



圖 3-16 Deal triangle（笛爾三角形）：固定氧化層電荷密度與氧化溫度和回火的關係（顯示的數值是針對<111>晶向的材料）。

第一， Q_f 的量隨著氧化溫度的增加而以接近線性的方式降低。但對溼氧化而言， Q_f 的量隨氧化溫度升高而減少的速率比乾氧化來得慢。第二，雖如上一點所言， Q_f 與氧化方式和氧化溫度有很大的關係，但必須強調最終的氧化條件才是最重要的。例如，一個矽晶圓先於 1000°C 下，以溼氧化的方式進行 1 小時，然後接著以乾氧化的方式在 1200°C 下達到穩態（假設需 5 分鐘），則最終的 Q_f 值等於乾氧化於 1200°C 時對應的 Q_f 值。這是因為在氧化過程中，氧化劑必須穿透過 SiO_2 與底下的矽反應生成新的二氧化矽，所以愈後面形成的氧化層愈靠近 SiO_2/Si 界面，也就支配 Q_f 的量。第三，由以上兩點可推知氧化終止時之降溫速率亦會影響 Q_f 的量。愈快的降溫速率會有愈小的 Q_f 值，因為快速降溫可避免在低溫下氧化（由第一點可知較低的氧化溫度有較高的 Q_f 值）。第四，圖 3-16 亦顯示經由在 Ar 或 N_2 的環境中回火可降低 Q_f 至 1200°C 下乾氧化的值。換言之，不論氧化條件如何，在氧化製程之後，基本上可藉由在鈍性氣體的環境中施行高溫回火（約 $900\sim 1100^{\circ}\text{C}$ ）來降低 Q_f 值。最後，圖 3-16 中所顯示的 Q_f 值是針對<111>方向的矽晶圓；若是使用<100>方向的矽晶圓，則 Q_f 值比圖中數值至少小三倍以上。