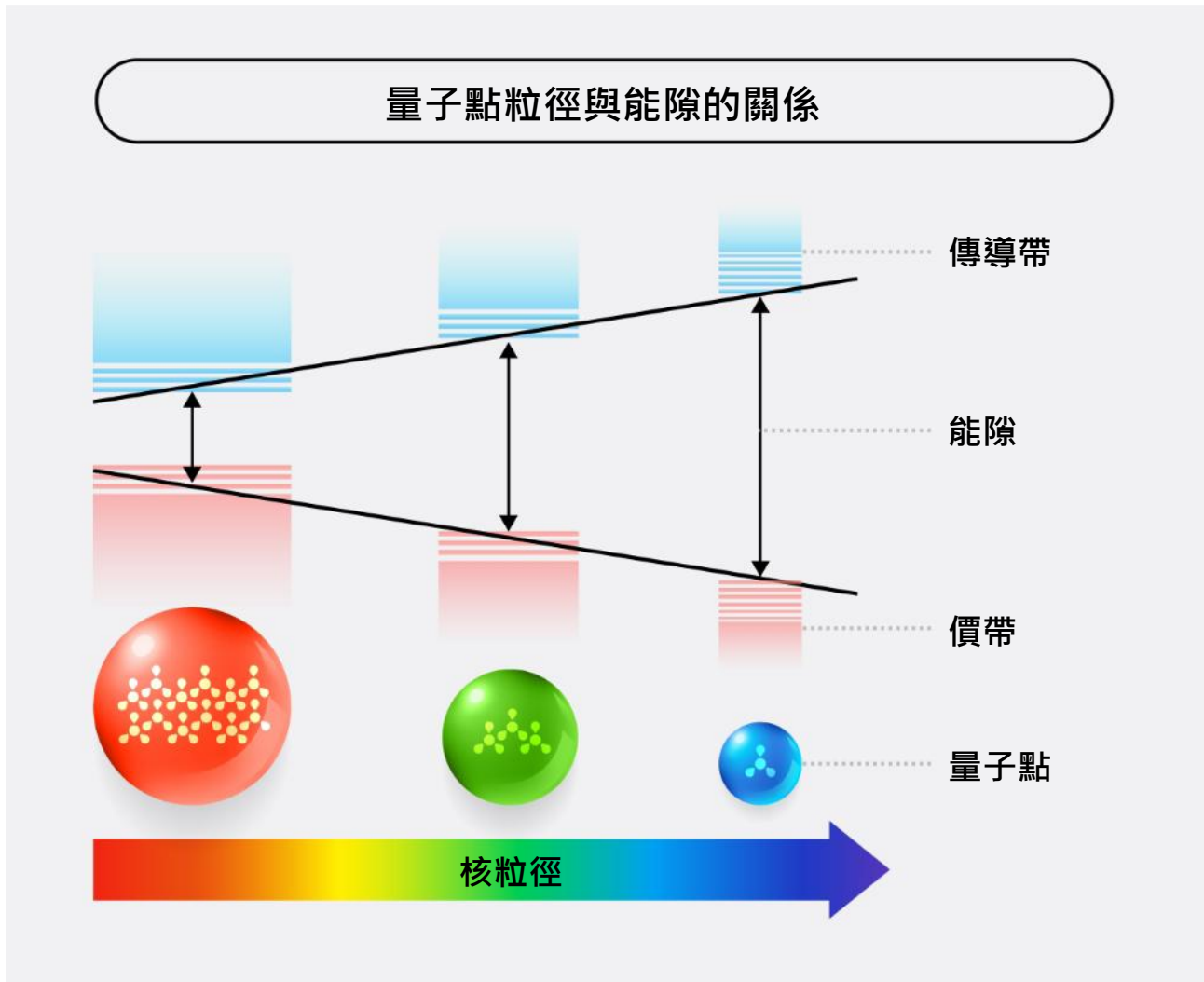
Hyeon 認為：「在研究量子點之前，首先要了解何謂能隙。」並強調材料的能帶結構是決定其電氣特性的關鍵因素。

量子點 - 粒子越小，能隙越大

「隨著量子點粒徑縮小，其所發射的光波長會由紅光區移向藍光區。」

量子點是奈米級的半導體晶體，具備獨特的電學與光學特性。這些粒子以奈米 (nm) 為單位計量，約為十億分之一公尺，厚度僅為人類頭髮的數千分之一。當半導體材料被縮小至奈米尺度時，其性質將與其在體態 (bulk state) 下的表現產生顯著差異。

體態 (bulk state) 狀態下的粒子粒徑足夠大，使得半導體材料中的電子不受自身波長限制，可以自由移動。此特性使電子能階 (指電子在吸收或釋放能量時所處的能量狀態) 形成連續的光譜，形狀如同平緩延展的長滑梯。而量子點粒徑小於電子的波長，導致電子移動受到侷限。



▲ 量子點粒徑決定能隙大小

想像拿一支湯勺從一個大鍋子裡舀水，水代表能量，大鍋子代表體態 (bulk state)，而湯勺則對應於電子波長所涵蓋的帶寬 (bandwidth)。透過湯勺舀水，可以任意調節鍋中水的多寡，進而對應於能階的連續變化。當鍋子縮小到茶杯尺寸時 (如同量子點)，湯勺就失去了功用。此時杯子只能為全滿或全空。可以用來說明量子化能階的概念。

Hyeon 表示：「當半導體粒子縮小至奈米尺度時，其能階將呈現量子化現象，即僅能存在於離散的能量狀態中。此現象被稱為『量子侷限效應 (quantum confinement) 』。在此尺度下，能隙大小可透過調控粒徑進行調整。」

量子點粒徑變小時，粒子內部所包含的分子數量亦隨之減少，導致分子軌域之間的相互作用減弱。此變化會強化量子侷限效應，並使能隙增加^(註一)。能隙對應於從傳導帶到價帶的電子鬆弛所釋放之能量，故發光波長亦隨之改變，進而影響所發出的顏色。

Lee 表示：「隨著粒徑縮小，所發射光的波長會由紅光區段逐漸移向藍光區。換言之，量子點奈米晶體的顏色取決於其粒徑大小。」

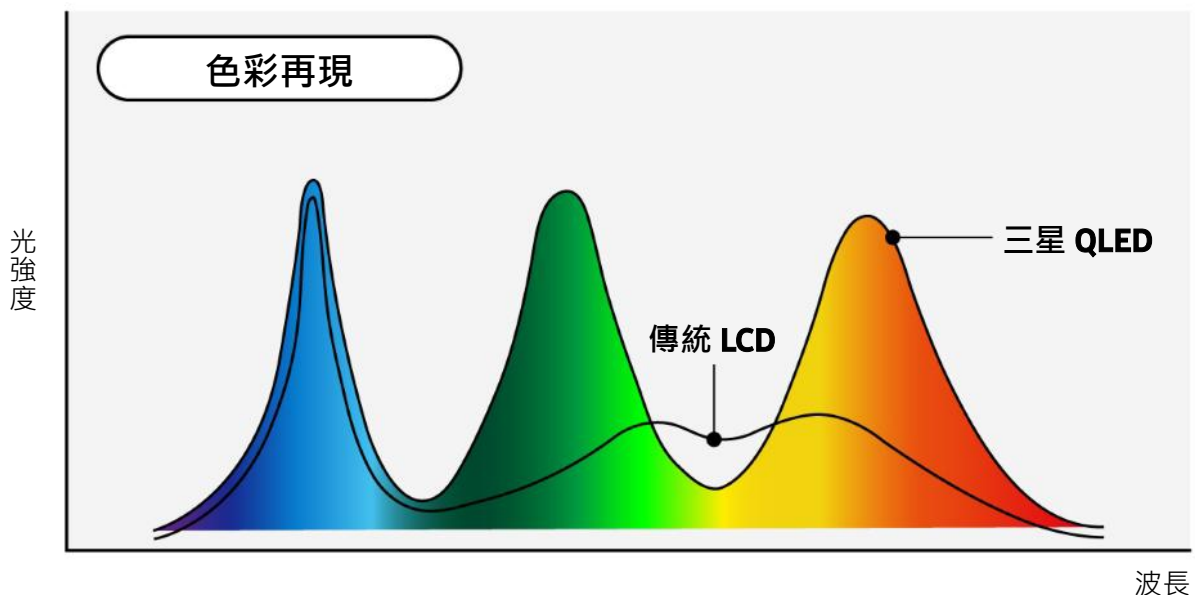
量子點薄膜工程揭密

「量子點薄膜是 QLED 顯示技術的核心，展現三星電子在技術領域的深厚實力。」

- 韓國科學技術院 Doh Chang Lee 教授

量子點技術已廣泛引起各領域關注，涵蓋太陽能電池、光觸媒、醫療應用及量子運算等產業。其中，顯示器產業是首個成功實現其商業化應用的領域。

Sohn 表示：「量子點發射光譜的波峰極為狹窄，是三星電子選擇專注發展此項技術的原因之一。其窄頻帶特性與高強度螢光，能精確呈現廣色域。」



- ▲ 量子點透過在奈米尺度上控制光的發射，產生狹窄帶寬與高強度螢光，進而實現極純淨的紅、綠、藍 (RGB) 三原色

為有效將量子點應用於顯示技術，所採用的材料與結構必須在嚴苛環境下，仍能長時間維持優異的性能。三星 QLED 透過導入量子點薄膜，成功實現該技術目標。

Lee 表示：「顯示器能否準確地將色彩再現，取決於薄膜是否能有效發揮量子點的光學特性。若要應用於商業市場，量子點薄膜必須同時具備高效率的光轉換與良好的透光性等多項關鍵條件。」



▲ Sanghyun Sohn

三星 QLED 顯示器所使用的量子點薄膜，是將量子點溶液添加於加熱至高溫的聚合物基材上，塗佈成薄層後再進行固化。此製程乍看之下簡單，實際上卻極為複雜。

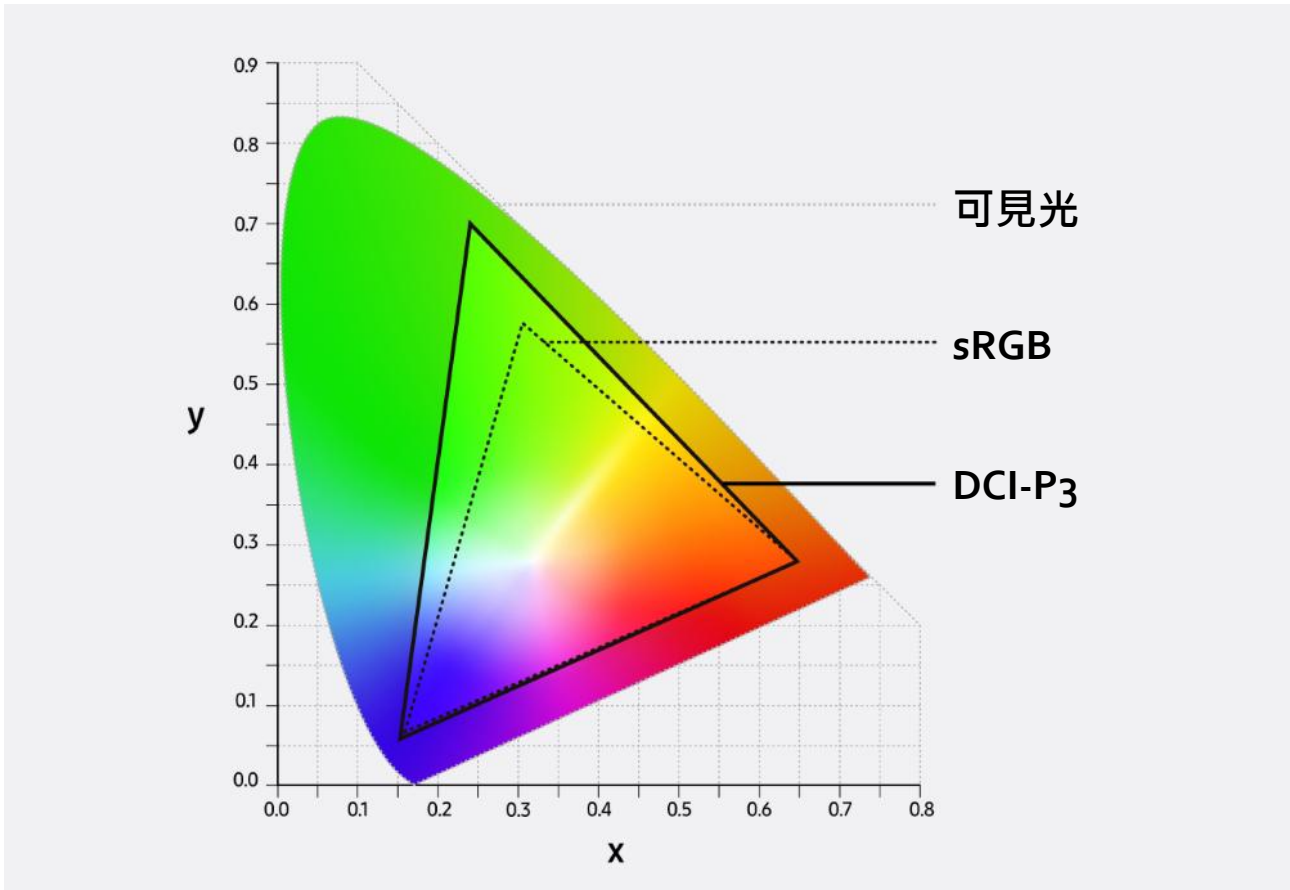
Sohn 表示：「這就如同嘗試將肉桂粉均勻混入黏稠的蜂蜜中，且不能產生結塊，並不是一件簡單的工作。為了使量子點能均勻分散於整片薄膜之中，須綜合考量材料選擇、結構設計與製程條件等多個關鍵環節。」

儘管面臨許多挑戰，三星電子仍持續突破技術限制。為了確保顯示器的長久耐用，三星電子研發出專為量子點特性優化的聚合物材料。

Sohn 補充：「透過成功開發能夠阻擋溼氣的阻隔薄膜，以及能使量子點均勻分散的聚合物材料，三星累積了深厚的量子點技術專業。藉由這些成果，三星得以大量生產，並有效降低成本。」

三星電子的量子點薄膜能精準呈現色彩、展現卓越的發光效率，且具備領先業界的耐用性，這些都歸功於這項先進製程。

Sohn 表示：「亮度通常以尼特 (nit) 為單位，一尼特約等於一根蠟燭的亮度。傳統 LED 的亮度約 500 尼特，而三星的量子點顯示器可達 2,000 尼特以上，相當於 2,000 根蠟燭的亮度，這是全新的影像品質等級。」



▲ 在 CIE 1931 色彩空間中可見光譜、sRGB 與 DCI-P3 的 RGB 色域比較

* CIE 1930：由國際照明委員會（CIE）於 1931 年制定的色彩系統，至今仍被廣泛使用。

* sRGB（標準 RGB）：由微軟與惠普於 1996 年共同制定，廣泛應用於顯示器與印表機的色彩空間。

* DCI-P3（Digital Cinema Initiatives - Protocol 3）：數位電影聯盟針對數位投影機所制定的色彩空間，廣泛應用於數位 HDR 影像內容。

三星電子運用量子點技術，大幅提升顯示器的亮度與色彩表現，帶來前所未有的視覺體驗。三星 QLED 智慧顯示器的色彩再現率已達 DCI-P3（Digital Cinema Initiatives - Protocol 3）色彩空間 90% 的以上，該標準亦為數位電影產業對色彩準確度的基準指標。

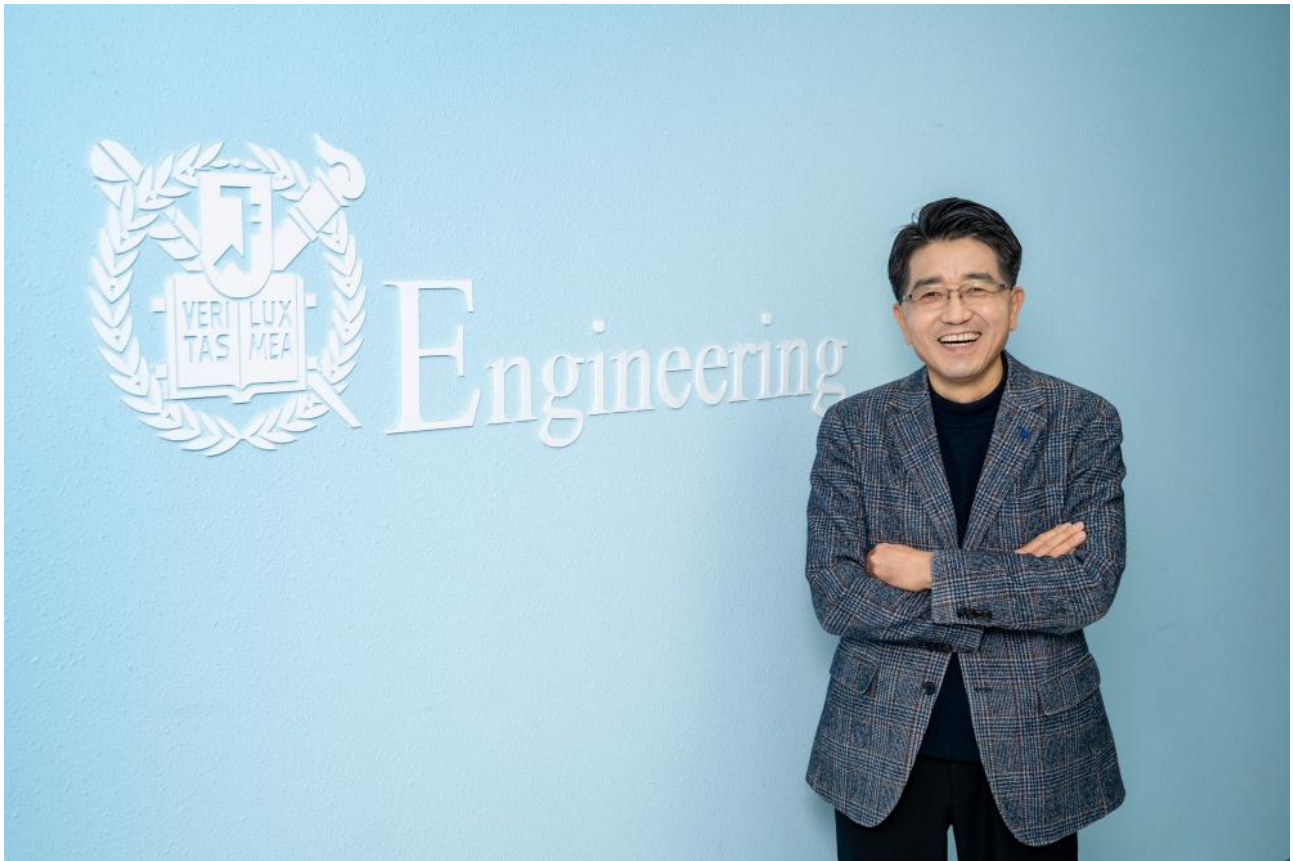
Lee 表示：「即使成功製造出量子點，仍須確保其具備長期穩定性，才能實際應用於各類技術領域。三星電子在磷化銦（InP）基礎上的量子點合成與薄膜製程技術領先業界，展現深厚的技術實力。」

真正的 QLED 顯示器使用量子點創造色彩

「量子點顯示器是否具備正規性，關鍵在於是否真正運用了量子侷限效應。」

- 首爾大學 Taeghwan Hyeon 教授

隨著量子點技術在產業中的關注度日益提升，市場上已出現各式相關產品。然而，並非所有標榜使用量子點的顯示器皆具相同顯示效果，量子點技術必須有效提升影像品質。



▲ Taeghwan Hyeon

Hyeon 表示：「量子點顯示器是否具備正規性，關鍵在於是否真正運用了量子侷限效應。最基本的前提，是必須以量子點作為色彩生成的核心技術。」

Lee 表示：「將量子點作為主要的光轉換或主動發光材料，才能稱之為真正的量子點顯示器。以光轉換型量子點為例，顯示器必須包含足量的量子點，才能有效吸收並轉換背光模組所發出的藍光。」



▲ Doh Chang Lee

Sohn 表示：「量子點薄膜必須含有足量的量子點，才能有效發揮其功能。三星 QLED 採用超過 3,000 ppm (百萬分率) 的量子點材料，其中紅光與綠光皆完全由量子點所產生。」





三星電子自 2001 年起投入量子點技術研發，並於 2015 年推出全球首款不含鎘的量子點顯示器 - SUHD 智慧顯示器，2017 年發表頂級 QLED 系列產品，進一步鞏固三星電子在量子點顯示器技術的領導地位。

本系列訪談的第二部分，三星新聞中心將繼續深入探討三星電子如何將量子點顯示器技術商業化，以及如何成功開發出諾貝爾化學獎得主認可的創新無鎘量子點材料。

註一：當半導體材料處於體態 (bulk state) 時，其能隙為材料所固有的特徵值，與粒徑大小無關。