

# 为什么 MOS 管饱和区沟道夹断了还有电流?

大象韩 2020-03-24 17:12:14

MOS 管就像开关。栅极(G)决定源极(S)到漏极(D)是通还是不通。以 NMOS 为例，图 1 中绿色代表 (N 型) 富电子区域，黄色代表 (P 型) 富空穴区域。P 型和 N 型交界处会有一层耗尽层分隔 (也叫空间电荷区，如图中白色分界所示)。VT 是开关的阈值，超过阈值就开，低于阈值就开不了。栅电压越大，下面感应出来的电子越多，形成的沟道越宽。栅与沟道之间有氧化层隔离。在源漏没有电压时沟道宽窄是一样的，这很好理解。

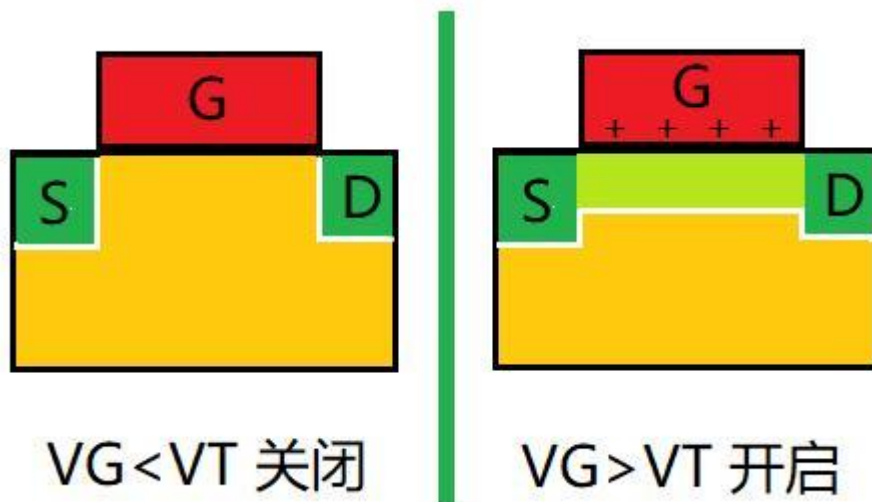


图 1. 栅压产生沟道决定 MOS 管源漏之间通不通

当漏极电压升高，栅极靠近漏极的相对电压就小，因此沟道受其影响宽窄不同。由于电流是连续的，所以窄的地方电流密度大，这也好理解，如图 2 所示。这是源漏电流  $I_{DS}$  是随其电压  $V_{DS}$  增大而线性增大的“线性区”。

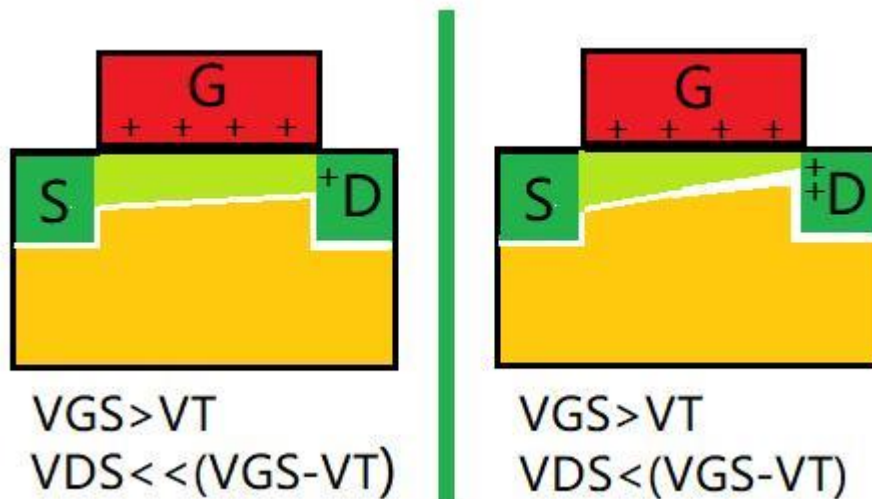


图 2. 沟道宽窄受两端电压影响（线性区）

要注意的是，这时栅极电压绝对值并没有降低，靠近漏极沟道变窄的原因，是栅极的影响力部分被漏极抵消了。一部分本来可以栅吸引形成沟道的电子，就被漏极正电压拉过去了。

当漏极电压继续升高，如果超过栅电压，造成沟道右边不满足开通条件而“夹断”。之所以出现夹断点，是因为在这个点，栅极对电子的吸引力被漏极取代。这时候 MOS 管进入“饱和区”，电流很难继续随电压增大。

很多同学理解不了既然这时候沟道夹断了，不是应该截止了吗？为什么还会继续有电流？

原因是虽然理论上沟道已经“夹断”，但这个夹断点很薄弱。为什么说它薄弱？因为夹断点后面支撑它的不是原来 P 型区域，而是电压升高更吸引电子的漏极及其空间电荷区。因此电子冲入空间电荷区，就相当于几乎没有阻挡的“准自由电子”快速被漏极收集。如图 3 所示。

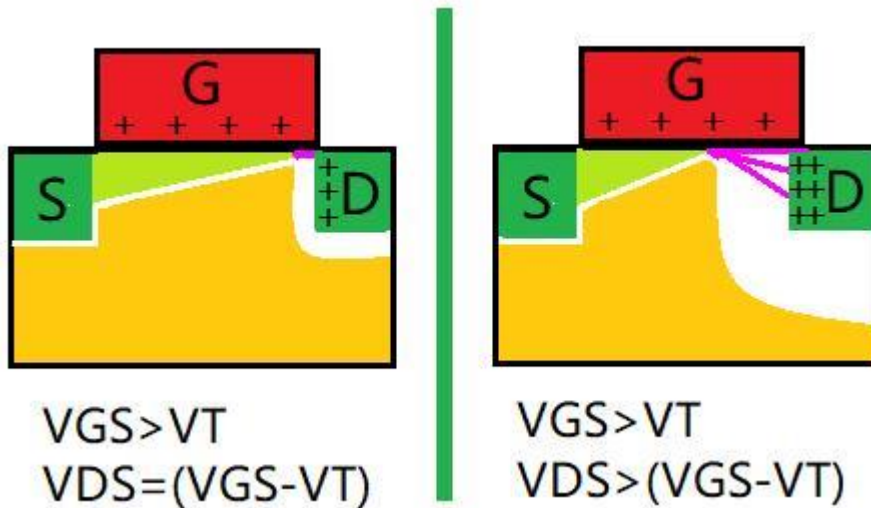


图 3. 沟道“夹而不断”（饱和区）

可以想象，随着靠近漏极的沟道越来越细，很多高速的电子冲过来，一部分挤过夹断点进入空间电荷区，然后被漏极正电场高速收集（形成示意图中紫色电流）。漏极电压越高，夹断点越后退，造成电子越难穿越，因此饱和区电流不再随电压增大而线性增大，毕竟不是所有电子都能冲过夹断点。源漏电流电压曲线如图 4 所示。

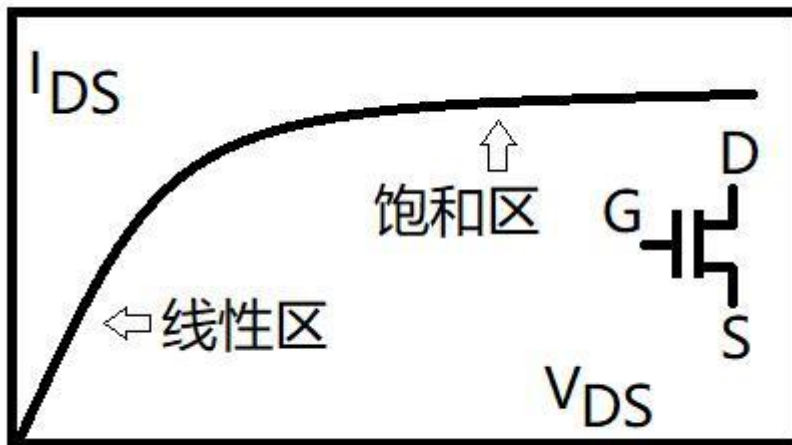


图 4. 电流电压曲线

用水枪比喻就很好理解：在水管水流很急时，试图用薄片挡住是很难的，水流会叱过阻挡形成喷射，喷口越细喷射越急，如图 5 所示。因此“夹断”这个词容易引起误解，实际应该是“夹而不断”，电流只是被限制而非截止。



图 5. 薄片很难挡住水枪喷射

当然，如果漏极的电压继续上升，它的空间电荷区持续扩张达到源极，那么源极的电子就会不受沟道和栅压的控制，直接经过空间电荷区高速到达漏极，这就是源漏直接穿通了，这时 MOS 管的开关功能也就作废了。

(大象 20200323 xyhan5151@qq.com)