

D1 系列碳化硅二极管

萃锦的第一代 SiC 二极管技术

目录

目录.....	1
1, 介绍.....	2
2, 什么是碳化硅肖特基二极管?	2
2.1 高压二极管的基本结构.....	2
2.2 碳化硅 MPS 二极管技术.....	4
3, 萃锦半导体的 SiC 碳化硅二极管技术.....	5
3.1, 目标应用场景.....	5
3.2, 特点和优点.....	6
3.3, 1200V SiC 二极管 D1 系列的关键电气特性.....	7
3.4, 1200V SiC 二极管 D1 系列的竞争对手比较.....	7
3.5, 1200V SiC 二极管 D1 系列的正向电压降, VF.....	8
3.6, 低 VF 版本 (SiC 二极管 D1 系列) 和低 QC 版本 (SiC 二极管 D1Q 系列)	9
4, 结论.....	11
5, SiC 二极管 D1 系列的产品组合和命名规则.....	12
5.1, 650V / 1200V / 1700V 碳化硅二极管 D1 系列的产品组合.....	12
5.2, 命名规则.....	13
6, 文档修订历史记录.....	14

1. 介绍

萃锦半导体致力于为碳化硅器件提供解决方案。萃锦半导体一直在通过内部设计、开发、制造碳化硅器件，这是用于高压和高功率应用的先进前沿技术。SiC 二极管 D1 系列是萃锦半导体的第一代碳化硅二极管家族。650V、1200V 和 1700V SiC 二极管 D1 系列是为各种功率转换系统（如消费、工业和汽车应用）提供优化解决方案而开发的。

2. 什么是碳化硅肖特基二极管？

2.1. 高压二极管的基本结构

图 1 显示了二极管的基本结构，如 SiC 肖特基二极管、Si 肖特基二极管和 Si PN 结二极管。对于 SMPS 应用中的高压二极管，二极管应具有快速开关特性，以提高效率。这些类型的硅二极管被称为具有 PN 结的 FRD（快速恢复二极管）。PN 结二极管是双极性器件，以空穴和电子或少数和多数载流子为电荷载流子。空穴，少数载流子，具有比多数载流子，慢的电子迁移率。硅 FRD 有一种特殊的工艺来实现快速开关，如寿命限制制工艺。通过特殊工艺，硅 FRD 具有快速开关特性，反向恢复特性低。然而，硅 FRD 并非不受少数载流子引起的反向恢复电荷的影响。纯肖特基二极管是一种在没有注入载流子调制影响的情况下工作的单极性器件。因此，在反向恢复过程中，它的行为几乎就像一个完美的二极管，非常迅速地从正向导通切换到反向阻断。这使得肖特基二极管成为在非常高频和快速开关应用中用作整流二极管的理想器件。通过加厚 N- 外延层和降低载流子浓度可以提高击穿电压，因此，硅肖特基结构很难实现 300V 以上的高击穿电压，因为硅材料的带隙性能较低。碳化硅二极管通常具有肖特基结构，碳化硅二极管被称为具有高击穿电压的 SiC SBD（碳化硅肖特基势垒二极管），因为碳化硅材料具有宽带隙特性，是高压和高功率应用的前沿材料。

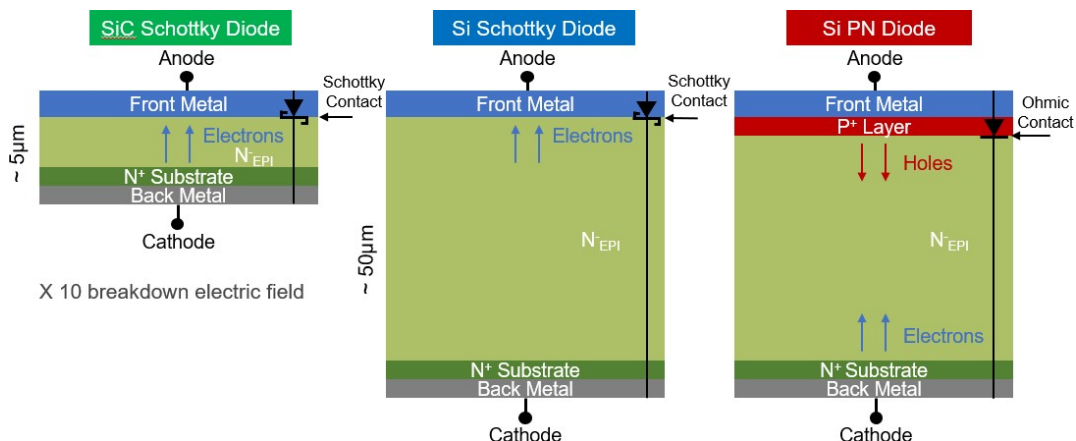
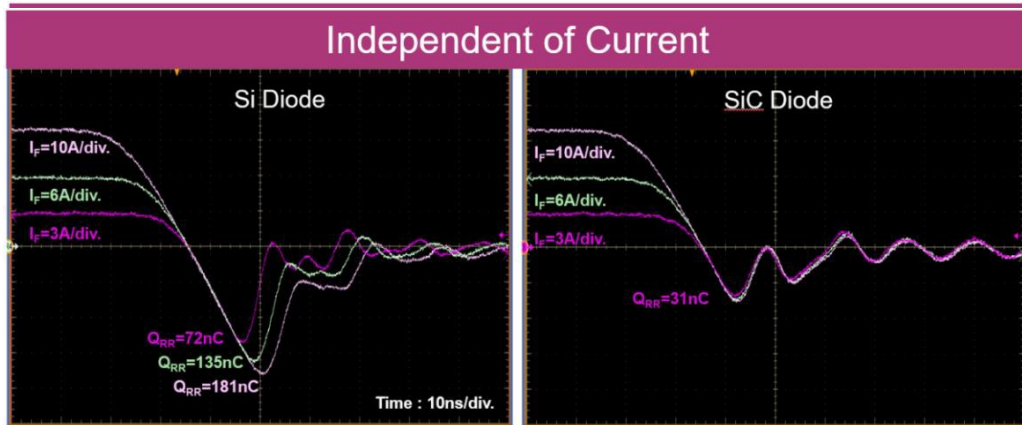


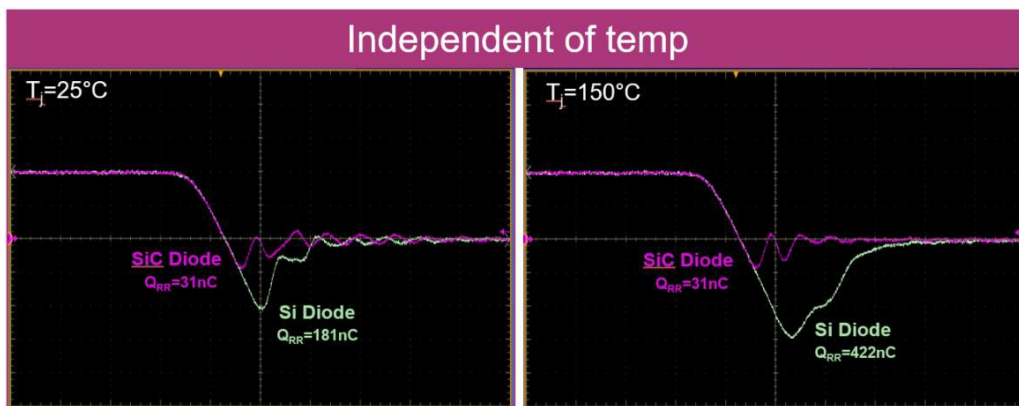
图 1。基本结构：碳化硅肖特基、Si 纯肖特基和 Si PN 二极管结构

图 2 显示了感性负载条件下的反向恢复行为。如图 2 所示，硅二极管的反向恢复行为的特点是强烈依赖于正向电流（ I_F ）、 diF/dt 和温度，因为在正向传导过程中，P-

N 结中存储的电荷应该被去除，直到它们消失。相反，SiC 二极管的反向恢复行为与正向电流 (I_F)、 di/dt 和温度无关，因为没有反向恢复电荷 (Q_{rr})，但通过金属-半导体结电容只有很小的反向恢复电流流动。由于这些特性，SiC 二极管能够通过极大地降低 CCM 模式的升压 PFC 中 MOSFET 的导通损耗来提高系统效率。



(a) 反向恢复 VS 正向电流 (I_F), $V_{dd}=400V$, $I_F=3/6/10A$, $di/dt=700A/\mu s$, $T_J=25^\circ C$



(b) 反向恢复 VS 温度 (T_J), $V_{dd}=400V$, $I_F=10A$, $di/dt=700A/\mu s$, $T_J=25^\circ C$ & $150^\circ C$

图 2. 开关特性: SiC 肖特基二极管和硅二极管 (650V/10A)

图 3 显示了导通转变时的 MOSFET 波形。浅粉红色的波形显示 MOSFET 的峰值漏极电流较高，这是由硅二极管的较大 Q_{rr} 引起的。然而，深紫色波形通过 SiC 二极管的小得多的 Q_C 显示出 MOSFET 的非常低的峰值漏极电流。因此，用 Si 二极管测量了 $361\mu J$ 的 MOSFET 导通损耗，用 SiC 二极管测量了 $154\mu J$ ，与用 Si 二极管的 MOSFET 相比，导通损耗降低到 $207\mu J$ 。最后，如图 3 所示，与 Si 二极管相比，使用 SiC 二极管可以显著降低 MOSFET 的导通损耗约 57%。因此，SiC 二极管可以提高开关频率和速度，减小功率转换系统中无源元件、缓冲电路和 EMI 滤波器的尺寸。

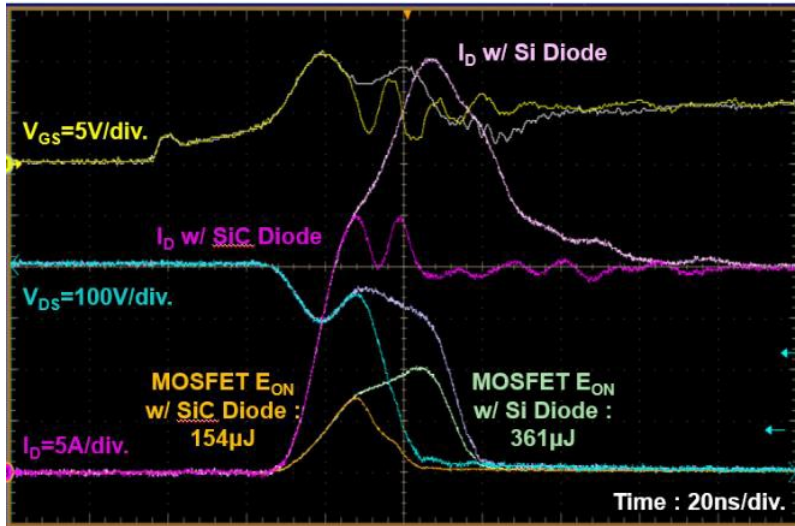
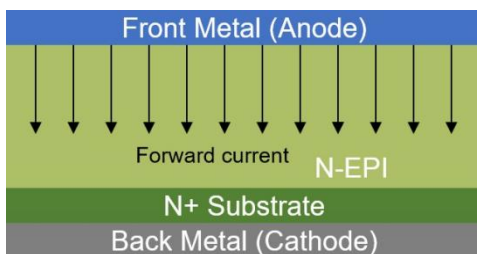


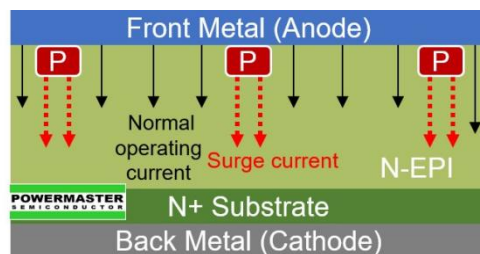
图 3。CCM 模式的 PFC 中具有 Si 二极管和 SiC 二极管的 MOSFET 的导通开关损耗

2.2. 碳化硅 MPS 二极管技术

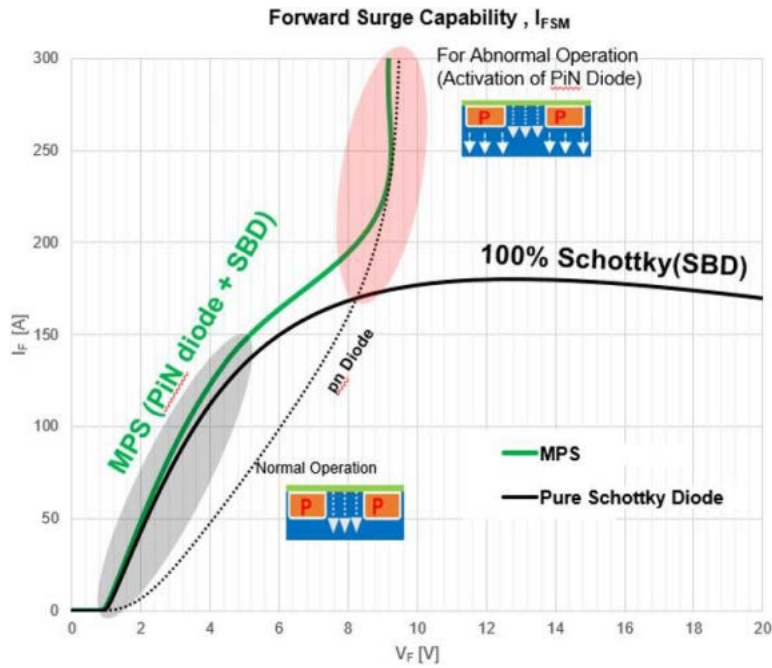
合并的 PiN 肖特基 (MPS) 由指间肖特基和 p+注入区组成。萃锦半导体最新开发的 SiC 碳化硅 MPS 二极管结合了肖特基二极管和 PiN 二极管的最佳特性，获得了低导通状态电压降、低关断状态泄漏和优异的浪涌能力。在阳极侧，MPS 二极管由交替的 PiN 和金属半导体结组成，如图 4 (b) 所示。图 4 (c) 显示了与纯肖特基二极管相比，MPS 二极管在正向偏置下的 I-V 曲线。MPS 二极管在低电流下的正向特性类似于纯肖特基二极管。在更高的电流操作下，p 掺杂区域被激活并且少数载流子（空穴）被注入。该器件变成双极性的，并且电流-电压特性类似于具有优异浪涌能力的 PiN 二极管。由于其正向特性，MPS 二极管具有比纯肖特基二极管高得多的浪涌电流稳定性。在反向偏压下，p 掺杂区域屏蔽来自肖特基接触的电场，并且肖特基结处的场强降低。结果，避免了肖特基二极管的高反向泄漏电流。由于 MPS 二极管通常工作在单极模式下，它们将纯肖特基二极管的快速开关和低损耗能力与 PiN 二极管的高浪涌电流能力相结合，并且不会显著增加漏电流。



(a) 纯肖特基二极管



(b) MPS 二极管



(c)纯肖特基二极管与 MPS 肖特基二极管的 I-V 曲线比较

图 4. 纯肖特基二极管和 MPS 肖特基二极管的垂直结构，I-V 特性

3. 萃锦半导体的 SiC 碳化硅二极管技术

高压 SiC 二极管 (> 650V) 广泛应用于许多功率转换系统，如 AC/DC、DC/DC、DC/AC 应用。萃锦半导体推出 650V、1200V 和 1700V SiC 二极管 D1 系列。该技术结合了优异的低正向电压和高鲁棒性的优点，适用于需要高效率和可靠性的应用。

3.1. 目标应用场景

如图 5 所示，SiC 二极管 D1 系列旨在实现服务器/电信电源、光伏逆变器、UPS、直流电动汽车充电桩电动汽车充电器和车载充电器等各种应用中的高性能。SiC D1 系列包括用于高频应用的低 QC 版本，如用于服务器和电信电源的 PFC 级、用于太阳能逆变器应用的 UPS 和升压级，以及用于太阳能逆变器和直流电动汽车充电站应用的低 VF 版本桥式二极管。

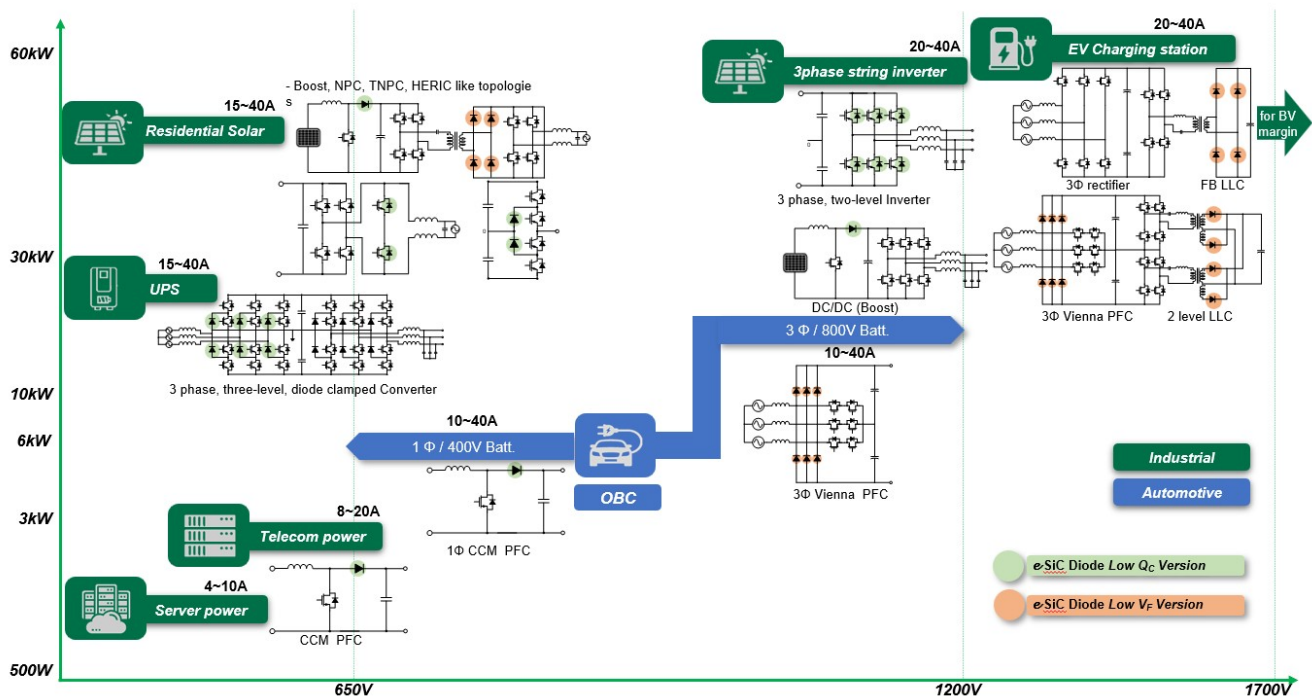


图 5。 SiC 二极管 D1 系列的目标应用场景

3.2. 特点和优点

SiC 二极管 D1 系列的目标性能是在具有低泄漏 (IR)、高浪涌电流能力 (IFSM)、低正向电压降 (VF) 和电容电荷 (QC) 之间提供良好平衡的折衷。因此，如图 6 所示，SiC 二极管 D1 能够通过广泛的封装选项提供高性能、经济高效和稳健的解决方案。

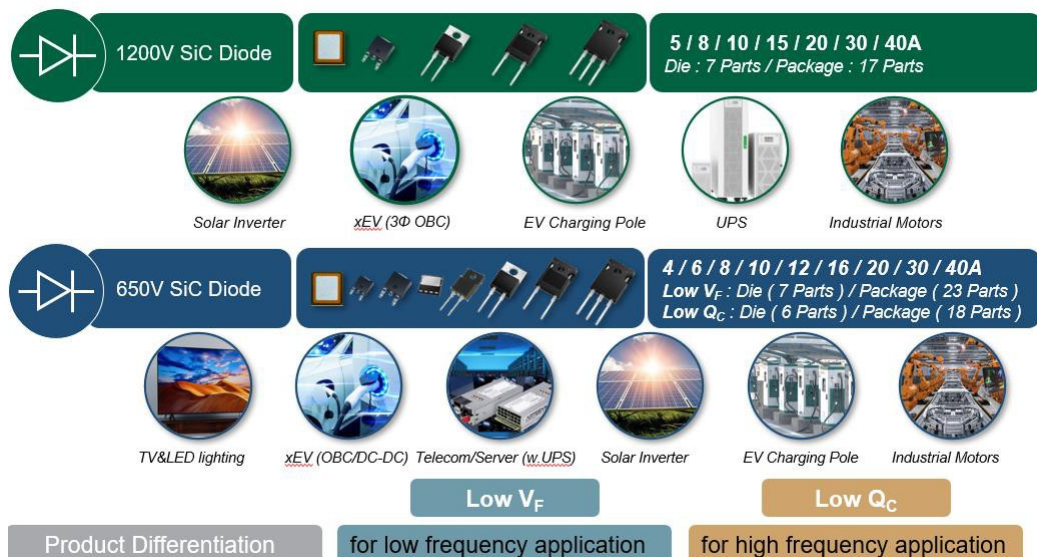


图 6。 SiC 二极管 D1 系列的产品组合

650V / 1200V SiC DIODE D1 SERIES

Key Features	Key Advantages	Application Benefits
• Low forward voltage, V_F • High surge current capability • No reverse recovery current • 175°C Max junction temperature • Switching behavior independent of temp. and current	• Low Conduction loss • High reliability capability • Significant reduction of MOSFET or IGBT turn on loss • Less Power loss at high temperature	• Higher system efficiency (CCM PFC) than Si diodes • High Performance/Cost Ratio • High reliability capability • Suitable for wide range of applications • Reduction of EMI • Reduction of cooling requirements

3.3. 1200V SiC 二极管 D1 系列的关键电气特性

将 1200V SiC 二极管的关键电气参数与竞争对手（包括最好的竞争对手）的器件进行了比较。萃锦半导体的第一代 1200V SiC 二极管 D1 系列与竞争对手的 SiC 二极管相比，非常具有竞争力的性能。表 1 显示了萃锦半导体的 1200V/20A SiC 二极管 D1 系列、BCH120S20D1 与竞争对手的 SiC 二极管的关键参数比较。1200V SiC 二极管 D1 系列显示出最低的漏电流（ I_R ）和优异的雪崩能力（ I_{AS} ），与最新的竞争对手相比， V_F 和 Q_C 平衡良好。

Specification	BCH120S20D1	Comp. C	Comp. I	Comp. R	Comp. S
$V_F @ T_C=25^\circ\text{C}$	1.39 V	1.43 V	1.53 V	1.48 V	1.31 V
$I_R @ T_C=175^\circ\text{C}$	3 μA	415 μA	148 μA	42 μA	11 μA
$Q_C @ V_r=800\text{V}$	121 nC	102 nC	78 nC	92 nC	137 nC
$I_{FSM} @ 10\text{ms}$	210 A	220 A	304 A	104 A	216 A
$I_{AS} @ L=350\mu\text{H}$	50 A	41 A	37 A	4 A	54 A

表 1. 萃锦半导体的 1200V/20A SiC 二极管 D1 系列的 BCH120S20D1 与竞争对手的关键参数比较。

3.4. 1200V SiC 二极管 D1 系列的竞争对手比较

SiC 二极管的关键参数是正向电压降（ V_F ）、电容电荷（ Q_C ）和浪涌电流能力（ I_{FSM} ）。图 7 显示了 1200V SiC 二极管 D1 系列相对于竞争对手的性能位置。如该雷达图所示，1200V SiC 二极管 D1 系列在电容电荷、 Q_C 和正向电压降（ V_F ）以及高雪崩能力之间提供了极具竞争力的权衡，与竞争对手的 SiC 二极管相比，具有一流的漏电流。1200V SiC 二极管 D1 系列具有具有竞争力的 I_{FSM} 能力。对于启动、交流跌落测试、输出短路等异常操作测试，客户需要 I_{FSM} （非重复正向浪涌电流）能力来获得更大的设计裕度。萃锦半导体的 SiC 二极管 D1 系列具有高度优化和平衡的性能，以获得更高的效率和耐用性。因此，1200V SiC 二极管 D1 的卓越参数为目标应用带来了更高的系统效率和可靠性。

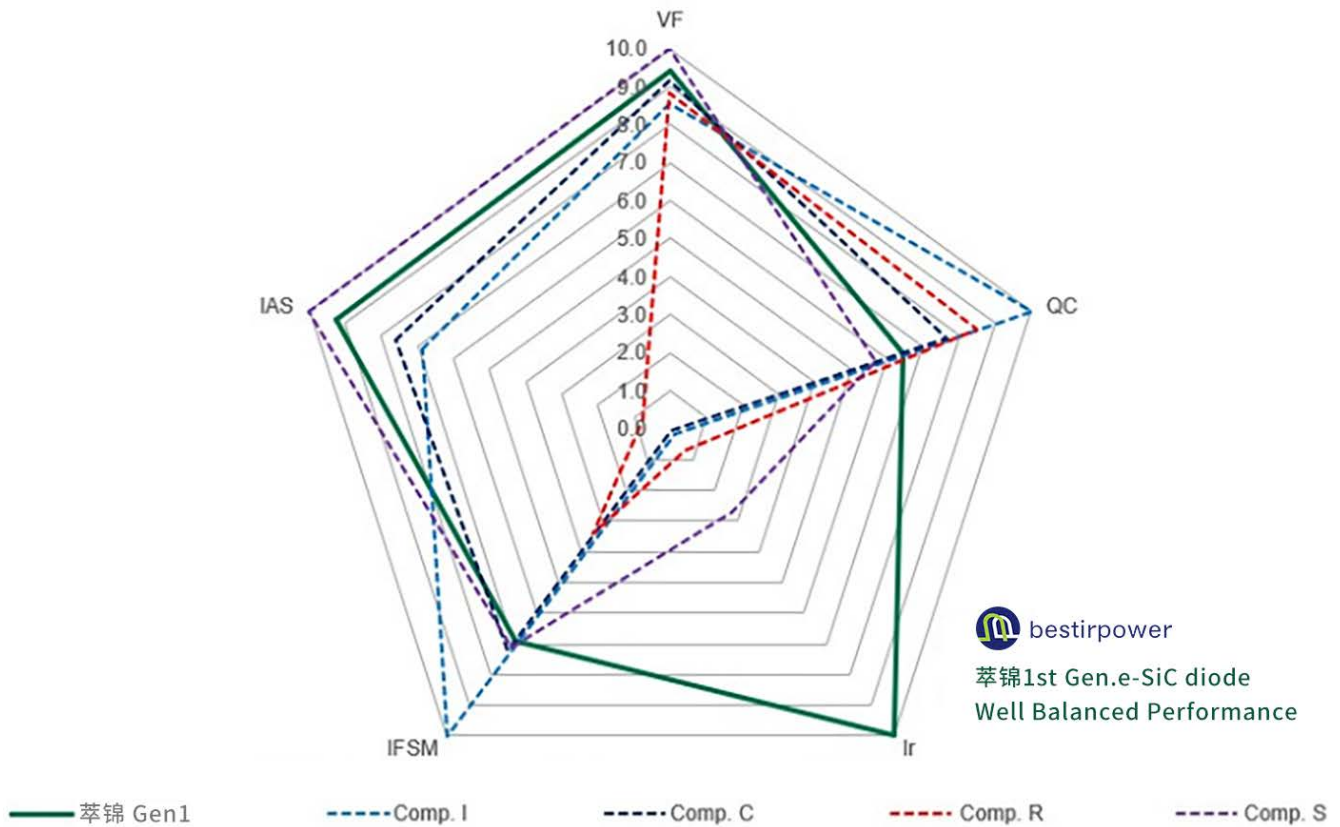


图 7.1200V/20A SiC 二极管 D1 系列与竞争对手的性能位置

(注 1: 10 是最好的, 0 是最差的)

3.5.1200V SiC 二极管 D1 系列的正向电压降, VF

正向电压 (VF) 是 SiC 二极管的关键参数之一, 因为它直接关系到 SiC 二极管的导通损耗。二极管的导通损耗由公式 1 计算。为了减少导通损耗, 必须减少导通模式下的正向电压降 VF。

公式 1:

$$P_{cond} = V_F \cdot I_F$$

其中, I_F 是通过二极管的正向电流。

VF 有两个分量, 如公式 2 中所示。开始导通电流的阈值电压 V_{th} , R_{bulk} 表示二极管的整体电阻。

公式 2:

$$V_F = V_{th} + (I_F \cdot R_{bulk})$$

与硅二极管不同, SiC 肖特基二极管的体电阻主导着正向行为, 并且正向电压降随着温度和正向电流的增加而增加。由于正温度系数, 与 Si 二极管相比, SiC 肖特基二极管适合并联操作。如图 8 所示, 萃锦半导

体的 SiC 二极管 D1 系列与竞争对手的 SiC 二极管相比，具有出色的正向压降性能。SiC 二极管在高电流工作时表现出正温度系数（PTC）。如图 9 所示，与竞争对手的 SiC 二极管相比，SiC 二极管 D1 显示出更低的 VF 温度依赖性。

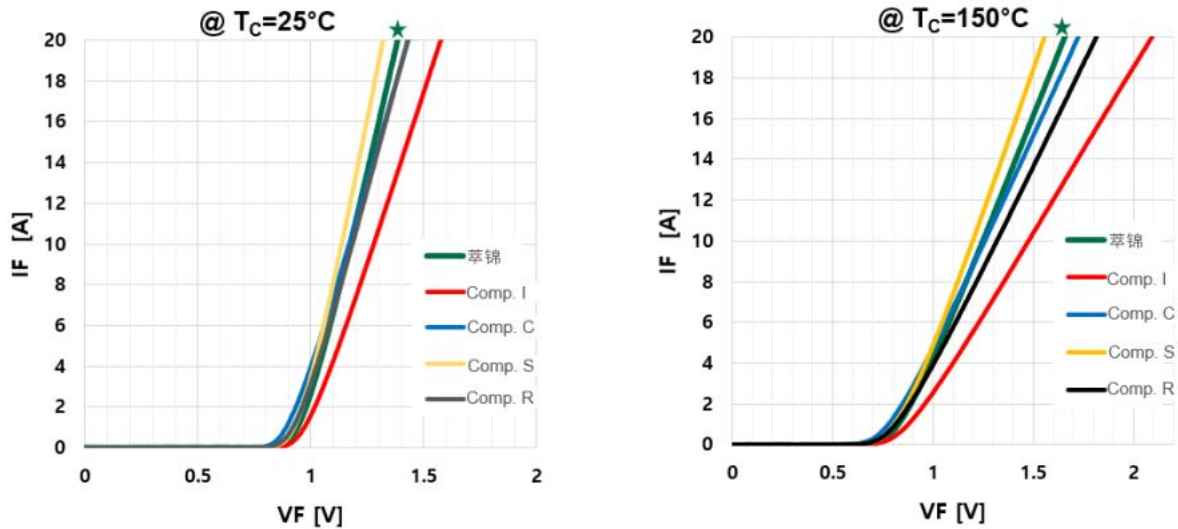


图 8. 1200V/20A SiC 二极管 D1 系列和竞品在 TC=25°C 和 150°C 时的正向压降 VF 比较

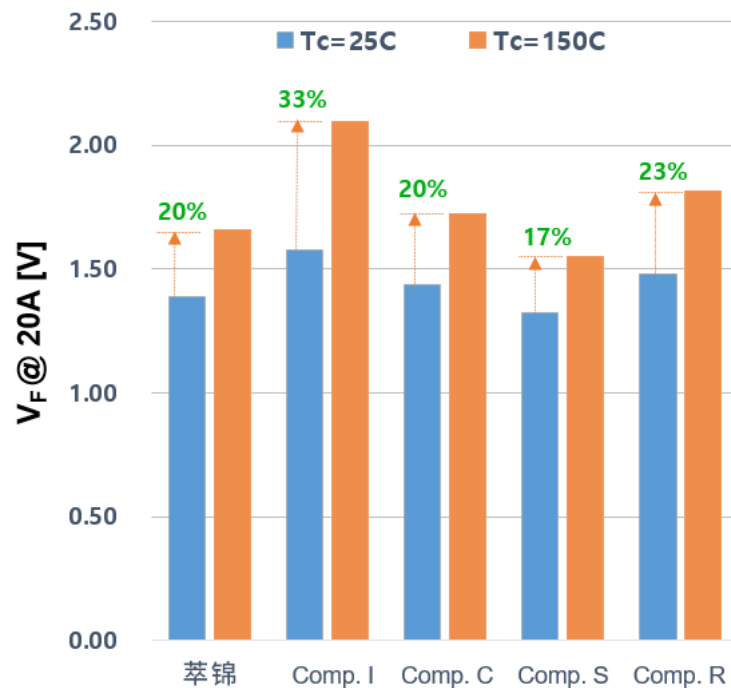


图 9. 1200V/20A SiC 二极管 D1 系列和竞品在 TC=25°C 和 150°C 时的正向压降 VF 的温度相关性的比较

3.6. 低 VF 版本（SiC 二极管 D1 系列）和低 QC 版本（SiC 二极管 D1Q 系列）

图 10 显示了 CCM 升压 PFC 电路及其操作模式，包括电流和电压波形，以说明作为 CCM 升压 PFC 中的升压二极管的低 Q_{rr} 要求。最初，升压二极管传导输入电流，二极管中存在一定量的存储少数电荷。在

BP-ANCD2305 D1 系列碳化硅二极管- 萃锦的第一代 SiC 二极管技术

导通开关转换期间, MOSFET 导通, 而升压二极管关断。电感器电流流经 MOSFET, 除了整流的输入电流外, 还包括升压二极管的反向恢复和放电电流。因此, 二极管反向恢复充电 (Q_{rr} 和 Q_C) 直接影响 MOSFET 的导通损耗。使用 SiC 二极管代替 Si-FRD 作为升压二极管可以很容易地提高系统效率, 因为 SiC 二极管极低的 Q_C 大大有助于最小化 MOSFET 导通开关损耗。

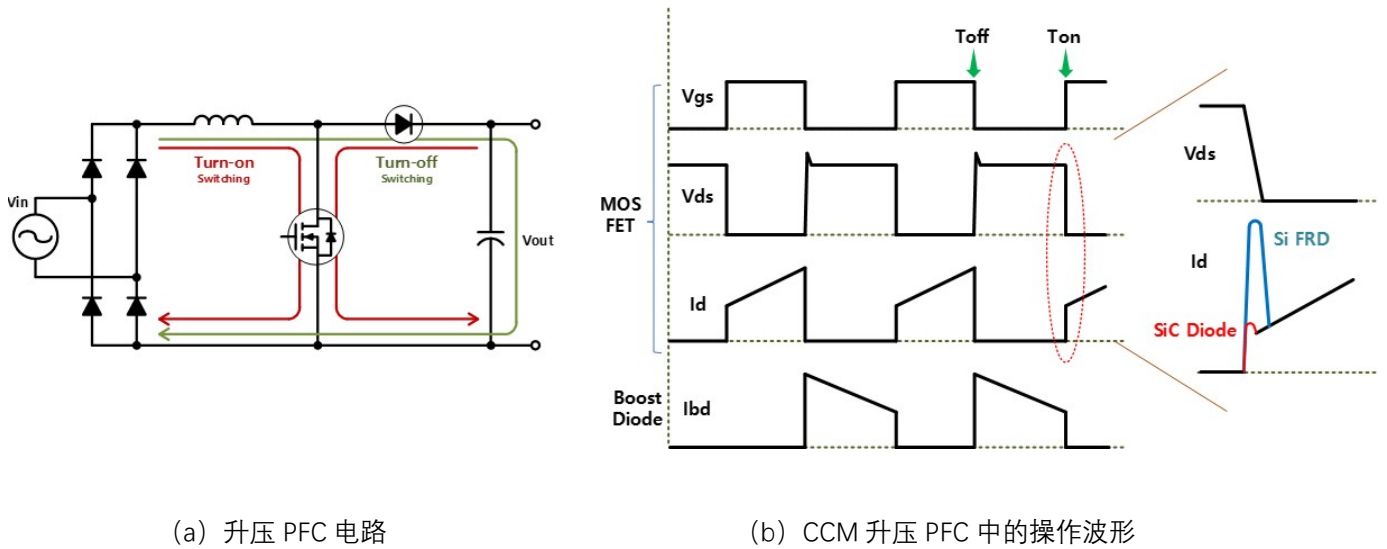


图 10. Boost CCM PFC 中 SiC 二极管 Q_C 对 MOSFET 导通损耗的影响

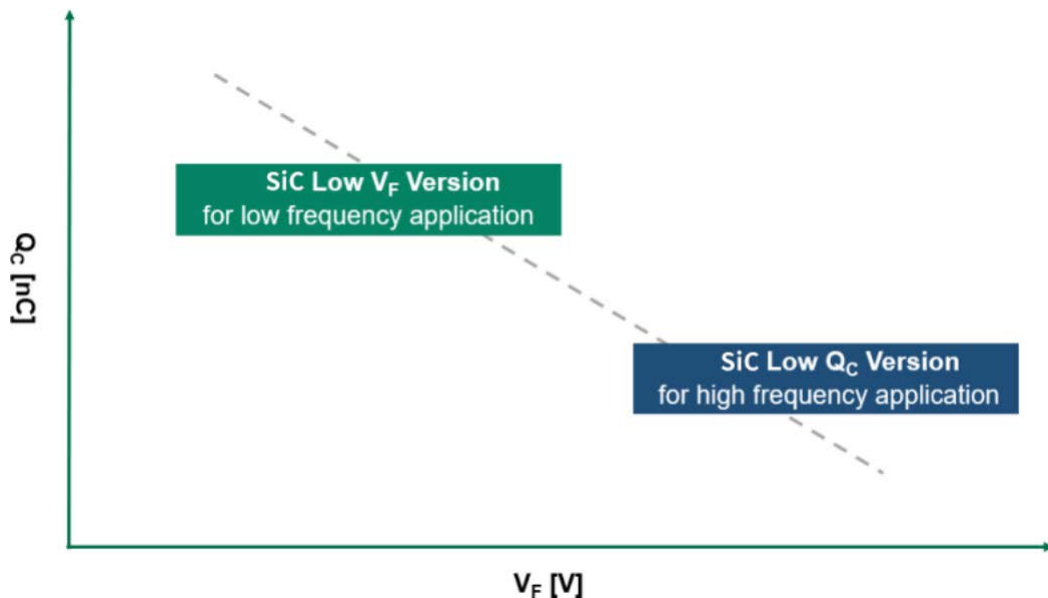


图 11. 650V SiC 二极管 D1 的低 V_F 版本和低 Q_C 版本

通过降低高频应用的开关导通损耗, SiC 二极管主要用作升压二极管或 SiC 二极管和 Si IGBT 的混合组, 用于 2 电平拓扑。SiC 二极管也用作交流输入或直流输出整流器, 用于低频应用, 如图 5 所示。

萃锦半导体为每种目标拓扑结构和应用提供优化的 SiC 二极管 D1 产品组合。萃锦半导体设计了两种类型的 SiC 二极管 D1 和 D1Q, 以帮助满足各种拓扑结构和设计要求。如图 11 所示, SiC 二极管低 Q_C 版本 (D1Q) 针对高频应用, 如开关损耗更关键的升压二极管或 2 电平拓扑, SiC 半导体低 V_F 版本 (D1) 针对低频应用进行了优化, 如传导损耗更重要的输入或输出整流器。图 12 显示了 1kw 升压转换器中 SiC 二极管的功率损耗分析。

BP-ANCD2305 D1 系列碳化硅二极管- 萃锦的第一代 SiC 二极管技术

$V_{in}=230VAC$, $F_{sw}=20/100kHz$ 。如图 12 所示，在整个负载范围内，开关损耗对高频操作（100kHz）更为关键，而传导损耗对低频操作（20kHz）更关键，尤其是在重负载下。

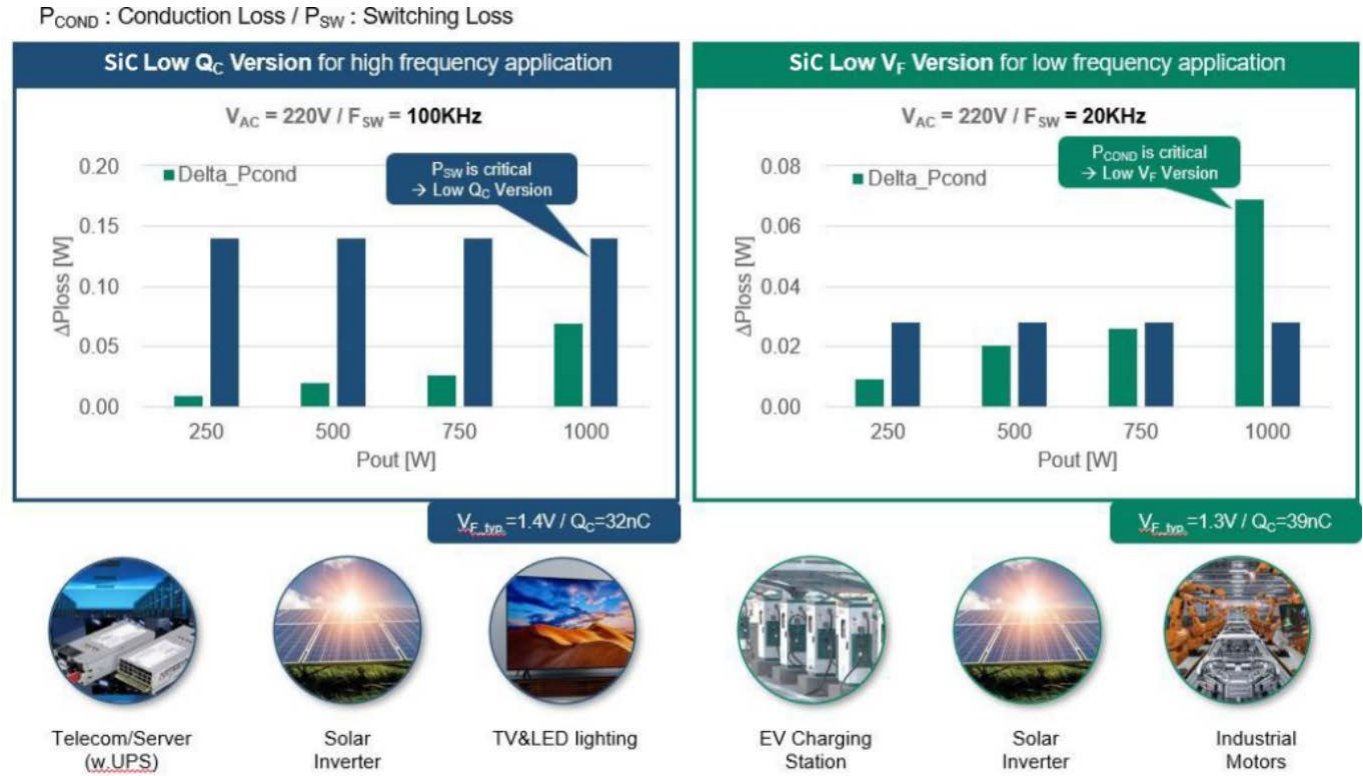


图 12. 不同开关频率下低 V_F 和低 Q_C 版本的功率损耗分析

4. 结论

D1 系列二极管是萃锦利用 MPS 技术的 SiC 二极管家族。这项技术结合了高浪涌电流能力和优异性能的优点，在低频和高频应用中都具有较低的 V_F 和 Q_C 。因此，D1 系列二极管适用于许多需要卓越效率和更高系统鲁棒性的应用。

5. SiC 二极管 D1 系列的产品组合和命名规则

5.1. 650V / 1200V / 1700V 碳化硅二极管 D1 系列的产品组合

表 2. 650V SiC 二极管 D1 系列产品组合

BP-ANCD2305 D1 系列碳化硅二极管- 萃锦的第一代 SiC 二极管技术

650V SiC Diode Lineup					TV Power / LED Server / Telecom Power EV Charging Station EV OBC				
Package	Die	DPAK	D2PAK	PQFN88	TO-220F 2L	TO-220 2L	TO-247 2L	TO-247 3L	
I_F									
Low V_F for Low Freq. Applications	40A							BCW65D40D1	
	30A							BCW65D30D1	
	20A	BCO65S20D1		BCB65S20D1		BCF65S20D1	BCH65S20D1	BCA65S20D1	BCW65D20D1
	16A	BCO65S16D1					BCH65S16D1		BCW65D16D1
	12A	BCO65S12D1				BCF65S12D1	BCH65S12D1		
	10A	BCO65S10D1	BCD65S10D1	BCB65S10D1		BCF65S10D1	BCH65S10D1		
	8A	BCO65S08D1		BCB65S08D1		BCF65S08D1	BCH65S08D1		
	6A	BCO65S06D1				BCF65S06D1	BCH65S06D1		
4A	BCO65S04D1				BCF65S04D1	BCH65S04D1			
Low Q_C for High Freq. Applications	40A								BCW65D40D1Q
	30A								BCW65D30D1Q
	20A	BCO65S20D1Q		BCB65S20D1Q		BCF65S20D1Q	BCH65S20D1Q	BCA65S20D1Q	BCW65D20D1Q
	16A	BCO65S16D1Q					BCH65S16D1Q		BCW65D16D1Q
	12A	BCO65S12D1Q		BCB65S12D1Q		BCF65S12D1Q	BCH65S12D1Q		
	10A	BCO65S10D1Q				BCF65S10D1Q	BCH65S10D1Q		
	8A	BCO65S08D1Q				BCF65S08D1Q	BCH65S08D1Q		
	6A	BCO65S06D1Q				BCF65S06D1Q	BCH65S06D1Q		

表 3. 1200V/1700V SiC 二极管 D1 系列产品组合

1200V SiC Diode Lineup		Solar inverter UPS EV Charging Station Industrial Motor				
I_F	Package	Die	D2PAK	TO-220 2L	TO-247 2L	TO-247 3L
						
40A		BCO120S40D1			BCA120S40D1	BCW120D40D1 BCW120D40D1Q
30A		BCO120S30D1			BCA120S30D1 BCA120S30D1Q	BCW120D30D1
20A		BCO120S20D1	BCB120S20D1	BCH120S20D1	BCA120S20D1	BCW120D20D1
15A		BCO120S15D1		BCH120S15D1	BCA120S15D1	BCW120D15D1
10A		BCO120S10D1	BCB120S10D1	BCH120S10D1	BCA120S10D1	BCW120D10D1
8A		BCO120S08D1		BCH120S08D1		
5A		BCO120S05D1		BCH120S05D1		

1700V SiC Diode Lineup						
I_F	Package	Die	D2PAK	TO-220 2L	TO-247 2L	TO-247 3L
						
25A		BCO170S25D1			BCA170S25D1	
10A		*BCO170S10D1			*BCA170S10D1	
5A		*BCO170S05D1			*BCA170S05D1	

* Coming Soon

* Coming Soon

欲了解更多信息，请访问 www.bestirpower.com

5.2.命名规则

器件零件号包含许多信息，如技术、封装、额定电压和发电等。图 13 显示了萃锦半导体的 SiC 二极管，即

SiC 碳化硅二极管命名规则。

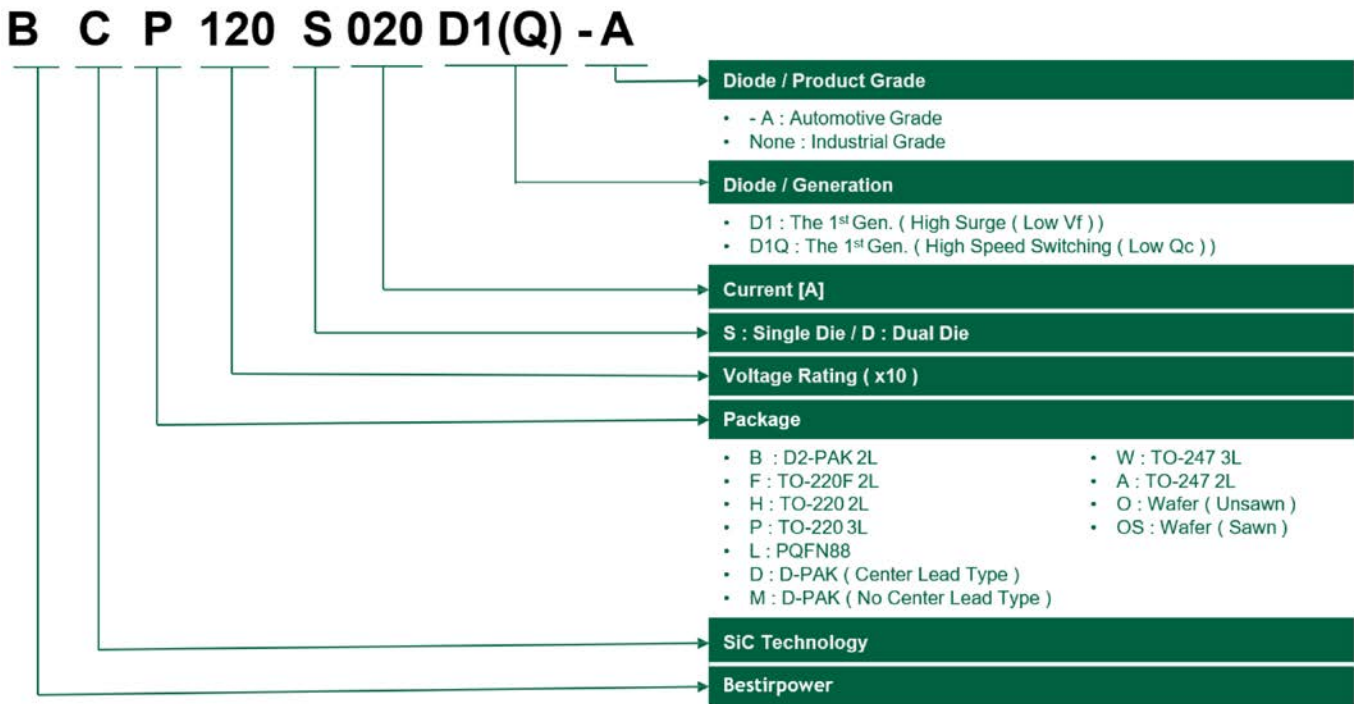


图 13. SiC 二极管命名规则

6. 文档修订历史记录

Date	Description of change
28-Jul-2023	First Release

重要通知

萃锦半导体保留对本文件和相关产品中的信息进行更改的权利，恕不另行通知。

• 未经萃锦半导体事先书面许可，不得复制本文件和此处的任何信息

• 本文件如有更改，恕不另行通知。

• 本文和本文档中描述的产品受特定免责声明的约束

• 尽管萃锦半导体不断提高质量和可靠性，但产品可能会出现故障或失效。客户有责任遵守安全标准，并为其系统提供充分的设计和保障。

• 客户全权负责其产品设计或应用的所有方面，包括但不限于确定本产品使用的适当性，确定本文件中包含的任何信息的适用性。