先進電晶體技術與發展趨勢

2024/04/23

先進電晶體技術與發展趨勢

劉俊為 /明陽通訊股份
胡志豪/光學工業工程研究所

隨著機械手臂的日益成熟，電晶體的技術進步扮演 Moore's Law的關鍵角色。為了因應未來需求，製程技術的進步，無疑是一個重要的關鍵。本文將介紹目前主流的電晶體技術，包括平面式(Planar)電晶體技術、鰭式電晶體技術(FinFET)、閘極環繞技術(GAA)、奈米片(Nanosheet)電晶體技術、奈米線(Nanowire)電晶體技術、互補式場效電晶體(CFET)技術、二維材料電晶體技術(2D Material)、以及未來的發展趨勢。

平面式電晶體技術(Planar)是目前最成熟的電晶體技術，其特點是在平面上製造電晶體，通過在平面上進行摻雜和蝕刻來形成電晶體的源極、汲極和閘極。平面式電晶體技術的優點是製程簡單、成本低廉，但隨著尺寸的縮小，平面式電晶體技術面臨漏電流增加、閘極控制能力減弱等挑戰。

鰭式電晶體技術(FinFET)是一種三維結構的電晶體技術，其特點是在矽基板上形成一個鰭狀的通道，閘極環繞在鰭狀通道的三個面上，以提高閘極控制能力。FinFET技術的優點是能夠有效減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。FinFET技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。

閘極環繞技術(GAA)是一種更進一步的電晶體技術，其特點是閘極完全環繞通道，以提高閘極控制能力。GAA技術的優點是能夠進一步減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。GAA技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。

奈米片(Nanosheet)電晶體技術是一種基於GAA技術的電晶體技術，其特點是通過在矽基板上形成多層奈米片，以提高電晶體的性能和穩定性。奈米片技術的優點是能夠進一步減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。奈米片技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。

奈米線(Nanowire)電晶體技術是一種基於GAA技術的電晶體技術，其特點是通過在矽基板上形成多根奈米線，以提高電晶體的性能和穩定性。奈米線技術的優點是能夠進一步減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。奈米線技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。

互補式場效電晶體技術(CFET)是一種新穎的電晶體技術，其特點是通過在矽基板上形成n型和p型電晶體，以提高電晶體的性能和穩定性。CFET技術的優點是能夠有效減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。CFET技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。

二維材料電晶體技術(2D Material)是一種新穎的電晶體技術，其特點是通過在矽基板上形成二維材料，以提高電晶體的性能和穩定性。二維材料技術的優點是能夠有效減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。二維材料技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。

未來的發展趨勢包括更小尺寸的電晶體技術、更高效的電晶體技術、更穩定的電晶體技術、以及更環保的電晶體技術。更小尺寸的電晶體技術是未來的發展趨勢，因為隨著尺寸的縮小，電晶體的性能和穩定性將會提高，但同時也會面臨挑戰。更高效的電晶體技術是未來的發展趨勢，因為隨著電晶體的尺寸縮小，電晶體的功耗將會減少，但同時也會面臨挑戰。更穩定的電晶體技術是未來的發展趨勢，因為隨著電晶體的尺寸縮小，電晶體的穩定性將會提高，但同時也會面臨挑戰。更環保的電晶體技術是未來的發展趨勢，因為隨著電晶體的尺寸縮小，電晶體的環保性將會提高，但同時也會面臨挑戰。

圖 1. 電晶體的FinFET(Gate length, Fin pitch,Fin height,Fin width)

圖 2. 平面電晶體與鰭式電晶體(Planar vs FinFET)電晶體的Gate Length比較(Technology Node)

圖 3. 三閘電晶體(Tri-gate)與鰭式電晶體(Technology Node)比較

從上述資料顯示，電晶體技術的進步扮演Moore's Law的關鍵角色。平面式電晶體技術(Planar)是目前最成熟的電晶體技術，其特點是在平面上製造電晶體，通過在平面上進行摻雜和蝕刻來形成電晶體的源極、汲極和閘極。平面式電晶體技術的優點是製程簡單、成本低廉，但隨著尺寸的縮小，平面式電晶體技術面臨漏電流增加、閘極控制能力減弱等挑戰。鰭式電晶體技術(FinFET)是一種三維結構的電晶體技術，其特點是在矽基板上形成一個鰭狀的通道，閘極環繞在鰭狀通道的三個面上，以提高閘極控制能力。FinFET技術的優點是能夠有效減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。FinFET技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。閘極環繞技術(GAA)是一種更進一步的電晶體技術，其特點是閘極完全環繞通道，以提高閘極控制能力。GAA技術的優點是能夠進一步減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。GAA技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。奈米片(Nanosheet)電晶體技術是一種基於GAA技術的電晶體技術，其特點是通過在矽基板上形成多層奈米片，以提高電晶體的性能和穩定性。奈米片技術的優點是能夠進一步減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。奈米片技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。奈米線(Nanowire)電晶體技術是一種基於GAA技術的電晶體技術，其特點是通過在矽基板上形成多根奈米線，以提高電晶體的性能和穩定性。奈米線技術的優點是能夠進一步減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。奈米線技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。互補式場效電晶體技術(CFET)是一種新穎的電晶體技術，其特點是通過在矽基板上形成n型和p型電晶體，以提高電晶體的性能和穩定性。CFET技術的優點是能夠有效減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。CFET技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。二維材料電晶體技術(2D Material)是一種新穎的電晶體技術，其特點是通過在矽基板上形成二維材料，以提高電晶體的性能和穩定性。二維材料技術的優點是能夠有效減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。二維材料技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。未來的發展趨勢包括更小尺寸的電晶體技術、更高效的電晶體技術、更穩定的電晶體技術、以及更環保的電晶體技術。更小尺寸的電晶體技術是未來的發展趨勢，因為隨著尺寸的縮小，電晶體的性能和穩定性將會提高，但同時也會面臨挑戰。更高效的電晶體技術是未來的發展趨勢，因為隨著電晶體的尺寸縮小，電晶體的功耗將會減少，但同時也會面臨挑戰。更穩定的電晶體技術是未來的發展趨勢，因為隨著電晶體的尺寸縮小，電晶體的穩定性將會提高，但同時也會面臨挑戰。更環保的電晶體技術是未來的發展趨勢，因為隨著電晶體的尺寸縮小，電晶體的環保性將會提高，但同時也會面臨挑戰。

圖 4. 3nm以下電晶體技術(Potential scaling strategy)

圖 5. 3nm以下電晶體技術之Gate Length比較(Technology Node)

圖 6. 3nm以下電晶體技術之Fin pitch比較(Technology Node)

圖 7. 3nm以下電晶體技術之Fin height比較(Technology Node)

圖 8. 3nm以下電晶體技術之Fin width比較(Technology Node)

為了解決目前技術的挑戰(Challenges)下提供更大的電晶體密度，3nm以下的電晶體技術(Technology Node)，目前處於先進製程的發展階段，其特點是在矽基板上形成多層奈米片，以提高電晶體的性能和穩定性。奈米片技術的優點是能夠進一步減少漏電流，提高電晶體的性能和穩定性。奈米片技術的缺點是製程複雜，成本較高，且在尺寸縮小到一定程度後，仍面臨挑戰。目前