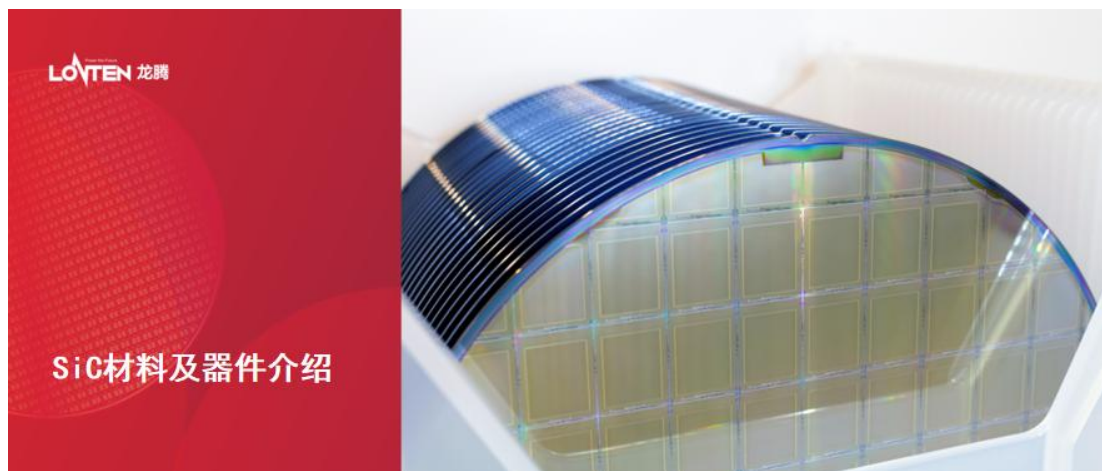


# SiC 材料及器件介绍



## 一、SiC 材料特征

SiC，作为发展最成熟的宽禁带半导体材料之一，具有禁带宽度宽、临界击穿电场高、热导率高、电子饱和漂移速度高及抗辐射能力强等特点。SiC 材料有多种晶型结构，目前常见的有 4H、6H 和 3C 等晶型。其中，3C-SiC 的临界击穿电场和禁带宽度相对较小，因此不适合用于高压功率器件的制作。相比于 6H-SiC，4H-SiC 具有更高的电子载流子迁移率，在功率器件的研究中被广泛应用，现在 4inch~6inch 的单晶晶圆已经实现了量产，国内 8inch 的单晶衬底正在开发中。Si 和 SiC 材料的主要基本特征如表 1-1 所示。

材料	$E_g(\text{eV})$	$E_c(\text{MV/cm})$	$n_i(\text{cm}^{-3})$	$\lambda(\text{W/cm} \cdot \text{K})$	$\mu_n(\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s})$	$v_{\text{sat}}(10^7 \text{cm/s})$
Si	1.12	0.3	$1.5 \times 10^{10}$	1.5	1350	1.0
3C-siC	2.2	1.2	6.9	4.5	900	2.0
6H-SiC	3.0	2.4	$2.3 \times 10^{-6}$	4.5	370	2.0
4HSiC	3.26	3.0	$8.2 \times 10^{-9}$	4.5	960	2.0

表 1-1 硅和碳化硅材料的主要特性参数

## 二、SiC 器件

由于 SiC 材料的优势使得 SiC 功率器件非常适合于高温、高压、高频、大功率等应用。现如今，已实现商业化的 SiC 功率器件主要有 SiC 肖特基二极管(SBD)和 SiC 金属-氧化物-半导体场效应晶体管 (MOSFET)。

### 2.1 SiC SBD

SiC SBD 作为单极器件，无少数载流子存储，几乎表现出理想的反向恢复特性，非常适合低开关损耗且高频开关工作应用。如图 2-1 所示为 SiC 肖特基二极管的结构示意图，其中 SiC JBS 和 MPS 结构为主流产品设计结构，SiC JBS 结构可良好折衷其正向导通和反向恢复特性；而 SiC MPS 在 JBS 基础上引入 PiN 结构可提高器件的抗浪

涌电流能力。如图 2-2 所示，1200V 20A SiC MPS 可以在不牺牲正向性能的前提下，显著提升器件的正向电流浪涌能力，约为额定电流的 11 倍。

如图 2-3 所示为 650V 20A Si FRD 和 650V 20A SiC JBS 的反向恢复特性对比，结果发现，SiC JBS 表现出较低的反向恢复峰值  $I_{rr}$  电流和恢复电荷  $Q_{rr}$ 。此外，SiC 肖特基二极管表现出与温度无关的开关特性，从而改善电路性能的稳定性和提高电力转换系统的可靠性。目前，SiC 肖特基二极管主要应用于功率因数校正（PFC）、光伏逆变、电动汽车和不间断电源（UPS）等。

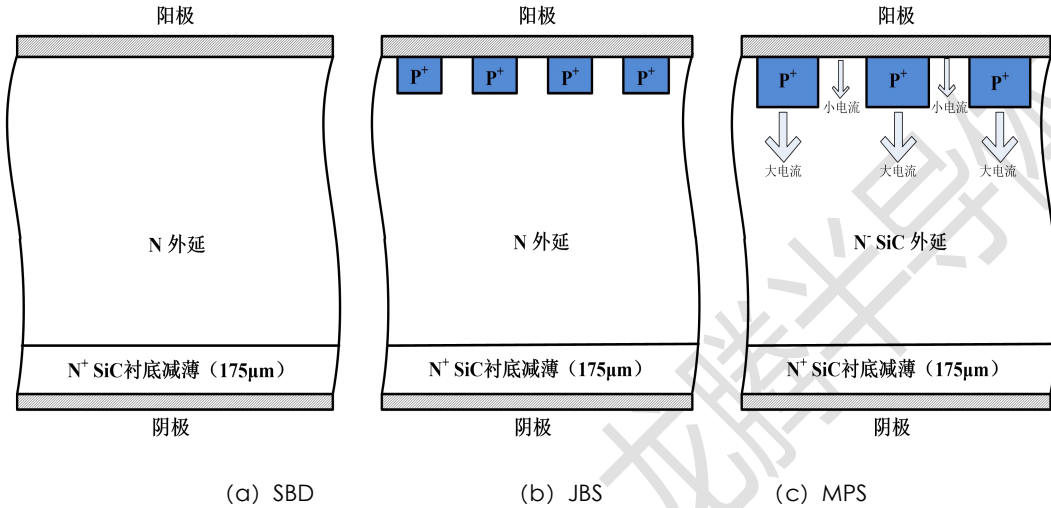


图 2-1 SiC 肖特基二极管

特性	第一代 1200V 20A SiC JBS	第二代 1200V 20A SiC MPS
$V_f@20A(25^\circ C)typ.$	1.5V	1.46V
$V_f20A(175^\circ C)typ.$	2.2V	2.2V
$I_r(25^\circ C)typ.$	10uA@1200V	0.07uA@1200V
$I_{FSM}$ Half sine pulse, 10ms	140A	210A

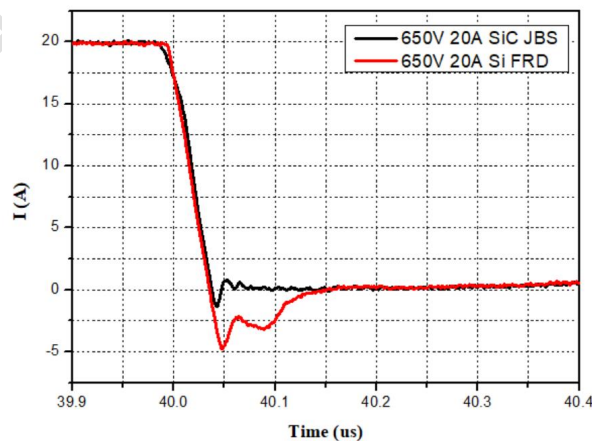


图 2-3 SiC JBS 和 Si FRD 反向恢复特性对比

## 2.2 SiC MOSFET

平面栅碳化硅金属氧化物场效应晶体管 (SiC MOSFET) 具有快速开关和低导通电阻的优点。采用 SiC MOSFET，可显著提高系统工作频率、减少电感、电容、滤波器和变压器的数量，从而降低系统体积、重量，实现高效、轻

量化和小型化的系统需求。目前，SiC MOSFET 主要应用于电机驱动、光伏逆变、储能、高压开关电源和 OBC 等。

如图 2-4 分别为平面型和沟槽型 SiC MOSFET 结构示意图，国际上 Wolfspeed、ON 和 ST 等主要产品为平面型结构，而 Infineon 和 ROHM 主要设计为沟槽型结构，准确地，Infineon 为半胞沟槽结构，ROHM 为双沟槽结构。相对来说，在相同电流等级下，沟槽型结构的元胞尺寸更小，约为平面型结构的一半，比导通电阻也更小，更适用于制作高频大功率器件。但是由于 SiC 材料的硬度和脆度问题导致沟槽刻蚀较难，目前国内开发产品主要以平面型为主，不断地减小元胞尺寸、降低比导通电阻、提高功率密度和可靠性。

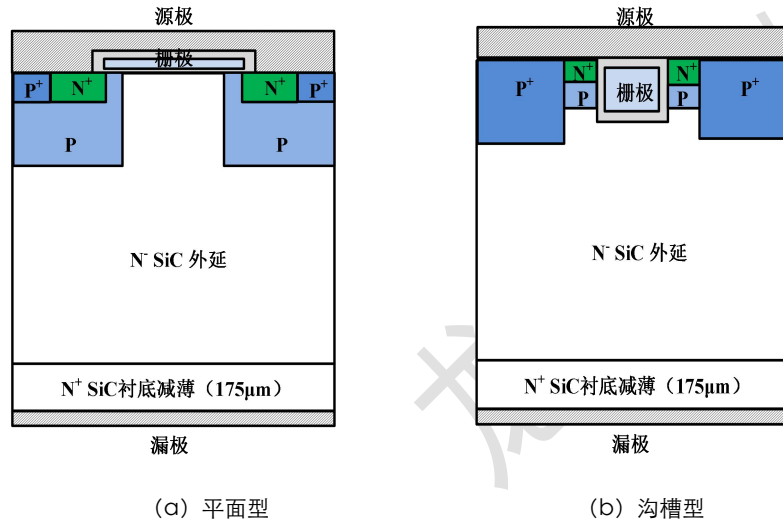
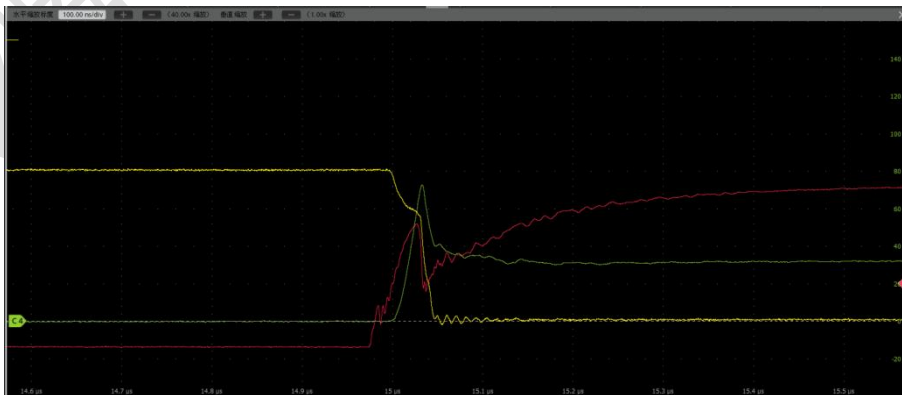
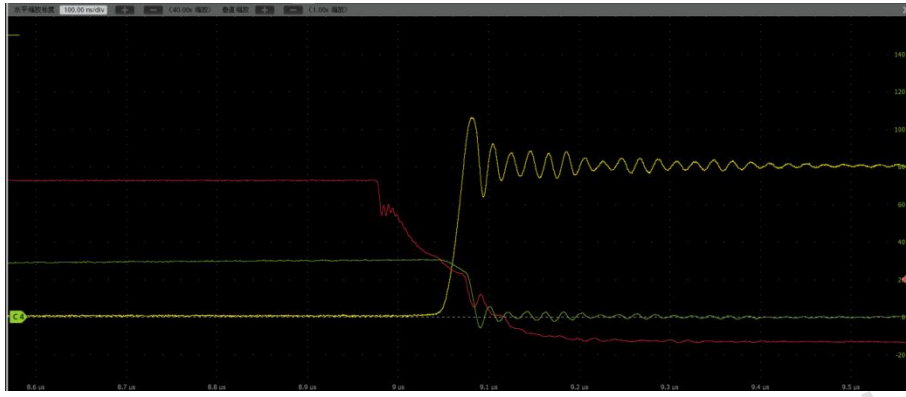


图 2-4 平面栅 SiC MOSFET 结构

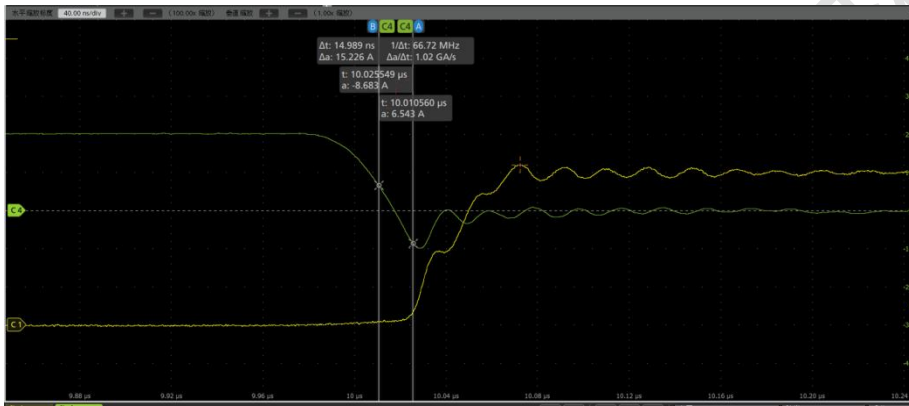
SiC 器件的漂移层电阻比 Si 器件的要小，不必使用电导率调制，因此 SiC MOSFET 可同时实现高反向击穿电压和低导通电阻。更重要的是，SiC MOSFET 的最大特点是作为单极器件，不会产生 IGBT 中所见到的拖尾电流，SiC MOSFET 的开关速度很快且体二极管反向恢复时间短。如图 2-5 所示为 1200V 25mΩ SiC MOSFET 开关特性及反向恢复特性测试曲线。由开关测试曲线得到，开通和关断时间分别约为 60ns 和 91ns；由反向恢复曲线得知反向峰值电流约为 10A，反向恢复时间和电流分别为 20ns 和 120nC。



(a) 开通波形，VDD=800V, ID=30A, RG=10Ω, VGS(on)=18V



(b) 关断波形, VDD=800V, ID=30A, RG=10Ω, VGS(off)=-3V



(c) 体二极管反向恢复波形, VR=800V, IF=20A, diF/dt=1000A/µs

图 2-5 1200V 25mΩ SiC MOSFET 开关及反向恢复特性测试

### 三、龙腾 SiC 产品列表

产品型号	单管/双管	质量等级	VRRM(V)	IF(A)	VF(V) (T <sub>J</sub> =25°C)	VF(V) (T <sub>J</sub> =175°C)	IR(µA) (T <sub>J</sub> =25°C)	IR(µA) (T <sub>J</sub> =175°C)	封装形式
LDCA065C06W1	单管	工业级	650	6	1.4	1.75	2	40	TO-220-2L
LDG065C06W1	单管	工业级	650	6	1.4	1.75	2	40	TO-252
LDCA065C08W1	单管	工业级	650	8	1.4	1.75	2	40	TO-220-2L
LDCA065C10W1	单管	工业级	650	10	1.4	1.75	2	40	TO-220-2L
LMB065C30W1	双管	工业级	650	30	1.5	2	2	40	TO-247 双封
LDG120C10W1	单管	工业级	1200	10	1.5	2.2	10	20	TO-252
LMB120C20W1	双管	工业级	1200	20	1.5	2.2	10	20	TO-247 双封
LMB120C40W1	双管	工业级	1200	40	1.5	2.2	10	20	TO-247 双封

注：以上信息出自龙腾半导体，转载请注明出处。