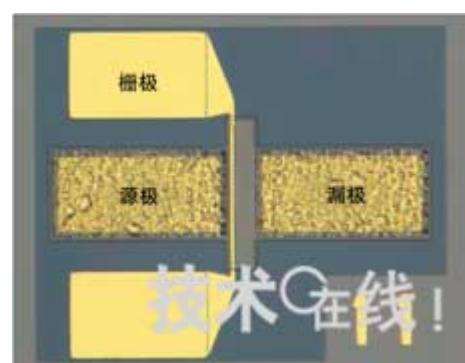


性能逼近 SiC 的 GaN 功率元件，耐壓超過 1kV 的電晶體面世

2011/05/25 取自技術在線

繼 Si 之後，SiC（碳化矽）和 GaN（氮化鎵）作為新一代功率半導體元件（以下簡稱功率元件）的材料備受關注。SiC 和 GaN 均已開始產品化，耐壓在 600V 以上的產品採用 SiC、耐壓在 600V 以下的產品採用 GaN。不過，這種「常識」將被顛覆的可能性越來越大。原因是日本風險企業 POWDEC 成功試製出了耐壓為 1.1kV，而且能夠低成本製造的 GaN 類功率電晶體（圖 1）。由此，在白色家電、電動汽車和產業設備等需要高耐壓產品的用途中，新一代功率元件的可選範圍將越來越大。



試製的耐壓為 1.1kV 的 GaN 類功率元件（攝影：POWDEC）

在 GaN 類功率元件的研發產品中，已經推出了耐壓超過 1kV 的產品。不過，這些產品或採用了特殊構造，或採用了高價位的 GaN 基板，難以實用化。

追加無摻雜 GaN 層和 p 型 GaN 層

此次的試製品除實現了超過 1kV 的耐壓外，還抑制了工作時導通電阻會增大的「電流崩塌」（Current Collapse）現象。原來的 GaN 類功率電晶體，一般通過名為「場板（FP）」的電極構造來兼顧耐壓的提高和抑制電流崩塌現象的出現。不過，POWDEC 認為這種方法難以獲得 1kV 以上的耐壓，因此沒有採用 FP。因為如果載入電壓過高，工作時電場匯集中在柵極電極端和 FP 端，兩端的電場強度會變得極強，這樣容易產生絕緣破壞。另外，電場集中會在工作時增加從柵極電極洩漏出來的電子，而這正是產生電流崩塌的原因之一。

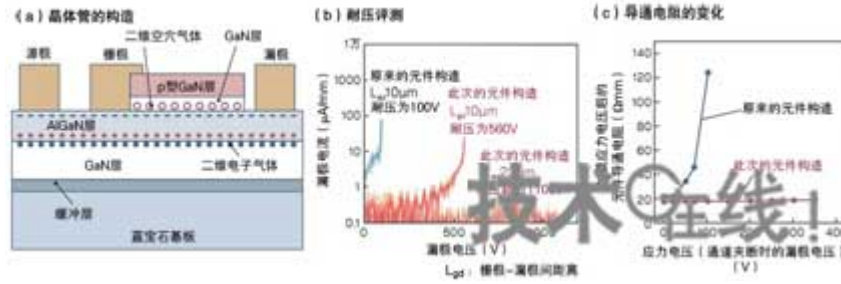


圖 1：實現了 1.1kV 的高耐壓和抑制電流崩塌

POWDEC 在藍寶石基板上試製出了 GaN 類功率電晶體(a)。耐壓高達 1.1kV

(b)。加大漏極電壓後，導通電阻就會變大的「電流崩塌」現象(c)。(圖

由本站根據 POWDEC 的資料製作)

因此，POWDEC 在柵極和漏極間追加了不含雜質的無摻雜 GaN 層和 p 型 GaN 層，從而提高了耐壓和抑制了電流崩塌^{注 1)}。通過追加這兩層，上方 GaN 層和 AlGaIn 層的界面會產生 2D 空穴氣體 (2DHG)。其濃度為 $1.4 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ ，與下方 GaN 層和 AlGaIn 層界面產生的 2D 電子氣體 (2DEG) 的濃度 $1.0 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 基本相同。將 2DHG 的濃度與 2DEG 保持在同一水準，有助於提高電壓、抑制電流崩塌。

注 1) 試製品的構造原是由日本產業技術綜合研究所的中島昭提出來的。

提高耐壓的原因是，在高濃度 2DHG 的作用下，「所有通道會像 Super-Junction 構造的 Si 制 MOSFET 一樣空乏化，成為絕緣體」(POWDEC) (圖 2)。而電流崩塌得到抑制的原因是，電場集中現象不易出現，有助於減少洩漏電子(圖 3)。

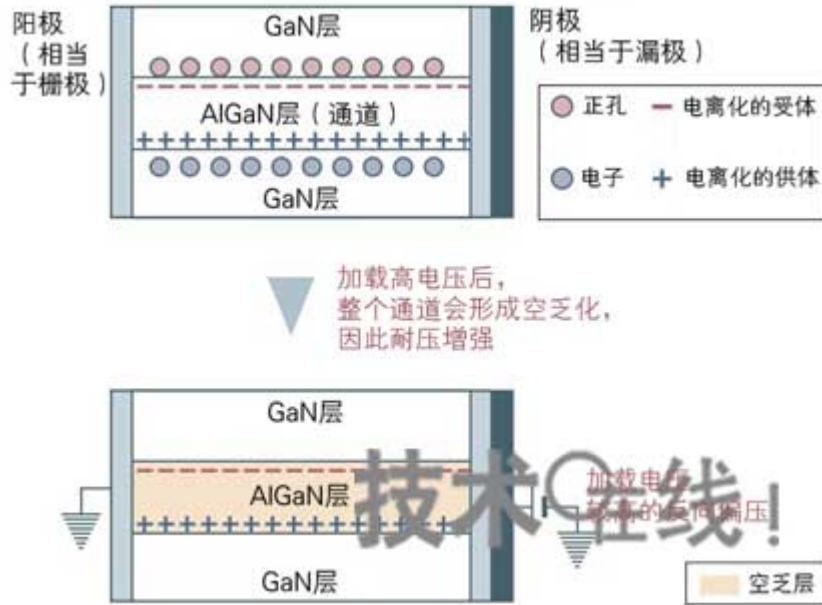


圖 2：整個通道將空乏化

在試製的 GaN 類功率電晶體的構造中，當向相當於漏極的陰極載入電壓較高的反向偏壓時，空乏層會擴大至整個通道。因此，耐壓越來越高。（圖由本站根據 POWDEC 的資料製作）

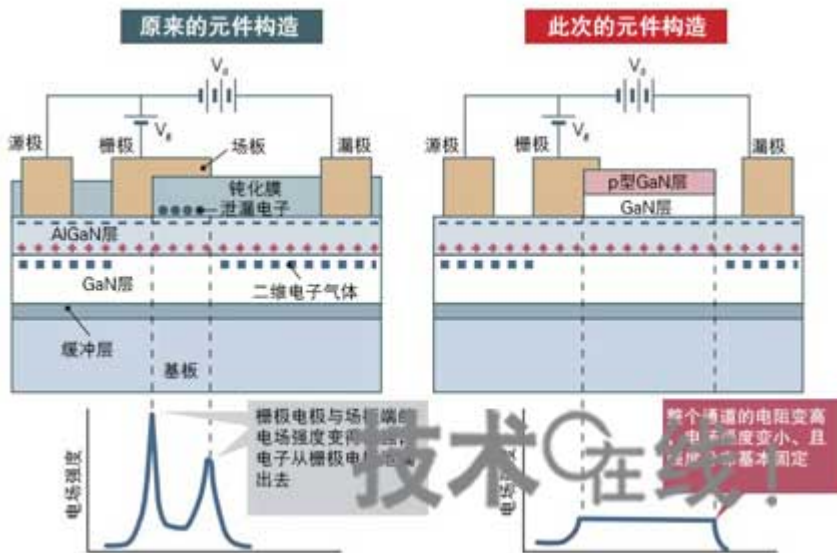


圖 3：電場強度實現均勻化、洩漏減少

如果向試製品的源極漏極間載入高電壓，那麼 2D 空穴氣體和通道的電子就

會一同消失，整個通道的電阻會變大。因此，電場強度變小，而且強度分佈也基本固定。由此，柵極的洩漏電子減少。（圖由本站根據 POWDEC 的資料製作）

緩衝層可實現薄型化

POWDEC 認為，此次採用的構造有助於降低製造成本。原因是可使用低價位基板，而且緩衝層可實現薄型化、無需為抑制電流崩塌而設置鈍化膜。

如果像試製品那樣採用藍寶石等異性基板而非 GaN 基板的話，還可以削減部材成本。不過，異性基板的線性膨脹係數和晶格常數完全不同於 GaN 類半導體，因此容易產生結晶缺陷。為了解決這個問題，POWDEC 在異性基板和 GaN 類半導體層之間設置了具有多層膜的緩衝層。不過，緩衝層的厚度為幾 μm ，大大厚於其他 GaN 類半導體的各層。因此，在積層時會花費時間，從而導致晶片產量下降，這大幅提高了製造成本。

此次的層構造可以確保高耐壓，與原構造相比可以減小緩衝層的厚度。

今後，POWDEC 將致力於在口徑大於藍寶石基板、有助於削減成本的 Si 基板上製作 GaN 類功率電晶體，以及實現常閉（Normally Off）工作等。計劃在 2~3 年內實現實用化。（記者：根津 禎）

■日文原文：SiC に迫る GaN パワー素子、トランジスタで耐壓 1kV 超