



# SIC MOS管栅极问题思考与解决

报告人: Yint

2025. Apr

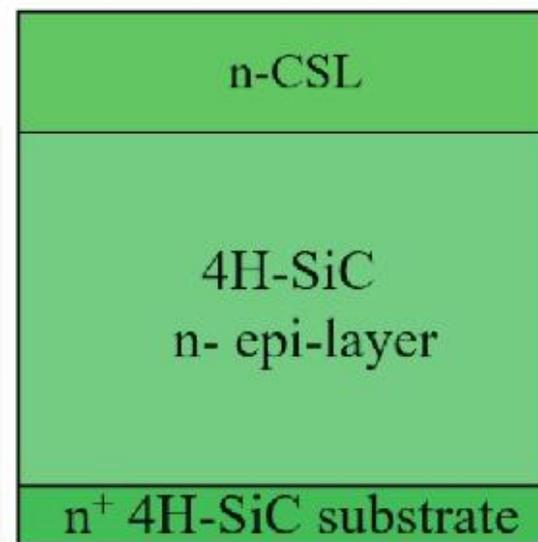
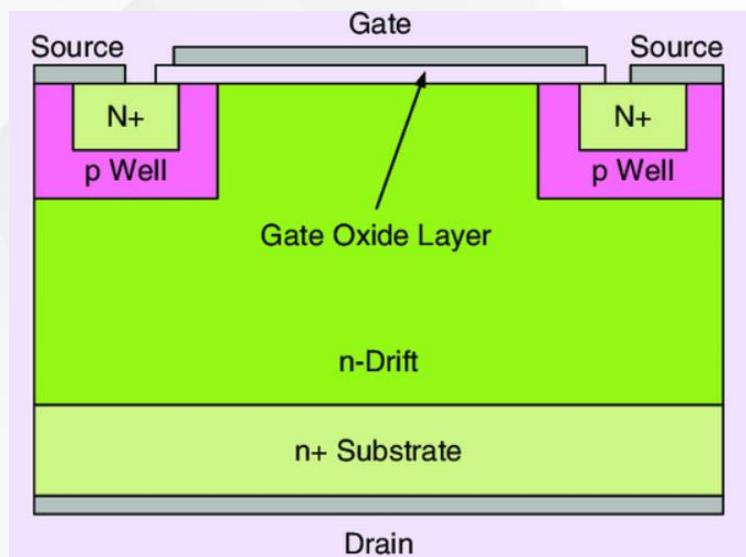
# 目 录

contents

- ✓ SIC MOS管的发展与现状
- ✓ SIC MOS管芯片工艺结构
- ✓ 栅极容易损坏的原因分析
- ✓ 栅极保护措施 - 瞬态抑制二极管
- ✓ 结论

# PART 01

## SIC MOS管的发展与现状





# SIC MOS管的发展与现状



1. SIC MOS管作为新型功率半导体器件，近年来随着技术的成熟，在新能源汽车、光伏、智能电网等领域得到了广泛应用。其具有开关速度快、导通电阻低、耐高温等显著优势，逐渐成为传统硅基器件的有力替代者



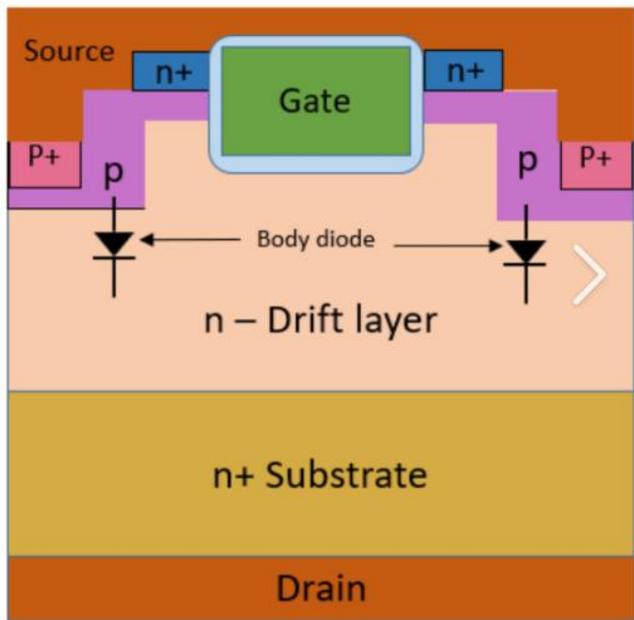
2. 以新能源汽车为例，SIC MOS管应用于车载逆变器中，能够提高电能转换效率，减少能量损耗，从而增加车辆的续航里程。在光伏领域，使用SIC MOS管的光伏逆变器可以实现更高的功率密度和转换效率，降低系统成本



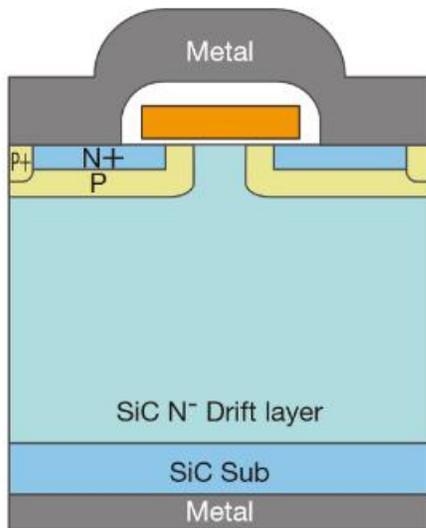
# 研究栅极问题的重要性

栅极作为SiC MOS管的关键控制端，其性能和可靠性直接影响着整个器件的工作稳定性和寿命。栅极一旦损坏，SiC MOS管将无法正常工作，导致整个电路系统故障

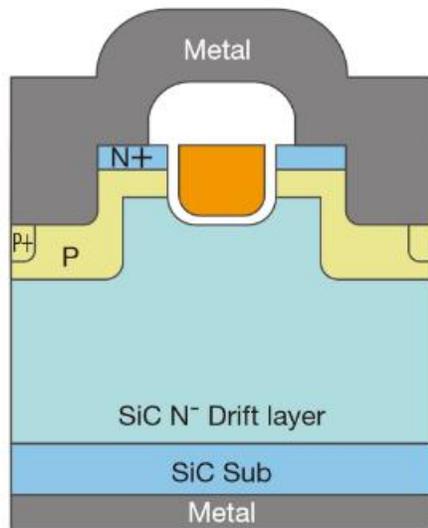
SiC MOS管作为新型功率半导体器件，近年来随着技术的成熟，在新能源汽车、光伏、智能电网等领域得到了广泛应用。其具有开关速度快、导通电阻低、耐高温等显著优势，逐渐成为传统硅基器件的有力替代者



[Planar Structure]  
(2nd-Generation)

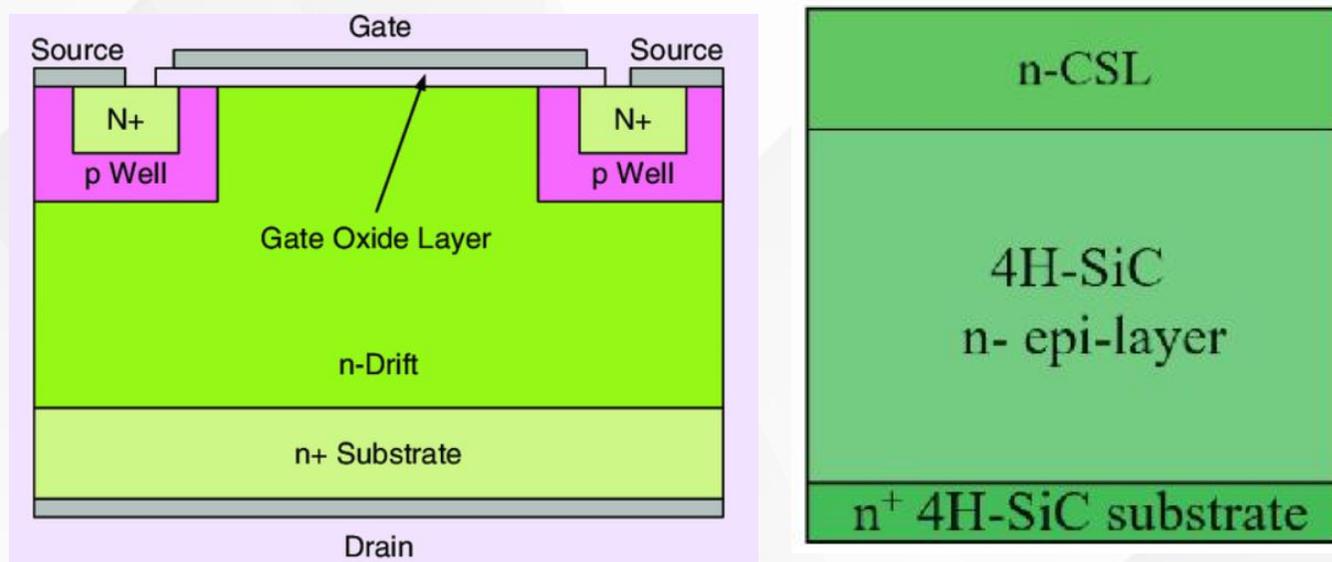


[Trench Structure]  
(3rd-Generation)



# PART 02

## SIC MOS管芯片工艺结构





# 芯片工艺结构概述

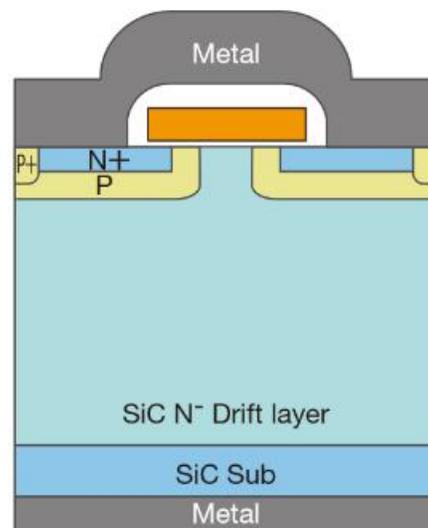


SIC MOS管的芯片工艺结构主要包括衬底、外延层、源极、漏极、栅极以及绝缘层等部分。其中，衬底通常采用碳化硅材料，具有高导热性和高击穿电场强度的特点，为器件提供良好的物理支撑和电学基础。外延层生长在衬底之上，用于精确控制器件的电学参数

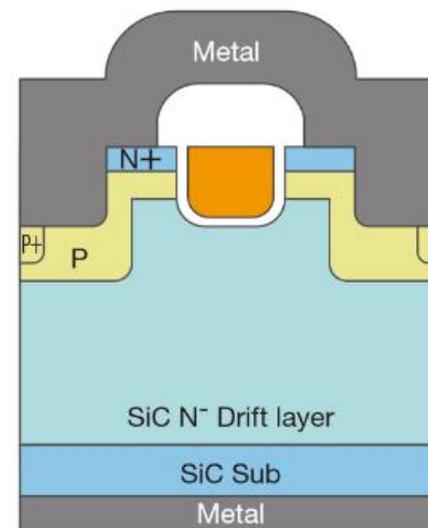


源极和漏极位于芯片的两侧，是电流的输入和输出端，栅极则通过绝缘层与沟道隔开，通过施加电压来控制沟道的导通和截止，从而实现对电流的调控，绝缘层通常采用二氧化硅等材料，其质量和厚度对栅极的性能有着重要影响

[Planar Structure]  
(2nd-Generation)



[Trench Structure]  
(3rd-Generation)





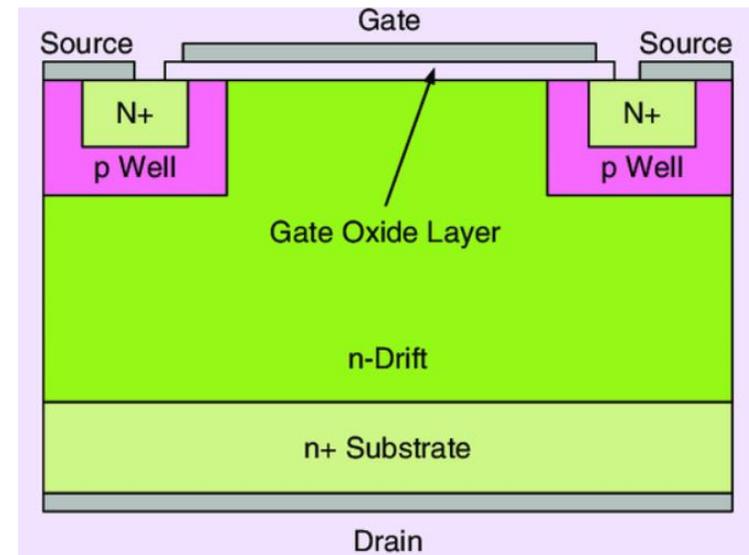
# 栅极在芯片中的位置与作用

## 位置：

栅极位于源极和漏极之间，通过绝缘层与沟道紧密相邻。其主要作用是通过电场效应控制沟道的导电性，实现对SIC MOS管导通和关断的精确控制。当栅极施加正电压时，会在沟道中感应出电子，形成导电通道，使SIC MOS管导通；当栅极电压为零时，沟道中的电子消失，导电通道关闭，SIC MOS管截止

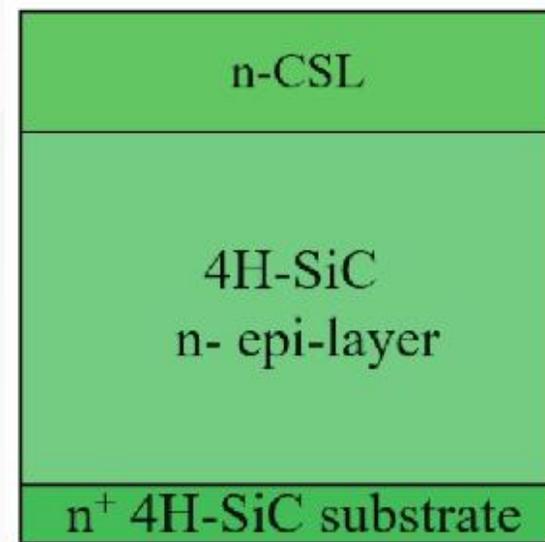
## 作用：

栅极的控制作用如同水龙头的开关，能够精准地调节水流（电流）的大小和通断，确保SIC MOS管在各种电路应用中稳定可靠地工作



## PART 03

# 栅极容易损坏的原因分析





# 寄生电容的影响



## 米勒电容的作用机制

由于多晶硅宽度、沟道与沟槽宽度、G极氧化层厚度、PN结掺杂轮廓等因素，SIC MOS管会产生寄生电容，其中关键的米勒电容 $C_{gd}$ 起着重要作用。 $C_{gd}$ 并非恒定不变，它会随着栅极和漏极间电压的变化而迅速改变

当高边的MOS管突然导通时，低边MOS管的漏极电压会瞬间升高，此时低边MOS管的米勒电容上会产生一个大小为米勒电容乘以电压变化率大小的电流。若栅极开路，这个电流只能给下方的 $C_{gs}$ 电容充电，进而导致栅极电压突然升高。当栅极电压超过MOS管的门线电压 $V_{TH}$ 时，MOS管就容易发生误导通，长期的误导通会对栅极造成损坏

## 寄生电容引发的问题实例

在半桥电路中，当一个MOS管导通时，由于米勒电容的存在，会对另一个MOS管的栅极产生影响。例如，在某开关电源应用中，由于米勒电容的作用，导致栅极电压异常升高，超出了栅极的耐压范围，最终造成栅极击穿损坏，使整个开关电源无法正常工作





## 一 外部电路过电压的来源

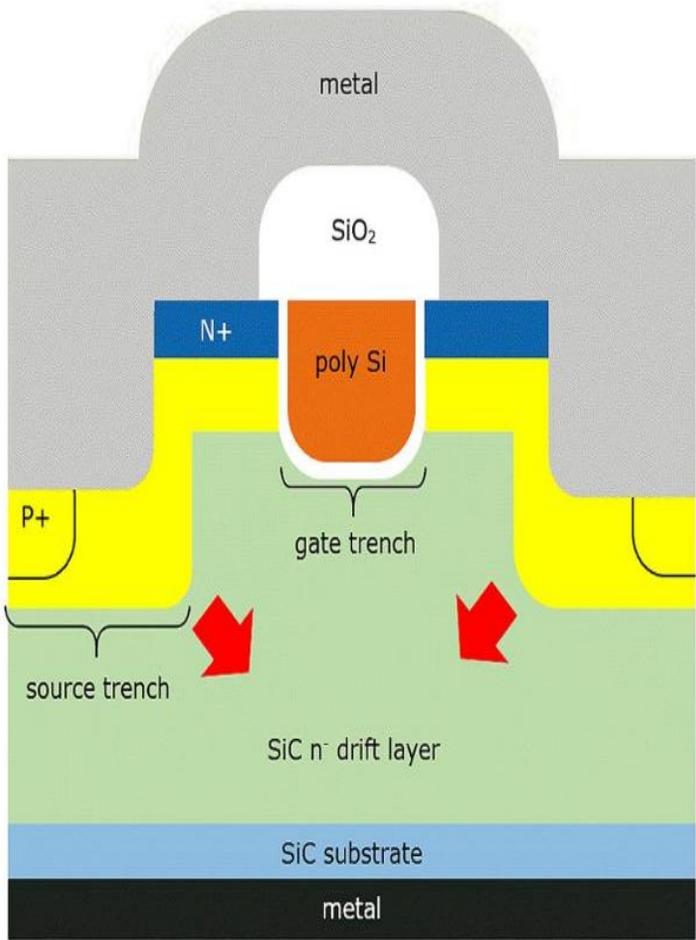
- 1.1 外部电路中的过电压可能由多种原因产生，如雷击、电网波动、感性负载的开关操作等。雷击会产生瞬间的高电压脉冲，可能通过电源线或信号线传导至SIC MOS管
- 1.2 电网波动时，电压的突然升高也会对SIC MOS管造成威胁
- 1.3 当感性负载（如电机、变压器等）突然断开时，会产生反电动势，形成很高的电压尖峰，这些过电压都可能通过电路传导到SIC MOS管的栅极，对其造成损害

## 二 过电压对栅极的损害原理

- 2.1 当栅极承受的电压超过其额定耐压值时，栅极氧化物会发生击穿，导致栅极与沟道之间的绝缘性能下降，甚至短路；这会使栅极失去对沟道的控制能力，SIC MOS管无法正常工作，严重时会导致器件永久性损坏
- 2.2 过电压还可能引发栅极内部的热效应，使栅极材料的温度急剧升高，造成材料的性能劣化，进一步加剧栅极的损坏



# 高温环境的影响



## ● SIC MOS管的工作温度特性

SIC MOS管虽然具有较好的高温性能，但在高温环境下，其性能参数仍会发生变化。随着温度的升高，SIC MOS管的导通电阻会增大，开关速度会降低，漏电流也会增加。这些参数的变化会导致器件的功耗增加，产生更多的热量，进一步加剧温度的上升。

当温度超过一定限度时，会对栅极的材料和结构产生影响，降低栅极的可靠性

## ● 高温对栅极材料和结构的影响

高温会使栅极的绝缘材料性能下降，导致栅极与沟道之间的绝缘电阻降低，增加漏电风险。高温还可能导致栅极金属材料的热膨胀，使栅极与其他部件之间的连接出现松动或断裂，影响栅极的正常工作。

在一些高温应用场景中，如汽车发动机舱内的电子设备，SIC MOS管长期处于高温环境下，栅极的损坏概率明显增加



## 常见的制造工艺问题

在SIC MOS管的制造过程中，可能会出现一些工艺缺陷，如栅极氧化层中的针孔、杂质污染、光刻偏差等；这些缺陷会导致栅极氧化层的厚度不均匀，局部电场强度过高，从而降低栅极的耐压能力。

**杂质污染**可能会改变栅极材料的电学性能，影响栅极的正常工作。光刻偏差则可能导致栅极的尺寸精度不足，影响器件的性能一致性

## 工艺缺陷如何导致栅极损坏

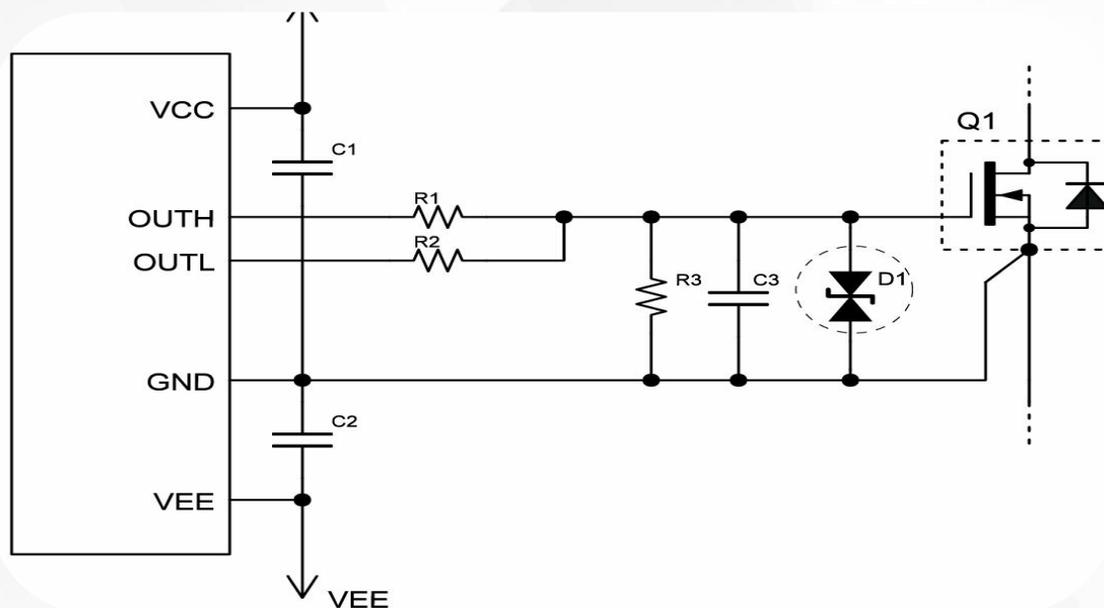
栅极氧化层中的针孔会成为电流的泄漏通道，当电流通过针孔时，会产生局部发热，导致氧化层进一步损坏。

杂质污染会使栅极材料的电阻率发生变化，影响栅极的电场分布，增加栅极击穿的风险

光刻偏差导致的栅极尺寸不一致，会使不同器件的栅极性能存在差异，在实际应用中，性能较差的栅极更容易受到损坏

# PART 04

## 栅极保护措施 – 瞬态抑制二极管





# 瞬态抑制二极管保护的工作原理

## 基本工作原理介绍

SMBJ1505CA是一种高效的电路保护器件，其工作原理基于PN结的雪崩击穿效应。当TVS两端的电压超过其击穿电压时，TVS会迅速导通，将过电压钳位在一个较低的水平，从而保护被保护器件免受过高电压的冲击，在电路中，TVS通常与被保护的SIC MOS管栅极并联连接。当出现瞬态过电压时，TVS会在极短的时间内（通常为纳秒级）响应，将过电压旁路到地，使栅极电压保持在安全范围内

**SMBJ1505CA** 瞬态抑制二极管是专门为SIC MOS管栅极保护设计的，其正向击穿电压通常设定为15V左右，反向击穿电压设定为 - 5V左右。这样的电压设定能够与SIC MOS管的栅极工作电压范围相匹配，有效地保护栅极免受正向和反向过电压的损害，这种二极管具有快速的响应时间、低动态电阻和高脉冲功率承受能力等特点。快速的响应时间能够确保在过电压出现的瞬间及时动作，低动态电阻可以使钳位电压尽可能接近击穿电压，高脉冲功率承受能力则保证了二极管在承受大电流脉冲时不会损坏



# 使用SMBJ1505CA的原因

## 防止串扰引起的栅极电压波动

在半桥电路等应用中，SIC MOS管模块的开关动作会引起另一个模块开关的栅源极电压波动，即串扰问题。正向串扰可能导致栅极电压正向抬升，若超过阈值将导致误开通；负向串扰可能使栅极电压负向增大，超过负压耐受极限会导致栅极击穿，SMBJ1505CA瞬态抑制二极管可以有效地抑制串扰引起的栅极电压波动，当栅极电压出现异常升高或降低时，TVS会迅速导通，将电压钳位在安全范围内，防止误开通和栅极击穿的发生

## 应对瞬态过电压的威胁

如前所述，外部电路中存在各种瞬态过电压的威胁，如雷击、电网波动、感性负载开关等产生的过电压。这些过电压可能会瞬间超过SIC MOS管栅极的耐压值，对栅极造成不可逆的损坏。瞬态抑制二极管能够在过电压出现的瞬间迅速响应，将过电压限制在安全范围内，为SIC MOS管栅极提供可靠的保护，确保器件在恶劣的电气环境下正常工作



# 加瞬态抑制二极管的好处



01

## 提高栅极的可靠性和稳定性

通过抑制过电压和串扰，瞬态抑制二极管能够有效减少栅极受到的电气应力，降低栅极损坏的风险，从而提高SIC MOS管栅极的可靠性和稳定性。这有助于延长SIC MOS管的使用寿命，减少设备故障的发生，提高整个电路系统的可靠性。

在工业自动化、电力电子等领域，设备的可靠性和稳定性至关重要，使用瞬态抑制二极管保护栅极能够确保设备长期稳定运行，降低维护成本

02

## 简化电路设计和维护

相比其他复杂的栅极保护电路，使用瞬态抑制二极管的方案更加简单直接，只需要将二极管与栅极并联连接即可。这不仅减少了电路元件的数量，降低了电路设计的复杂度，还方便了电路的安装和维护，在大规模生产和应用中，简化的电路设计能够提高生产效率，降低生产成本，同时也便于技术人员进行故障排查和维修



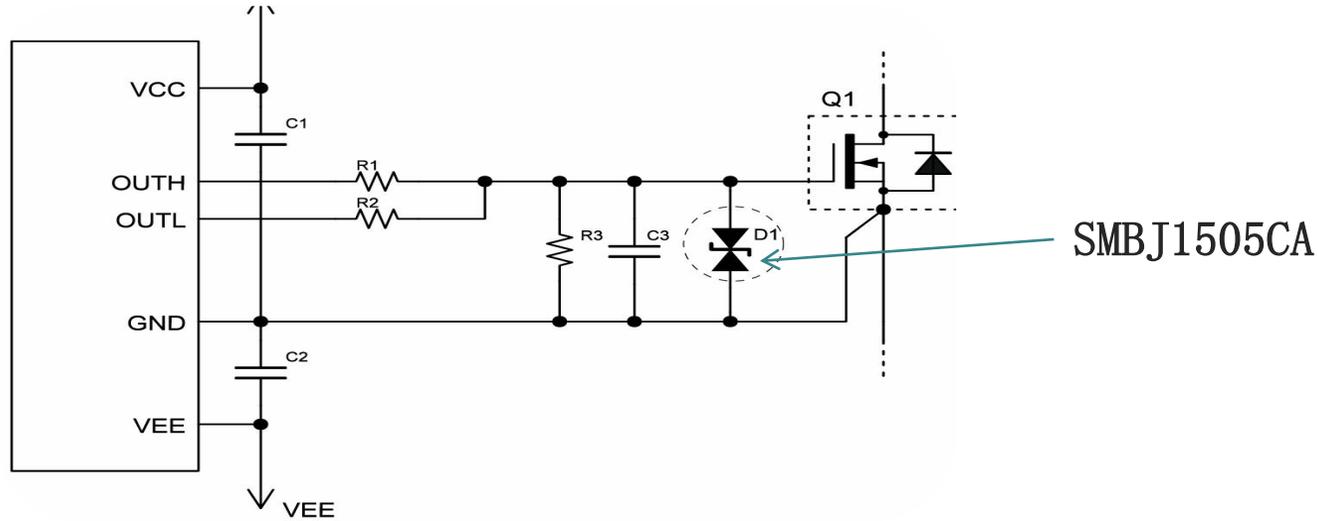
# PART 05

综上所述，SIC MOS管栅极容易损坏的原因主要包括寄生电容的影响、过电压的冲击、高温环境的影响以及制造工艺缺陷等。为了保护栅极，通常会在栅极加一颗SMBJ1505CA的瞬态抑制二极管，其通过防止串扰和应对瞬态过电压，提高了栅极的可靠性和稳定性，随着科技的不断进步，SIC MOS管技术将不断发展，未来有望通过改进制造工艺、优化芯片结构等方式进一步提高栅极的性能和可靠性。也会有更多新型的栅极保护技术和器件出现，为SIC MOS管在更多领域的广泛应用提供有力支持

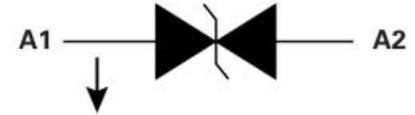
我们期待SIC MOS管在新能源、智能电网等领域发挥更大的作用，推动相关产业的快速发展



# 加瞬态抑制二极管的好处



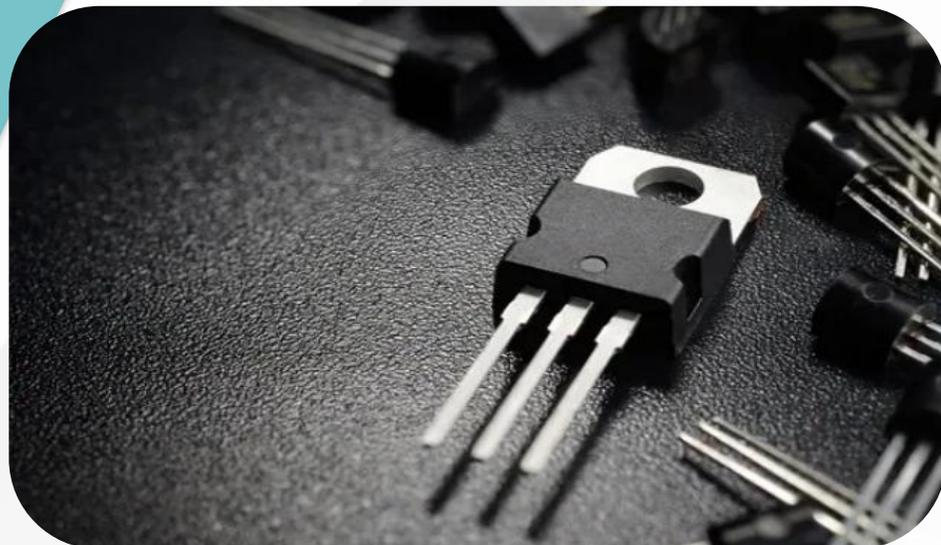
SMBJ1505CA



## Electrical Characteristics (TA = 25 °C unless otherwise noted)

Part Number	Reverse Stand off Voltage $V_R$ (Volts)	Breakdown Voltage $V_{BR}$ (Volts)@ $I_T$		Test Current $I_T$ (mA)	Maximum Reverse Leakage $I_R$ @ $V_R$ ( $\mu$ A)	Maximum Peak Pulse Current $I_{pp}$ (A)	Maximum Clamping Voltage $V_C$ @ $I_{pp}$ (V)	Junction Capacitance Typ@ 1 MHz, 0 V Bias (pF)
		Min .V	Max .V					
		SMBJ1505CA	15					

Part Number	Reverse Stand off Voltage $V_R$ (Volts)	Breakdown Voltage $V_{BR}$ (Volts)@ $I_T$		Test Current $I_T$ (mA)	Maximum Reverse Leakage $I_R$ @ $V_R$ ( $\mu$ A)	Maximum Peak Pulse Current $I_{pp}$ (A)	Maximum Clamping Voltage $V_C$ @ $I_{pp}$ (V)	Junction Capacitance Typ@ 1 MHz, 0 V Bias (pF)
		Min .V	Max .V					
		SMBJ1505CA	5					



谢谢大家

[www.yint.com.cn](http://www.yint.com.cn)