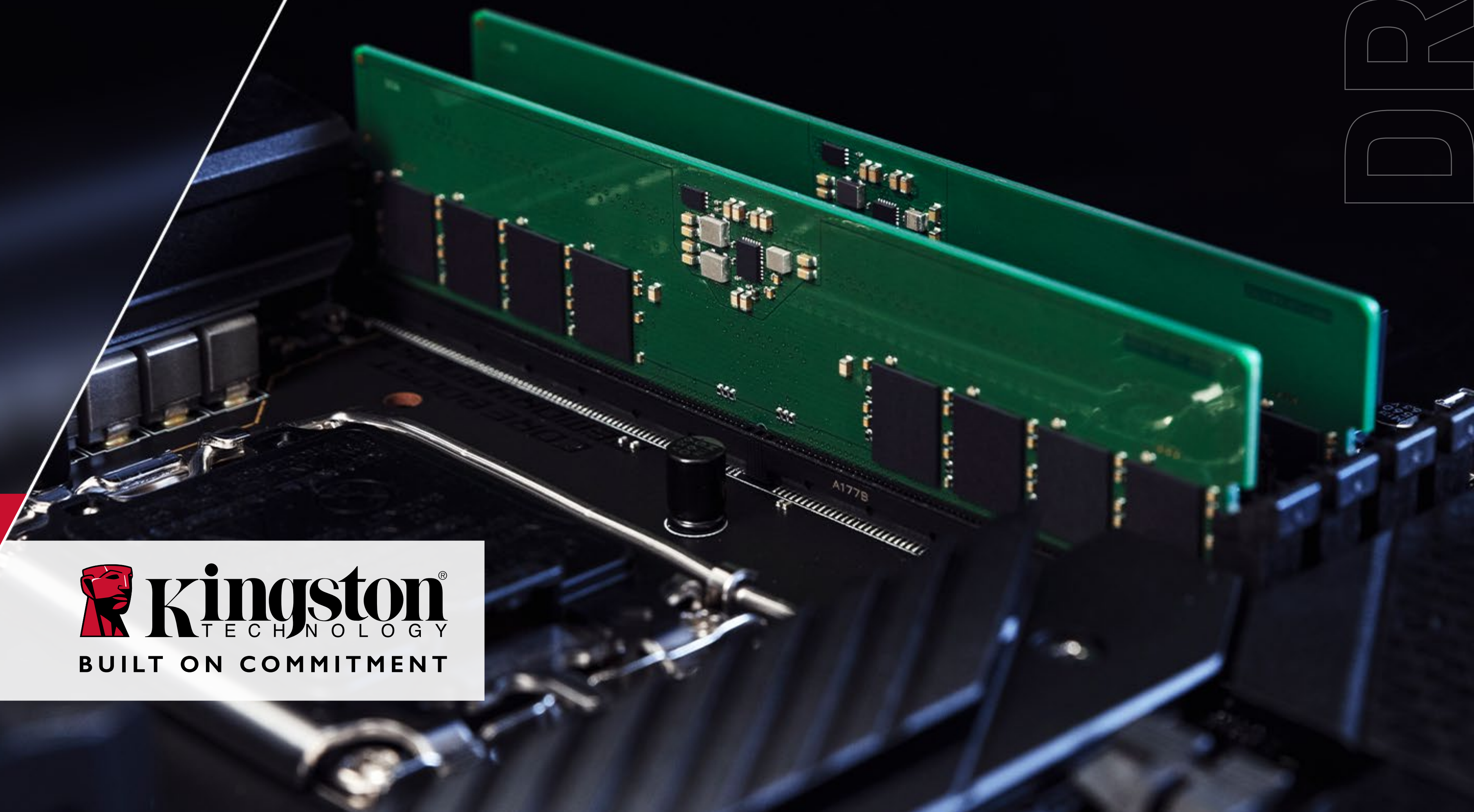


記憶體技術 的演進

DRAW



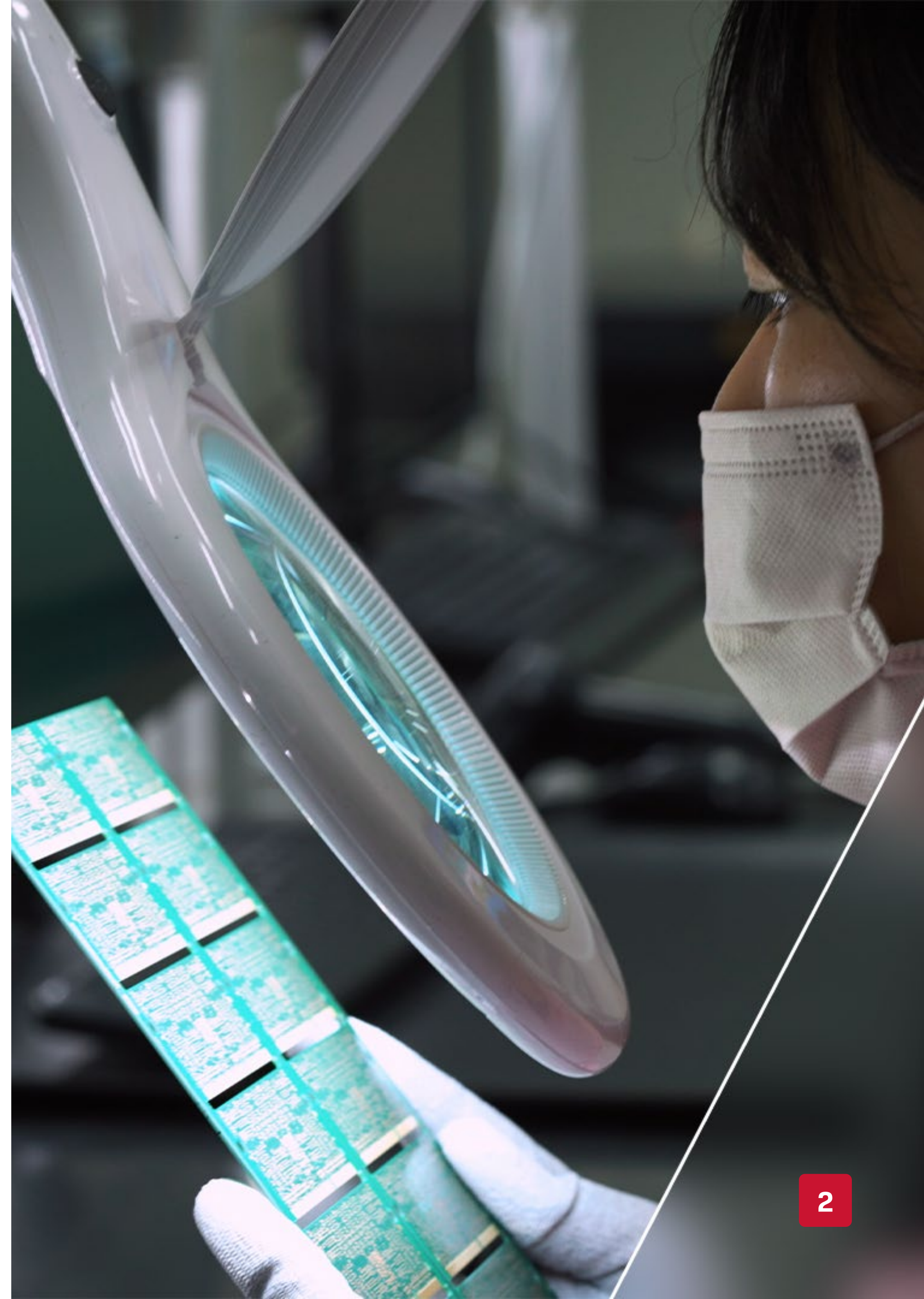
 **Kingston**[®]
TECHNOLOGY
BUILT ON COMMITMENT

前言與內容

動態隨機存取記憶體 (DRAM) 從快速頁模式 (FPM) 到同步 (SDRAM)，再到雙倍資料速率 (DDR SDRAM) (目前已發展到第五代 DDR5) 的演進，象徵著運算技術的重大進步，其驅動力源於對更高性能、更大頻寬以及更高能源效率的需求。在人工智慧應用的浪潮中，這類需求持續成長，DDR5 和 HBM (高頻寬記憶體 DRAM) 在資料中心和用戶端系統中獲得了巨大的吸引力。DDR SDRAM 被認為是半導體記憶體的主力，由於其低功耗和高效能，能夠將資料快速傳輸到處理器，因此在業界擁有獨特的地位。

根據業界專家指出，DRAM 作為核心記憶體技術仍然有極長遠的前景。不過到底是什麼原因讓這種記憶體類型如此擅長於符合現今企業在效能和架構上的需求呢？與桌上型電腦相比，某些類型的記憶體是否更適合用於伺服器呢？科技的演進方式以及科技的典型挑戰與使用案例為何？本電子書將在某些 Kingston 技術專家的協助之下解決這些問題並且探討 DRAM 的未來。

目錄	頁面
撰稿人	3
DRAM 的演進：從 FPM 到 DDR5 SDRAM	4
DRAM 類型和主要差異	5
延遲與速度的重要性	6
典型使用案例以及工作負載影響	7
DRAM 相容性問題與升級考量	8 - 9
克服 DRAM 製造挑戰	10
DRAM 發展：市場趨勢的影響	11
DRAM 技術的未來	12
摘要	13



撰稿人

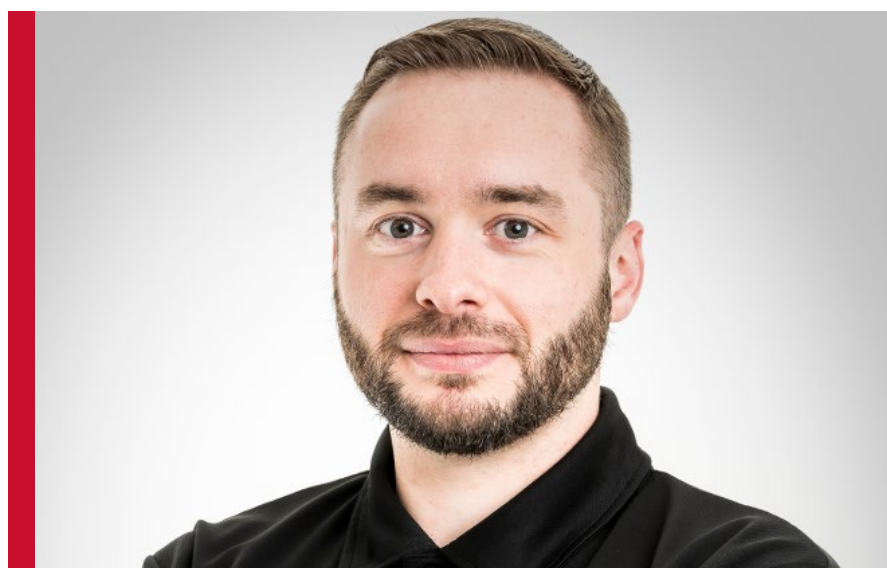
本電子書內容由兩位 Kingston 專家撰寫。



Mike Mohney | Kingston Technology

Mike Mohney 在位於加州芳泉谷的 Kingston Technology 擔任高級技術經理。他自 1996 年起加入 Kingston，在公司累積了超過 28 年的工作經驗。

Mike 的任職期間在管理和推進 Kingston 技術計劃方面發揮了重要作用，特別是在 DRAM 和記憶體解決方案領域。他的專業知識和領導能力為 Kingston 作為 DRAM 解決方案領先的協力製造商地位做出重大貢獻。



Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe

Geoffrey Petit 是 Kingston Technology Europe 的技術資源團隊負責人。他於 2016 年加入 Kingston 擔任技術支援工程師，為歐洲、中東和非洲地區的客戶提供售後技術支援，並且為公司同事和新進員工提供技術培訓並測試新產品。

Geoffrey 與其團隊的職責是為客戶以及針對業務經理、行銷、內部銷售團隊、客戶和關鍵人員的售前詢問提供技術支援。

DRAM 的演進：從 FPM 到 DDR5

到了 1980 年代中期，隨著 80486 處理器的問市，PC 革命也正如火如荼地展開。SIMM (單列直插式記憶體模組) 中的快速頁模式 (FPM) DRAM 是主要的記憶體技術。提高效能的需求導致 1990 年代初期 EDO (擴充資料輸出) DRAM 的發展，緊隨其後的是 SDRAM 和 DIMM (雙列直插式記憶體模組)，它們透過與 CPU 時脈維持一致以及保持單一資料速率以便更有效率地運作。2000 年，第一款 DDR (雙倍資料速率) SDRAM 問世，透過在時脈訊號上升和下降邊緣傳輸資料，將資料速率加倍。它也比其前身產品更加節能，每個模組的電壓從 3.3V 下降至 2.5V。DDR SDRAM 在業界標準機構 (JEDEC) 的精心規劃下持續發展，並且於 2003 年推出第二代 DDR (DDR2)。隨後在 2007 年推出 DDR3，然後在 2014 年推出 DDR4。每一代的儲存速度與儲存容量都有所提升，並且降低工作電壓，利用半導體晶圓光刻技術的改進和縮小記憶體單元。

將時間快轉到 2021 年，DDR5 SDRAM 正式推出，代表記憶體技術的重大進展。DDR5 首次推出時的速度為 4800MT/s，與 DDR4 的最終速度 3200MT/s 相比，頻寬增加了 50%。除了速度之外，DDR5 模組還整合了電源管理 IC (PMIC)，它有助於調節記憶體模組各個元件所需的功率，提供比先前幾代更好的功率分配，提高訊號完整性並降低雜訊。降低功耗的趨勢仍然持續，DDR5 僅需 1.1V 即可運作。同時還設計有關資料完整性的重大改進，例如晶片中 ECC (糾錯碼)，它可以捕獲並糾正 DRAM 元件內的位元錯誤，進而降低資料毀損的可能性。

“

除了主要的性能、功耗和密度改良以外，每一代產品還設計出許多其他功能。其中包括增強的糾錯技術、訊號完整性的改進、為防止硬體遭駭漏洞所新增的緩解措施，以及新的外觀尺寸。

Mike Mohny | Kingston Technology

”

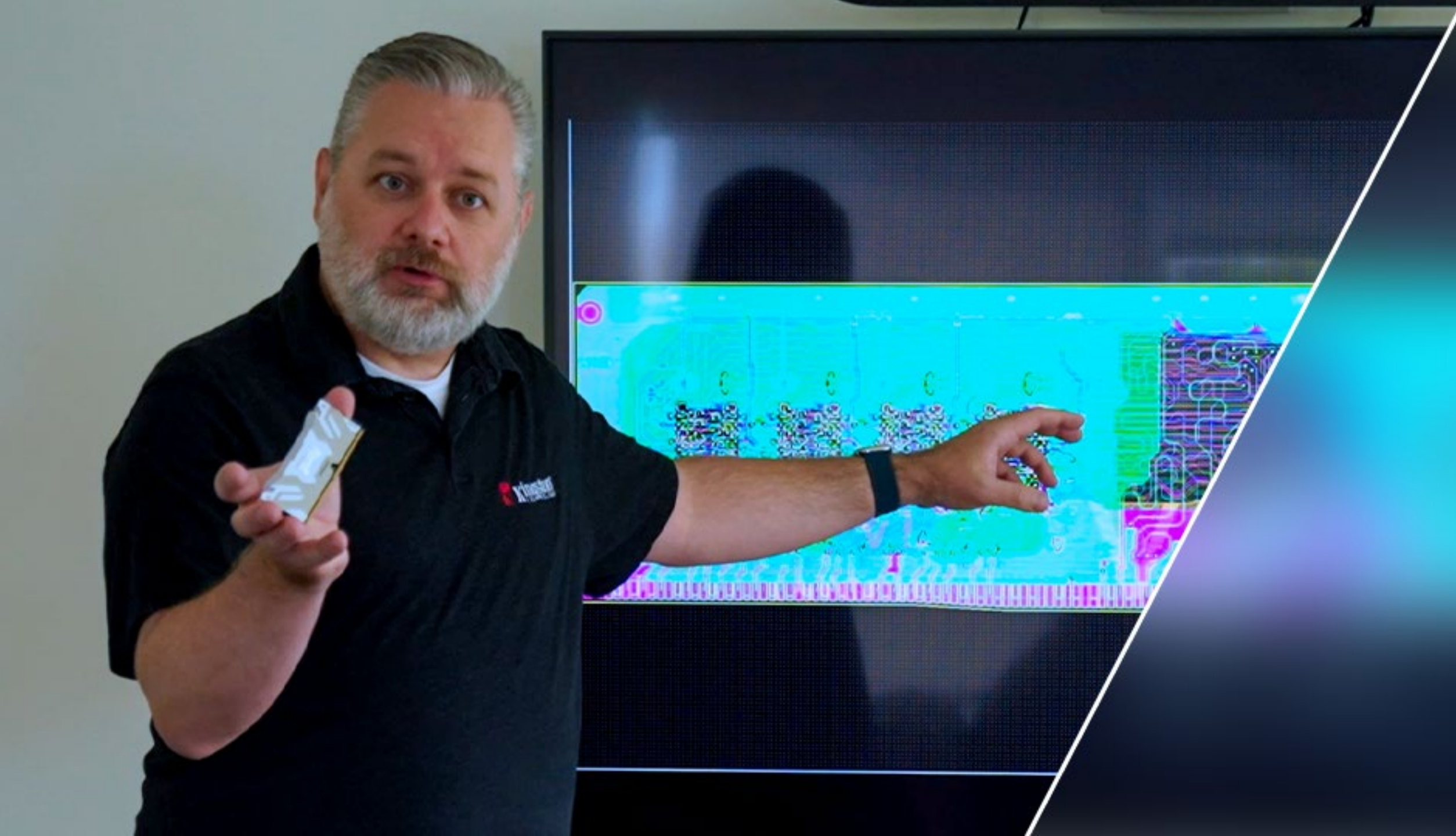
DDR5 自從推出以來已進行過四次計劃性提速，並且相繼獲得 Intel 和 AMD 平台的支援。以歷史來看，根據記憶體產業標準制定並由新晶片組啟用的預定節奏，記憶體速度每年都會提高一次。DDR5 跳過速度檔的部分原因是由於晶片組和處理器製造商的競爭，以及對高效能記憶體的需求以便處理人工智慧等記憶體頻寬密集型應用。

“

現在可以實現更高的密度，這表示可以在單一模組上實現更多記憶體容量，這對於伺服器和高效能運算而言至關重要。

Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe

”



DRAM 模組類型和主要差異

JEDEC 行業標準機構不僅定義 DRAM 記憶體規範，同時還制定 DRAM 所駐留的外觀尺寸，以適應各種運算平台與環境。

無緩衝模組，例如無緩衝 DIMM (UDIMM) 和無緩衝小外形 DIMM (SODIMM) 是最常見用於消費者桌上型電腦以及筆記型電腦的記憶體模組類型。

新增可支援糾錯碼 (ECC) 的 DRAM 元件，使得 ECCUDIMM 和 ECCSODIMM 能夠支援主流工作站級系統。這些為記憶體密集型應用程式提供關鍵的資料完整性支援。

對於單處理器或多處理器伺服器，ECC Registered DIMM (RDIMM) 在模組上具有暫存器元件，用於緩衝 DRAM 和記憶體控制器之間的資料。這在需要大量記憶體同時資料可靠性極為關鍵的環境中至關重要。

低負載 DIMM (LRDIMM) 具有資料緩衝區，以減少記憶體控制器上的負載，否則會降低記憶體速度來進行補償。LRDIMM 技術可在不犧牲效能的情況下實現大容量模組，並且於 2012 年首次針對 DDR3 推出，然後於 2014 年針對 DDR4 進行改善。

低功耗 DDR (LPDDR) 於 2006 年進入市場，作為行動裝置節省電池電量的解決方案。儘管 LPDDR5 通常會直接安裝在主機板上，但是自 2024 年以來，LPDDR5 也可以在 CAMM2 (壓縮附加記憶體模組) 外觀尺寸上使用，為製造商提供可在筆記型電腦或小型 PC 中使用的模組化解決方案。

除了 DDR SDRAM 之外，成長最快速的記憶體類別是高頻寬記憶體 (HBM)，此記憶體是 AMD 於 2008 年所開發，旨在滿足對高效能和大容量記憶體不斷增加的需求，以支援具有較低功耗要求的 GPU。HBM 使用高速介面來管理單晶片封裝內的 SDRAM 層 3D 堆疊。這提供廣泛 (128 位元以上) 可定址記憶體存取，並且以顯示卡、封裝處理器記憶體和 AI 加速卡為明確目標。

“

過去十年來，HBM 經過連續幾代的演進，增加了對更多層中的更高記憶體儲存容量、頻寬更寬的資料匯流排，以及更高效能的傳輸量等支援：也就是說，HBM 記憶體目前尚未用於記憶體模組，同時也不被認為是 DDR DRAM 的可行替代技術，無法降低每 GB 的價格。

Mike Mohny | Kingston Technology

”

延遲與速度的重要性

延遲和速度是由記憶體產業標準機構 (JEDEC) 所定義，作為效能指標的兩個關鍵屬性。

“

在運算方面，有許多不同類型的應用程式可能會利用某個硬體(而非其他硬體)來完成其工作負載。受記憶體限制的應用程式將因為高效能記憶體速度和較低延遲所受益，這與那些以儲存裝置或 GPU 為中心的應用程式不同。

Mike Mohny | Kingston Technology

”

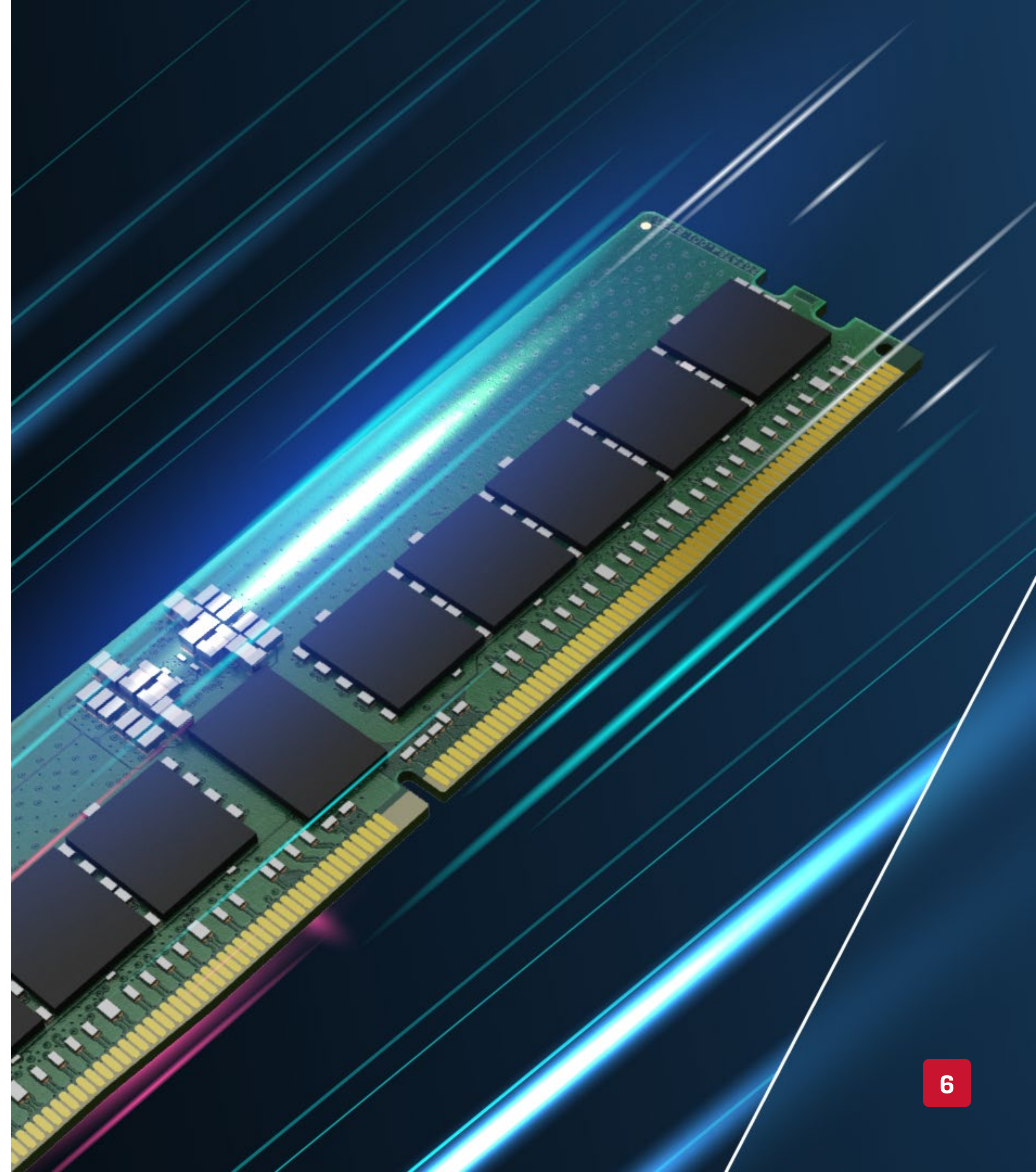
JEDEC 為每一種新的記憶體技術指定了標準速度和時序，記憶體製造商、處理器與晶片組設計者，以及主機板和系統製造商皆依據這些標準來確保一致性。隨著業界標準記憶體速度的提升，延遲也會增加。這通常會是一個爭議點，使用者會誤以為增加 CAS 延遲時序會抵消更快的標準速度。然而，總延遲時間是速度和時序的組合，是衡量記憶體效能 (以奈秒為單位) 更為準確的方法。這裡指的是處理器從記憶體收到資料所需的時間。

“

每當提到對運算任務的影響，無緩衝記憶體非常適合需要快速回應時間的桌上型電腦和工作站。伺服器級記憶體 (例如暫存器和低負載 DIMM) 在穩定性、糾錯以及處理大型資料集方面比延遲更重要的資料中心中有優異的表現。

Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe

”





典型使用案例以及工作負載影響

終端使用者與資料中心架構師會根據其應用程式和工作負載需求選擇平台。反過來說，應用程式對於記憶體容量和效能的需求則決定了所選擇與配置的模組類型。

在記憶體產業，我們會針對用戶端 (又稱 PC) 和伺服器類別的元件和模組外觀尺寸進行區分。用戶端類別系統包括使用業界標準的非 ECC 記憶體 (採用無緩衝 DIMM (UDIMM/CUDIMM)、SODIMM/CSODIMM 和 CAMM2 外觀尺寸) 的桌上型電腦和筆記型電腦。同時，伺服器級系統 (包括桌上型工作站和行動工作站) 會使用支援 ECC (糾錯碼) 的記憶體模組。

消費性設備偏好無緩衝記憶體的簡單性與速度。桌上型電腦和筆記型電腦並非針對全天 24 小時運作所設計，在不使用時通常會關閉。這些系統中的應用程式和工作負載類型也不會跟伺服器一樣需要提高記憶體元件的容差，因此不需要 ECC 支援。

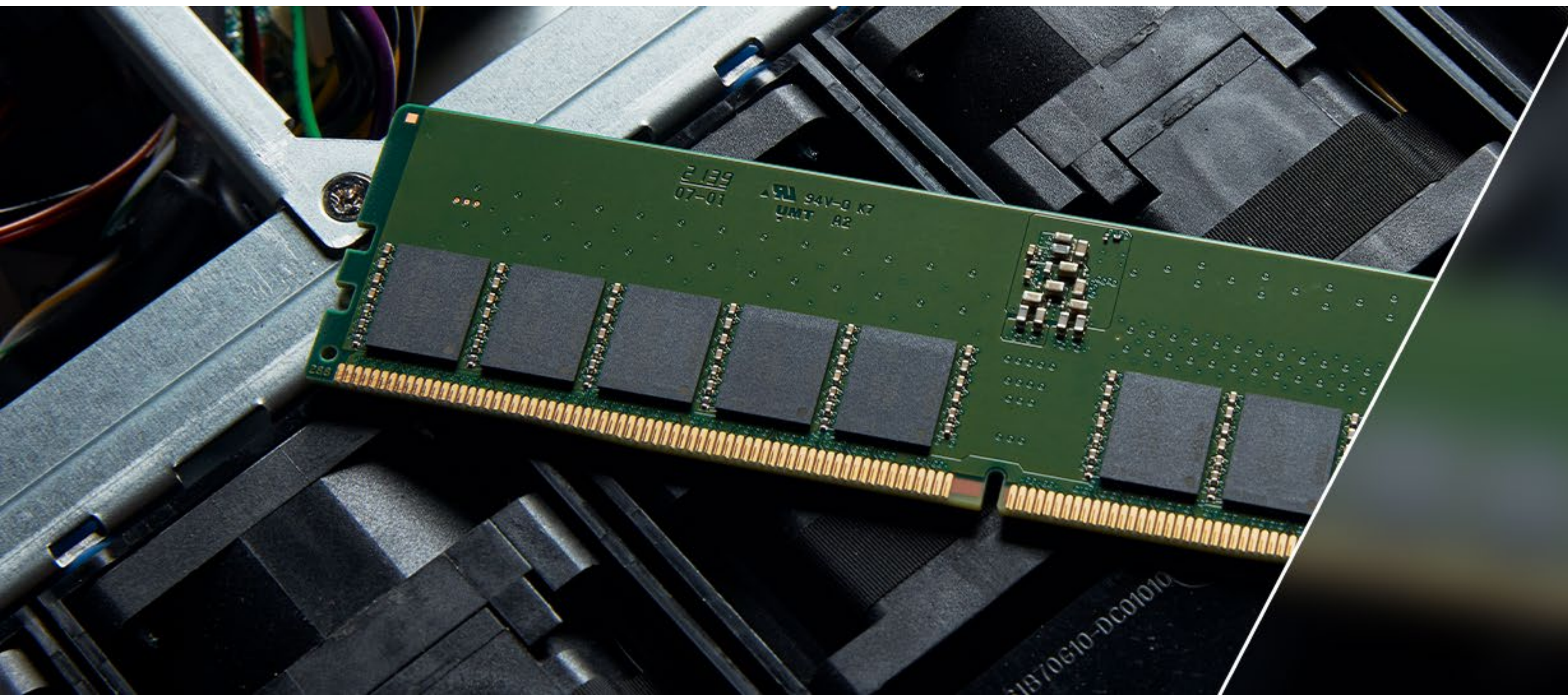
另一方面，較為複雜的系統 (例如設計為始終開啟的伺服器和高效能工作站) 將會因為 ECC Registered (RDIMM) 和低負載 DIMM (LRDIMM) 提供的更高穩定性和可靠性所受益。ECC 類別模組支援損壞資料的糾錯，防止伺服器當機或遺失關鍵資訊。這些模組還採用更高等級的 DRAM 元件、通過更高容差測試並且具有更低的故障率。

DRAM 相容性問題與升級考量

除了使用案例、應用程式和工作負載考慮因素之外，在評估記憶體選項時，品牌聲譽的重要性可說不言而喻。一般來說，如果記憶體公司針對測試基礎設施進行投資，利用晶片組架構師 (如 Intel 和 AMD) 驗證其記憶體設計，並與主機板和系統製造商合作執行記憶體資格認證，那麼這些公司遇到的相容性問題就會較少。英特爾 (Intel)、AMD、主機板製造商、主要系統品牌以及記憶體製造商之間存在著強大的制約與平衡生態系統。但並非所有記憶體模組供應商都參與其中。

安裝不相容的 DRAM 可能會使得系統無法開機。升級或更換記憶體時，在購買新記憶體前請務必查閱主機板手冊或製造商網站，並且考慮以下情況：

1. **主機板支援**：驗證主機板支援哪些特定記憶體技術和模組類型 (例如 DDR4、DDR5、RDIMM 與 UDIMM)。
2. **速度**：符合或超過目前 DRAM 的速度以避免效能問題。在 DDR 世代產品中，速度通常具有向下相容性。因此，如果購買了標準型 3200MT/s 零件，可以安全地在需要 2666MT/s 的系統上運作。
3. **儲存容量**：選擇相同的成對或群組安裝模組，與主機板架構相符合，並且始終嘗試超額配置容量以符合未來的記憶體需求。
4. **混合 DRAM 模組**：在成對或群組中混合使用不同的 DRAM 類型 (寬度、密度、品牌) 可能會導致不穩定。根據主機板的記憶體架構安裝相同的模組對或模組群組中能夠減少出現問題的可能性。
5. **糾正錯誤**：如果將 ECC 無緩衝模組安裝至用戶端或主流工作站中，請務必驗證主機板和處理器型號支援 ECC 功能。



例如，DDR4 RDIMM 和 LRDIMM 使用與無緩衝 DIMM 相同的模組插槽 (樁口)。當插入桌上型類別系統時，RDIMM 和 LRDIMM 將無法運作。DRAM 元件寬度和密度也會影響相容性，因為某些晶片組無法與特定 DRAM 寬度或高密度搭配使用。

Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe

DRAM 相容性問題與升級考量

記憶體產業不斷發展，為下一代的需求而設計，同時謹記現今與過去的電腦需求。因此，對於記憶體模組製造商來說，維護可回溯至過去數代電腦平台的廣泛記錄可說相當重要。

“

在舊系統上測試新的記憶體元件(也稱為回歸測試)是一些記憶體模組製造商為降低成本而省略的一個非常重要的步驟。這個領域也經常暴露出相容性問題。

Mike Mohny | Kingston Technology

”

維護廣泛的系統相容性資料庫也是預防問題的關鍵。作為全球唯一主動維護 40,000 多個電腦系統資料庫存檔的記憶體模組供應商之一，Kingston 工程師可以更準確地指出哪些記憶體升級選項與全球市場上數千種目前與傳統電腦型號相容。Intel 和 AMD 的晶片組和各代處理器之間經常存在細微差別，同時在某些情況下會刻意不告知使用者。Kingston 的目標是分享所需的技術見解，幫助使用者了解如何為其電腦選擇最佳與最相容的選項。

“

當元件未經晶片組或 BIOS 審查或最佳化時，可能會出現相容性問題。常見的相容性問題也可能是系統中使用了不受支援的 DRAM 配置或模組類型。

Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe

”

克服 DRAM 製造挑戰

儘管倘若處理不當，相容性可能會成為一個問題，但這並非是唯一的挑戰。設計複雜性、組裝精度和品質控制都是 DRAM 製造面臨的主要挑戰。作為領先的 DRAM 模組協力製造商，這些挑戰正是 Kingston 面臨的挑戰。然而，每個挑戰都有自己的解決方案：

那麼，讓我們從如何設計記憶體解決方案開始。

- » **設計複雜度：**我們所設計的每種 DRAM 模組類型都有獨特的功能，無論是 DDR4 與 DDR5、無緩衝還是暫存器等等，這也增加了設計的複雜性。此時需要先進的工程和精確整合以確保可靠性和性能。
- » **解決方案：**為了解決這個問題，我們採用專門的設計軟體和嚴格的測試協議，確保每種記憶體類型都能按預期運作而不會出現錯誤。

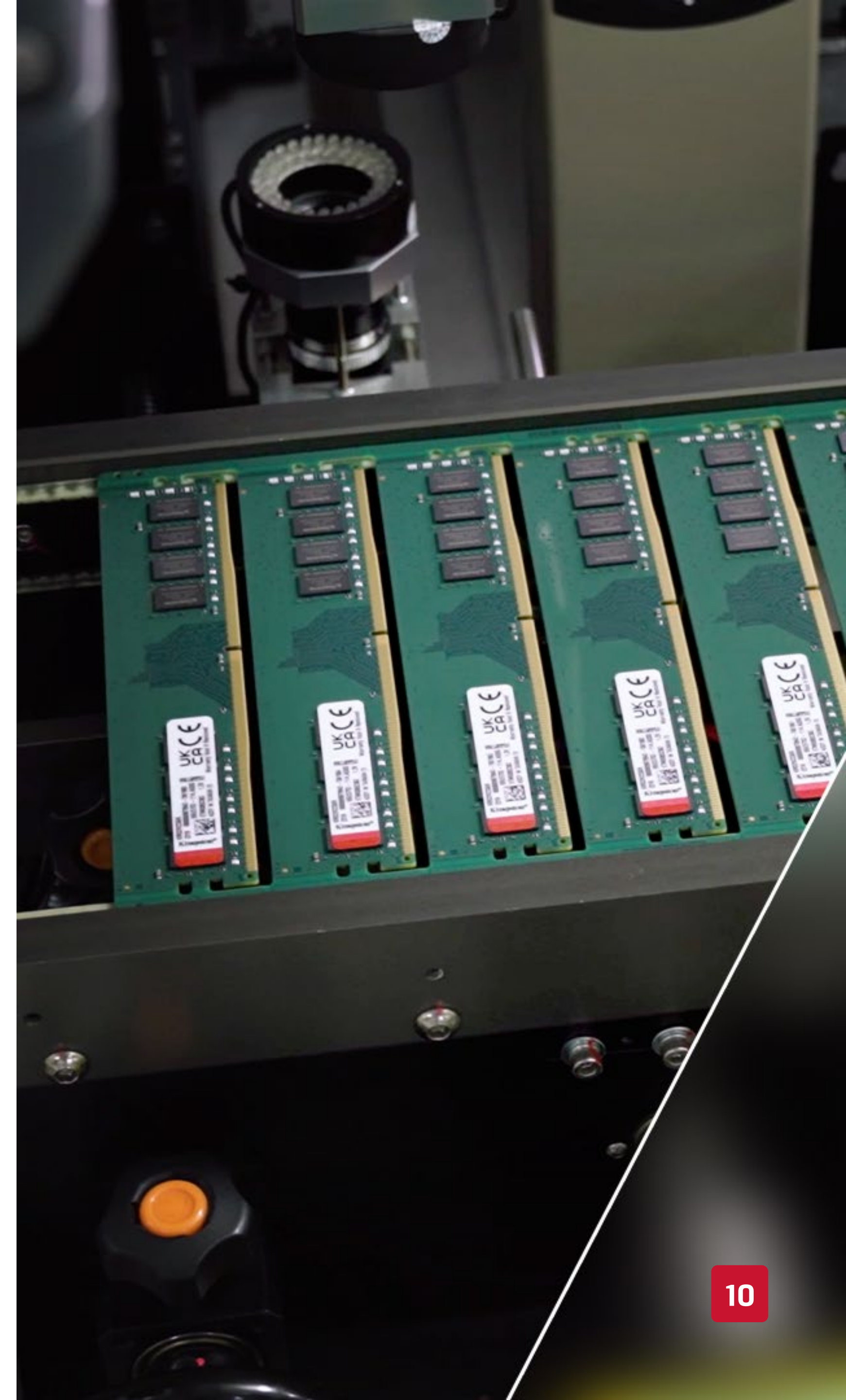
接著我們會與領先的 DRAM 半導體廠商合作。

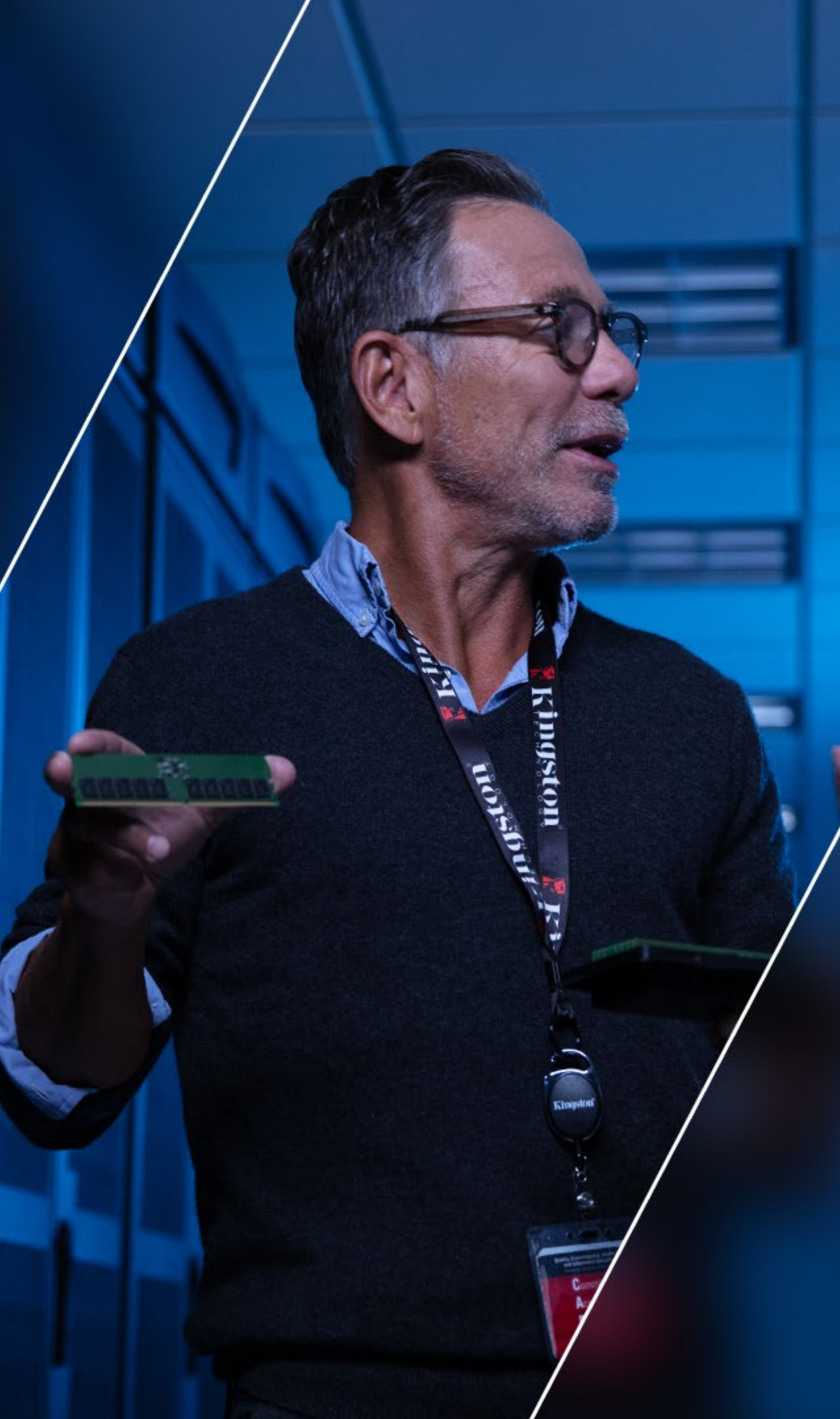
- » **加工精確度：**DRAM 晶片是由半導體採用奈米級製程生產的，即使是微小的變化也可能導致瑕疵，影響產量和性能。
- » **解決方案：**Kingston 專門與能夠保證高水準性能和可靠性的半導體廠商合作。這些半導體使用尖端的光刻技術和無塵室環境將瑕疵情況減至最低，確保生產過程中的高精度和一致性。如果他們不能符合這些要求，我們就不會與其合作。

接下來是我們建置和測試 DRAM 模組的方式。

- » **品質管制：**組裝後，我們所有的 DRAM 外觀尺寸都必須符合嚴格的效能和可靠性標準。
- » **解決方案：**針對各種條件所進行的廣泛測試 (包括溫度和壓力測試) 有助於找出與排除故障單元，確保只有可靠的記憶體才能進入市場。

憑藉先進的技術和嚴格的品質保證，Kingston 生產出適合各種運算需求的高效能、可靠的 DRAM 解決方案。我們藉由與 Intel 和 AMD 密切合作進一步獲得參考平台，協助我們開發新的記憶體技術，並且為我們在生產測試能力所需的進步做好準備。我們的生產環境不斷進行硬體和軟體升級，以支援新的記憶體速度、新的儲存容量，並提高生產模組的品質。





DRAM 發展：市場趨勢的影響

在影響不同類型 DRAM 記憶體的开发和採用時，市場趨勢是由不斷變化的技術需求所帶動，而消費者行為則扮演關鍵角色。效能、效率和可擴充性都是影響開發和採用的關鍵因素。

回顧過去，從前幾十年的運算和工作負載需求對開發的記憶體類型產生影響。2000 年代中期，記憶體產業開始轉為提供能夠節省行動空間和資料中心整體功耗的記憶體技術。2010 年代中期，虛擬化推動了對更高容量模組的需求。當時，由於晶片組限制而導致高容量模組的效能損失，最終導致針對 DDR3 和 DDR4 開發出低負載 DIMM。

如今，人工智慧、遊戲和大數據分析等產業不斷發展，對高速、大容量記憶體的需求也越來越大。如此也推動高階 DRAM 模組類型的開發，例如多重存取雙列直插式記憶體模組 (MRDIMM)，以滿足這些效能需求。對更輕薄型裝置的推動也影響緊湊而高效的記憶體解決方案的採用 (例如 CAMM2)，它為製造商提供了符合成本效益的模組化解決方案，以取代 DRAM-down 或多個 SODIMM (這些解決方案實際上無法安裝至 Ultrabook 等級的筆記型電腦或平板電腦)。

將記憶體容量擴展到傳統 DIMM 插槽之外的能力則是另一個快速發展的領域。

“

人工智慧的效能需求是推動建立可擴充、高容量和高效能記憶體 (例如 MRDIMM) 的另一個關鍵驅動因素，專門能夠解決高容量記憶體效能遇到的瓶頸。

Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe

”

以上只是記憶體產業如何適應市場趨勢的幾個例子，這些例子展現我們的生態系統和標準機構如何隨時準備好應對未來記憶體需求的挑戰。

“

對基礎設施的投資，以及擴充支援下一代記憶體技術正在進行中。記憶體速度逐年增加，因此在發佈前就必須擁有下一代平台，這對於在新系統上市時提高產量以支援全球需求至關重要。

Mike Mohny | Kingston Technology

”

UDIMM
CUDIMM
SODIMM
CSODIMM
CMM2
RDIMM
LRDIMM



“
包括 CMM2、CUDIMM 和 CXL 等種種進展，
預示著未來記憶體技術將在各種應用和產業中
推動更快、更有效率、更靈活的運算系統。
Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe
”

DRAM 技術的未來

展望未來，記憶體產業將持續針對市場需求進行調整和規劃。DRAM 技術的未來發展重點是提高速度、降低功耗和增加密度，以滿足人工智慧、大數據和雲端運算等先進應用的需求。此外，現今記憶體技術與外觀尺寸所面臨的挑戰已經影響 JEDEC 開發的下一代 DDR 規格，也就是 DDR6。由於其規格將於 2027 年最終確定，DDR6 可能會專注於更高的效能，與 DDR5 相比，在資料速率線性方面有顯著增加，同時資料匯流排也更寬。

在此之前，DDR5 將繼續提高速度並用於新的外觀尺寸。其中包括 CMM2，預計它將成為行動裝置和小型系統的主要模組解決方案。薄型 CMM2 可以有效取代傳統筆記型電腦中的兩個 SODIMM，透過使用模組化記憶體解決方案 (而不是直接安裝到主機板上的獨立 DRAM 元件) 為製造商節省大量成本。一些主機板製造商甚至展示可用於傳統桌上型電腦的 CMM2。作為 Dell 在原始 CMM 設計獲得認證的記憶體供應商，Kingston 的策略定位為支援 CMM2 革命，並已投入製造和測試這種新外形的基礎設施與投資。請持續關注 Kingston 網站，了解我們預計將於 2025 年上半年推出的 CMM2 解決方案。

CUDIMM 是另一種新型 DRAM 模組，它在 6400MT/s DDR5 開始的無緩衝 DIMM 上整合了時脈驅動器。此元件可重新驅動來自模組中處理器的時脈訊號，增強訊號完整性並減少因雜訊和抖動而導致的錯誤發生率，這些錯誤在較高速度的情況下可能會形成問題。

然後是 Compute Express Link (簡稱 CXL)，這是另一個處於早期階段的新 DRAM 類別。CXL 是一種在 PCI Express 匯流排上運作的開放標準協議，與用於儲存裝置的 NVMe 極為類似。CXL 產品的首要關注點是記憶體擴充器，它在各種外觀尺寸上利用 DRAM (DDR4、DDR5、HBM) 以增加記憶體容量並擴充伺服器的可用記憶體池。

摘要

隨著人工智慧的興起，記憶體設計師正在努力跟上它的腳步。作為半導體記憶體的支柱，DDR SDRAM 正以其大容量和向處理器快速傳輸資料的特性持續發展。透過投資和嚴格的品質控制解決關鍵的相容性和製造挑戰，製造商可以生產出適合不同運算需求，並且具有可靠及高效能特性的記憶體。為符合您所在環境的特定要求，Kingston 專家隨時為您提供支援，協助因應持續發展的晶片組、處理器世代和最佳化記憶體配置的複雜性。

建立在承諾的基石之上

從大數據到物聯網設備，包括筆記型電腦、個人電腦和穿戴式技術，Kingston 科技致力於提供頂級產品解決方案、服務和支援。我們深受領先的 PC 製造商以及全球雲端供應商所信賴，並且重視協助我們發展與創新的長期合作夥伴關係。我們透過優先考慮品質和客戶服務，確保每個解決方案都符合最高標準。我們在每個步驟都會傾聽、學習並與客戶和合作夥伴互動，提供足以產生持久影響的解決方案。

©2024 Kingston Technology Far East Corp. (Asia Headquarters), No. 1-5, Li-Hsin Rd. 1, Science Park, Hsin Chu, Taiwan
版權所有，保留所有權利。所有商標及註冊商標係屬於各自所有者之智慧財產權。



Kingston[®]
TECHNOLOGY
BUILT ON COMMITMENT

建立在承諾的基石之上

