



SiC 功率器件・模块

使用手册

Rev. 001

2013 年 3 月发行

13103CAY01

目录

1. SiC 半导体.....	3
1.1 SiC 材料的物性和特征.....	3
1.2 SiC 功率器件的特征.....	3
2. SiC SBD 的特征.....	4
2.1 器件结构和特征.....	4
2.2 SiC-SBD 的正向特性.....	4
2.3 SiC-SBD 的恢复特性.....	5
3. SiC-MOSFET 的特征.....	7
3.1 器件结构和特征.....	7
3.2 标准化导通电阻.....	8
3.3 Vd-Id 特性.....	9
3.4 驱动门极电压和导通电阻.....	9
3.5 Vg-Id 特性.....	10
3.6 Turn-on (导通) 特性.....	11
3.7 Turn-off (关断) 特性.....	12
3.8 内部门极电阻.....	13
3.9 门极驱动电路.....	14
3.10 体二极管的 Vf 和反向导通.....	15
3.11 体二极管的恢复特性.....	16
4. SiC 功率模块的特征.....	17
4.1 SiC 模块的特征.....	17
4.2 电路结构.....	17
4.3 开关特性.....	18
4.3.1 漏极电流依赖性以及温度依赖性.....	18
4.3.2 门极电阻依赖性.....	19
4.3.3 门极偏压依赖性.....	21
4.4 与 IGBT 模块的开关损耗比较.....	21
4.4.1 总开关损耗的比较.....	21
4.4.2 恢复损耗(Err)的比较.....	22
4.4.3 Turn-on 损耗(Eon)的比较.....	22
4.4.4 Turn-off 损耗(Eoff)的比较.....	23
5. SiC-SBD 的可靠性.....	24
5.1 dV/dt 破坏、dI/dt 破坏.....	24
5.2 SiC-SBD 可靠性测试结果.....	24
6. SiC-MOSFET 的可靠性.....	25
6.1 门极氧化膜.....	25

6.2	阈值稳定性（门极正偏压）	26
6.3	阈值稳定性（门极负偏压）	26
6.4	与体二极管导电相关的可靠性	27
6.5	短路耐量	28
6.6	dV/dt 破坏	29
6.7	由宇宙射线引起的中子耐量	29
6.8	静电破坏耐量	29
6.9	SiC-MOSFET 可靠性测试结果	30
7.	SiC 功率模块的使用方法和可靠性	31
7.1	针对浪涌电压的对策	31
7.2	针对误触发动作的对策	31
7.3	RBSOA（反向偏压安全操作区）	32
7.4	SiC 功率模块的可靠性测试结果	33
8.	型号的构成	34
8.1	SiC-SBD（分立器件）	34
8.2	SiC-MOSFET（分立器件）	34
8.3	SiC 功率模块	35
8.4	SiC-SBD（Chip）	35
8.5	SiC-MOSFET（Chip）	35
9.	应用电路举例	36
9.1	功率因数改善电路（PFC）（连续模式）	36
9.2	用于功率调节器的逆变器	36
9.3	DC/DC 转换器	36
9.4	双向转换器	37
9.5	用于 IH 的逆变器	37
9.6	马达驱动	37
9.7	降压斩波	38
9.8	音频直流放大器	38

1. SiC 半导体

1.1 SiC 材料的物性和特征

SiC（碳化硅）是一种由硅（Si）和碳（C）构成的化合物半导体材料，不仅绝缘击穿场强是 Si 的 10 倍，带隙是 Si 的 3 倍，而且在器件制作时可以在较宽范围内控制必要的 p 型、n 型，所以被认为是一种超越 Si 极限的功率器件用材料。SiC 中存在各种多型体（结晶多系），它们的物性值也各不相同。用于功率器件制作的话，4H-SiC 最为合适，现在 3inch~6inch 的单结晶晶圆正在量产中。

Properties	Si	4H-SiC	GaAs	GaN
Crystal Structure	Diamond	Hexagonal	Zincblende	Hexagonal
Energy Gap : E_G (eV)	1.12	3.26	1.43	3.5
Electron Mobility : μ_n (cm^2/Vs)	1400	900	8500	1250
Hole Mobility : μ_p (cm^2/Vs)	600	100	400	200
Breakdown Field : E_B (V/cm) $\times 10^6$	0.3	3	0.4	3
Thermal Conductivity (W/cm $^\circ\text{C}$)	1.5	4.9	0.5	1.3
Saturation Drift Velocity : v_s (cm/s) $\times 10^7$	1	2.7	2	2.7
Relative Dielectric Constant : ϵ_s	11.8	9.7	12.8	9.5
p, n Control	○	○	○	△
Thermal Oxide	○	○	×	×

1.2 SiC 功率器件的特征

SiC 的绝缘击穿场强大约是 Si 的 10 倍，因此与 Si 器件相比，能够以具有更高的杂质浓度和更薄的厚度的漂移层制作出 600V~数千 V 的高耐压功率器件。高耐压功率器件的阻抗主要由该漂移层的阻抗组成，因此采用 SiC 可以得到单位面积导通电阻非常低的高耐压器件。理论上，相同耐压的器件，SiC 的单位面积的漂移层阻抗可以降低到 Si 的 1/300。而 Si 材料中，为了改善伴随高耐压化而引起的导通电阻增大的问题，主要采用如 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor: 绝缘栅极双极型晶体管) 等少数载流子器件(双极型器件)，但是却存在开关损耗大的问题，其结果是由此产生的发热会限制 IGBT 的高频驱动。SiC 材料却能够以高频器件结构的多数载流子器件(肖特基势垒二极管和 MOSFET)去实现高耐压，从而同时实现“高耐压”、“低导通电阻”、“高频”这三个特性。

另外，带隙较宽，是 Si 的 3 倍，因此 SiC 功率器件即使在高温下也可以稳定工作（目前由于受到封装的耐热可靠性限制，只保证 150 $^\circ\text{C}$ ~175 $^\circ\text{C}$ ，但是随着未来封装技术的发展，也可以保证 200 $^\circ\text{C}$ 以上的温度）。

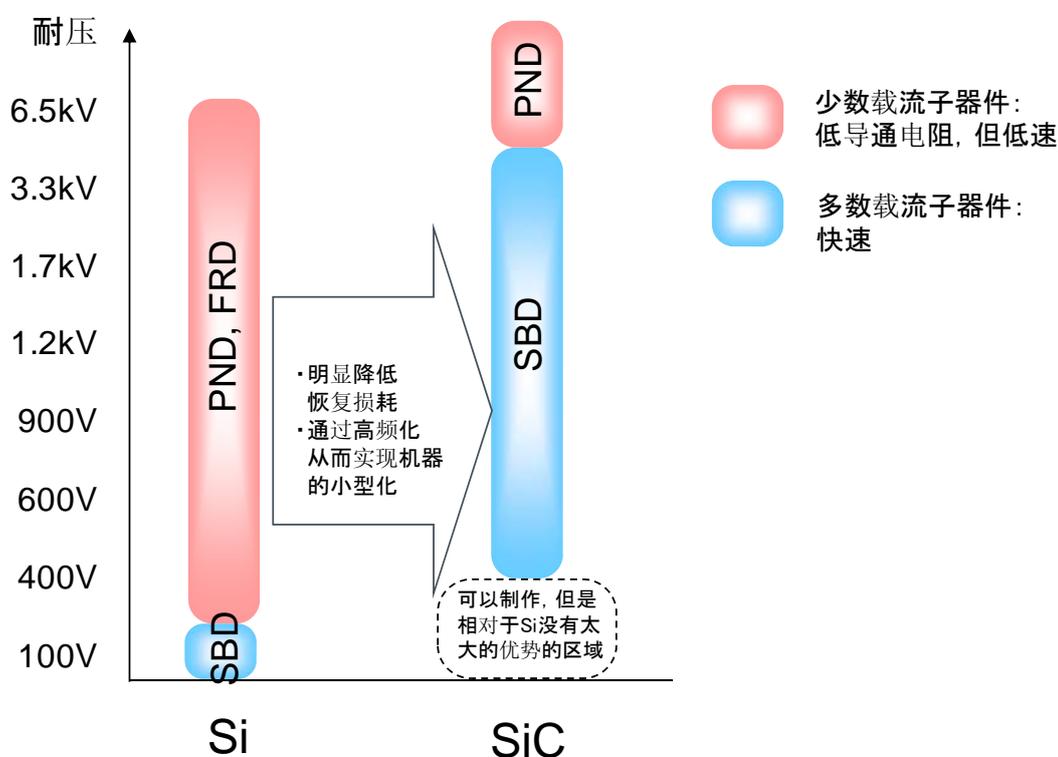
2. SiC-SBD 的特征

2.1 器件结构和特征

SiC 能够以高频器件结构的 SBD（肖特基势垒二极管）结构得到 1200V 以上的高耐压二极管。（Si 的 SBD 最高耐压为 150V 左右）。

因此，如果用 SiC-SBD 替换现在主流产品的快速 PN 结二极管（FRD：快速恢复二极管），能够明显地减少恢复损耗，有利于电源的高效率化，并且通过高频驱动实现线圈等被动器件的小型化，而且可以降噪。目前广泛应用于空调、电源、光伏发电系统中的功率调节器以及电动汽车的快速充电器等的功率因数校正电路（PFC 电路）和整流桥电路中。

目前，ROHM 的 SiC-SBD 主要产品线为 600V、1200V、1700V 产品正在开发中。

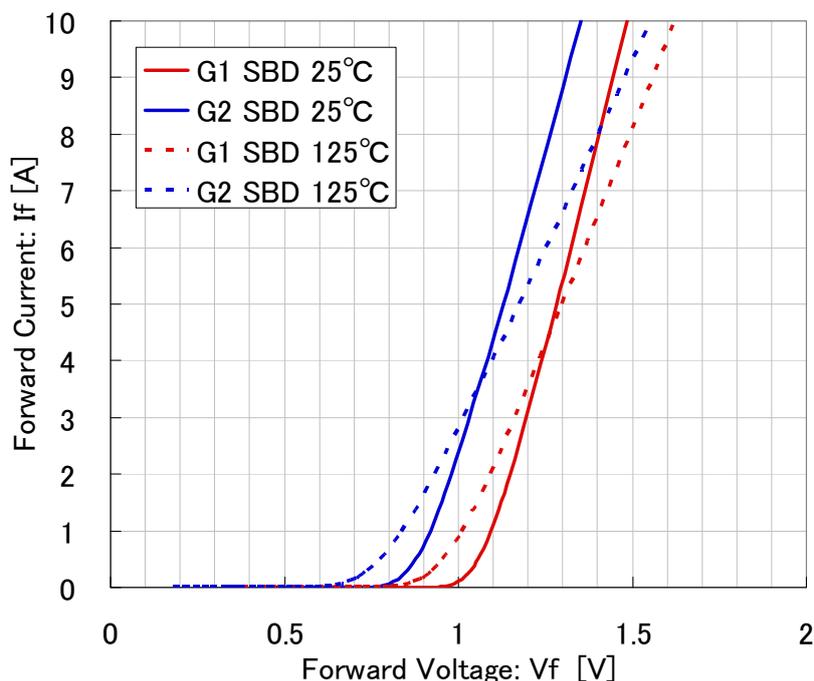


2.2 SiC-SBD 的正向特性

SiC-SBD 的开启电压与 Si-FRD 相同，小于 1V。开启电压由肖特基势垒的势垒高度决定，通常如果将势垒高度设计得低的话，开启电压也可以做得低一些，但是这也将导致反向偏压时的漏电流增大。ROHM 的第二代 SBD，通过改进制造工艺，成功地使漏电流和恢复性能保持与旧产品相等，而开启电压降低了约 0.15V。

SiC-SBD 的温度依存性与 Si-FRD 不同，温度越高，它的导通阻抗就会增加，从而 Vf 值也增加。不易发生热失控，所以可以放心地并联使用。

Forward Characteristics of 600V 10A SiC-SBD



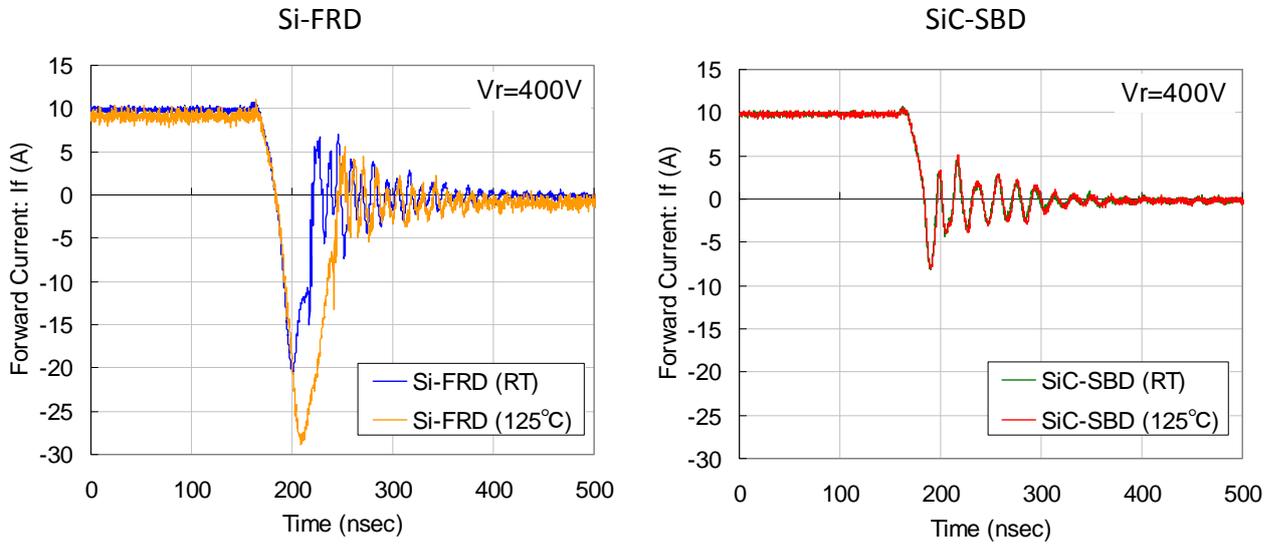
2.3 SiC-SBD 的恢复特性

Si 的快速 PN 结二极管 (FRD:快速恢复二极管) 在从正向切换到反向的瞬间会产生极大的瞬态电流, 在此期间转移为反向偏压状态, 从而产生很大的损耗。这是因为正向通电时积聚在漂移层内的少数载流子不断地进行电传导直到消亡 (该时间也称为积聚时间)。正向电流越大, 或者温度越高, 恢复时间和恢复电流就越大, 从而损耗也就越大。

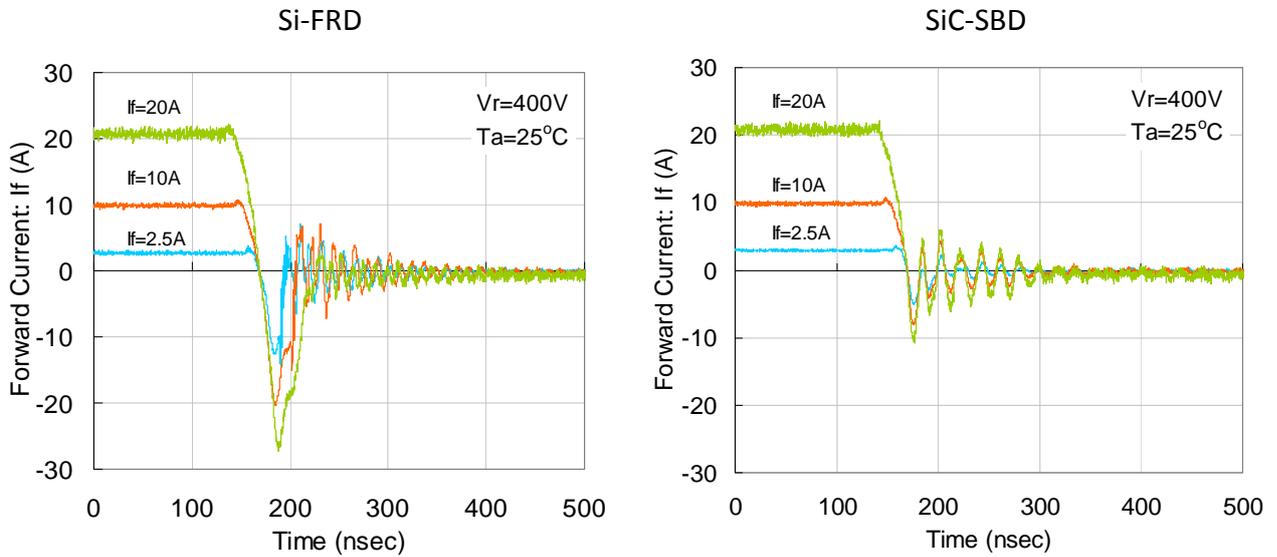
与此相反, SiC-SBD 是不使用少数载流子进行电传导的多数载流子器件 (单极性器件), 因此原理上不会发生少数载流子积聚的现象。由于只产生使结电容放电程度的小电流, 所以与 Si-FRD 相比, 能够明显地减少损耗。而且, 该瞬态电流基本上不随温度和正向电流而变化, 所以不管何种环境下, 都能够稳定地实现快速恢复。另外, 还可以降低由恢复电流引起的噪音, 达到降噪的效果。

Reverse Recovery Waveform (600V 10A)

Temperature Dependency



Forward Current Dependency



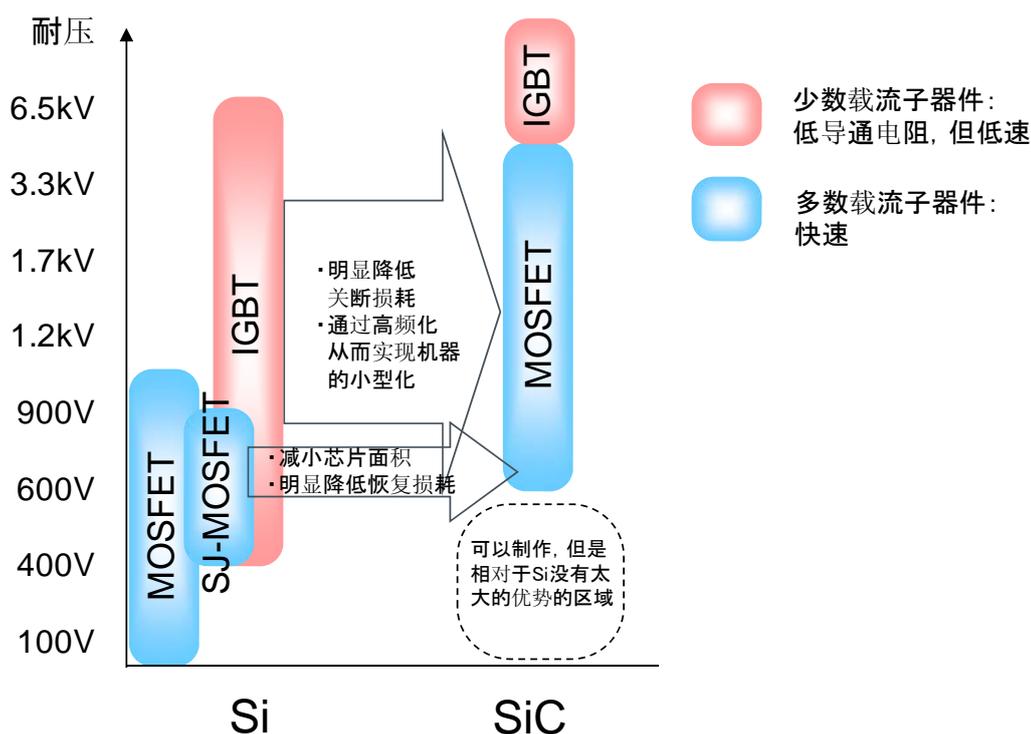
3. SiC-MOSFET 的特征

3.1 器件结构和特征

Si 材料中，越是高耐压器件，单位面积的导通电阻也越大（以耐压值的约 2~2.5 次方的比例增加），因此 600V 以上的电压中主要采用 IGBT（绝缘栅极双极型晶体管）。IGBT 通过电导率调制，向漂移层内注入作为少数载流子的空穴，因此导通电阻比 MOSFET 还要小，但是同时由于少数载流子的积聚，在 Turn-off 时会产生尾电流，从而造成极大的开关损耗。

SiC 器件漂移层的阻抗比 Si 器件低，不需要进行电导率调制就能够以高频器件结构的 MOSFET 实现高耐压和低阻抗。而且 MOSFET 原理上不产生尾电流，所以用 SiC-MOSFET 替代 IGBT 时，能够明显地减少开关损耗，并且实现散热部件的小型化。另外，SiC-MOSFET 能够在 IGBT 不能工作的高频条件下驱动，从而也可以实现被动器件的小型化。与 600V~900V 的 Si-MOSFET 相比，SiC-MOSFET 的优势在于芯片面积小（可以实现小型封装），而且体二极管的恢复损耗非常小。

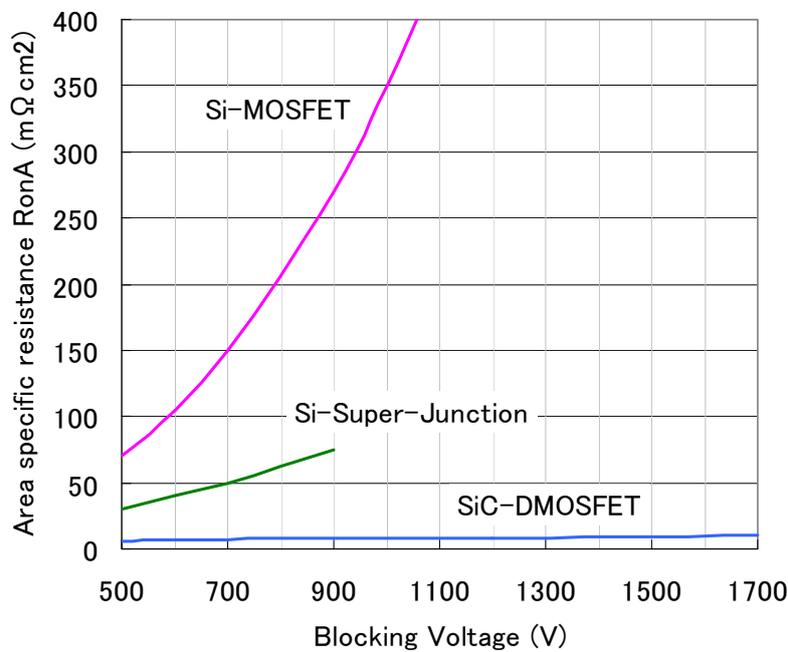
目前 ROHM 的主要产品线是 1200V 的平面型 MOSFET，650V、1700V 产品正在开发中，主要应用于工业机器电源、高效率功率调节器的逆变器或转换器中。



3.2 标准化导通电阻

SiC 的绝缘击穿场强是 Si 的 10 倍，所以能够以低阻抗、薄厚度的漂移层实现高耐压。因此，在相同的耐压值的情况下，SiC 可以得到标准化导通电阻（单位面积导通电阻）更低的器件。例如 900V 时，SiC-MOSFET 的芯片尺寸只需要 Si-MOSFET 的 35 分之 1、SJ-MOSFET 的 10 分之 1，就可以实现相同的导通电阻。不仅能够以小封装实现低导通电阻，而且能够使门极电荷量 Q_g 、结电容也变小。

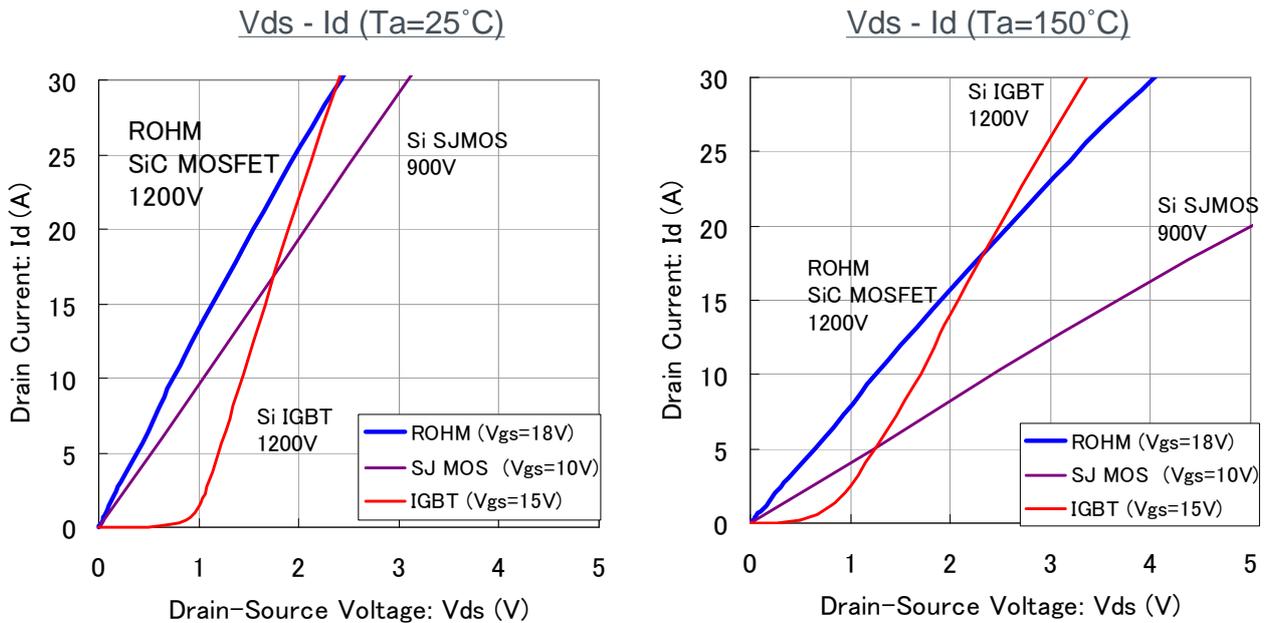
目前，Super Junction MOSFET 只有 900V 的产品，但是 SiC 却能够以很低的导通电阻轻松实现 1700V 以上的耐压。因此，没有必要再采用 IGBT 这种双极型器件结构（导通电阻变低，则开关速度变慢），就可以实现低导通电阻、高耐压、快速开关等各优点兼备的器件。



3.3 Vd-Id 特性

SiC-MOSFET 与 IGBT 不同，不存在开启电压，所以从小电流到大电流的宽电流范围内都能够实现低导通损耗。

而 Si-MOSFET 在 150°C 时导通电阻上升为室温条件下的 2 倍以上，与 Si-MOSFET 不同，SiC-MOSFET 的上升率比较低，因此易于热设计，且高温下的导通电阻也很低。



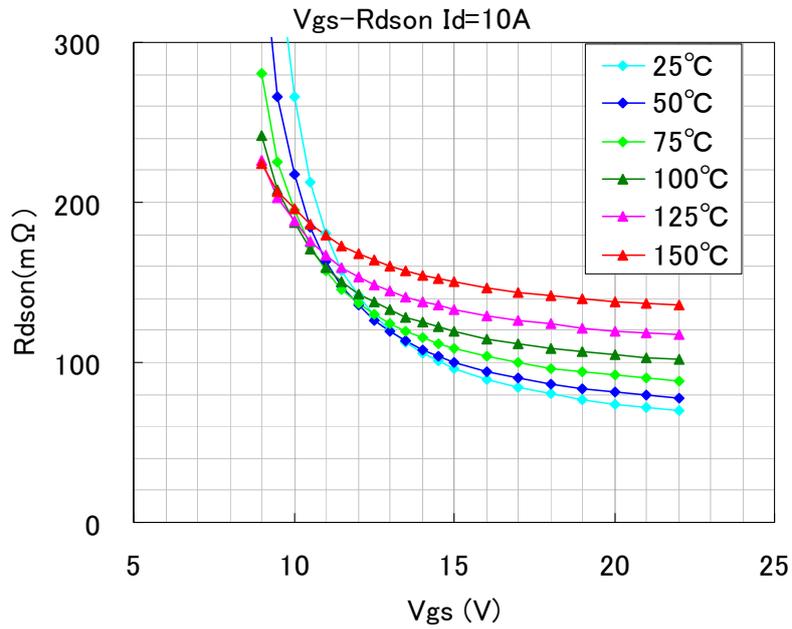
※该数据是ROHM在相同条件下测试的结果，仅供参考。此处表示的特性本公司不做任何保证。

3.4 驱动门极电压和导通电阻

SiC-MOSFET 的漂移层阻抗比 Si-MOSFET 低，但是另一方面，按照现在的技术水平，SiC-MOSFET 的 MOS 沟道部分的迁移率比较低，所以沟道部的阻抗比 Si 器件要高。因此，越高的门极电压，可以得到越低的导通电阻（Vgs=20V 以上则逐渐饱和）。如果使用一般 IGBT 和 Si-MOSFET 使用的驱动电压 Vgs=10~15V 的话，不能发挥出 SiC 本来的低导通电阻的性能，所以为了得到充分的低导通电阻，推荐使用 Vgs=18V 左右进行驱动。

Vgs=13V 以下的话，有可能发生热失控，请注意不要使用。

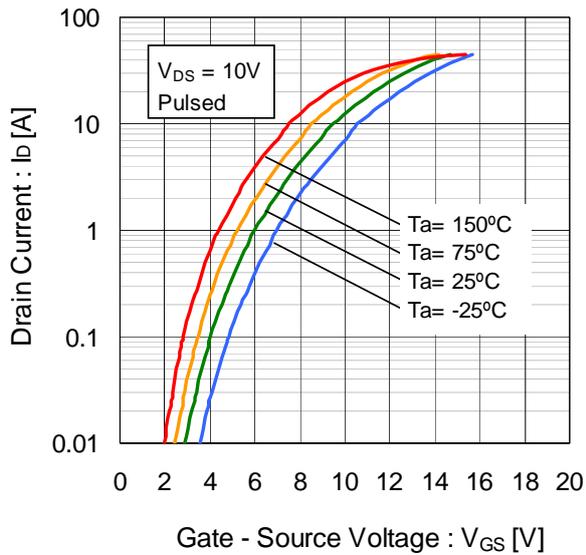
On-resistance vs Vgs



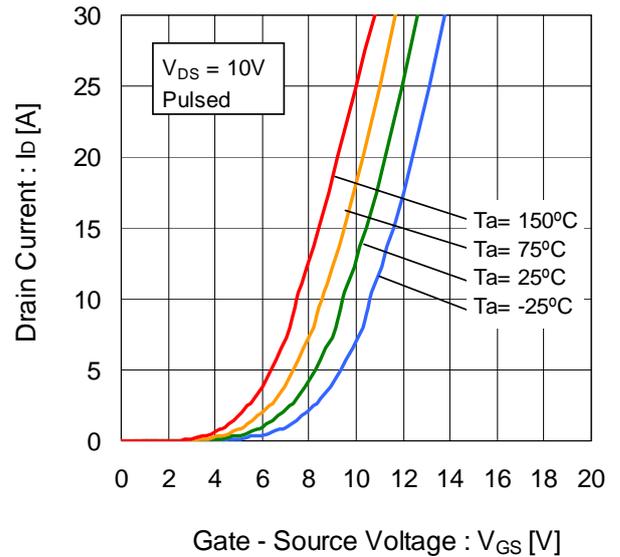
3.5 Vg-Id 特性

SIC-MOSFET 的阈值电压在数 mA 的情况下定义的话, 与 Si-MOSFET 相当, 室温下大约 3V(常闭)。但是, 如果流通几 A 的话, 需要的门极电压在室温下约为 8V 以上, 所以可以认为针对误触发的耐性与 IGBT 相当。温度越高, 阈值电压越低。

Vg- Id Characteristics (log scale)

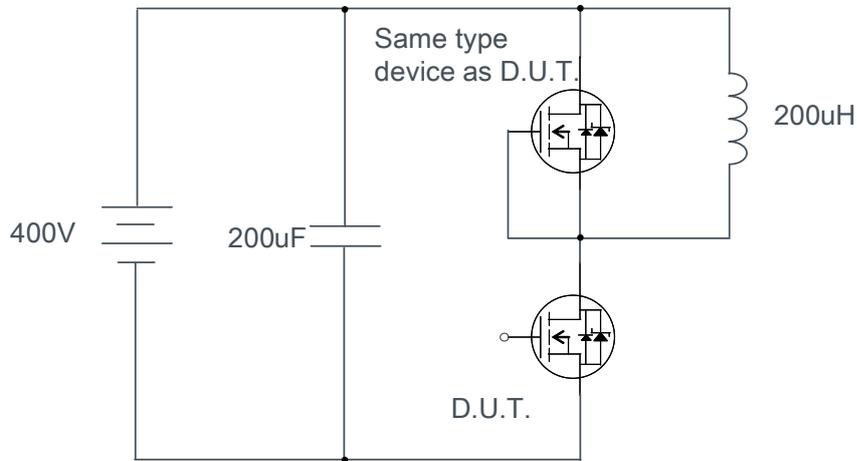


Vg- Id Characteristics (linear scale)



3.6 Turn-on 特性

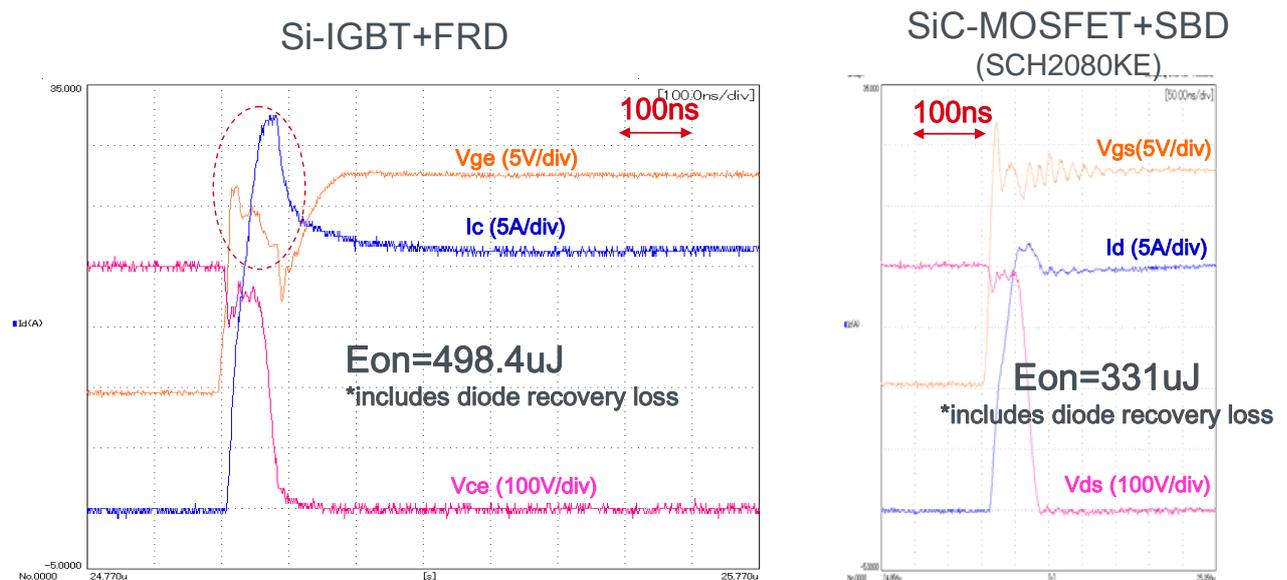
SiC-MOSFET/SiC-SBD 封装一体化产品 SCH2080KE 和同规格等级的 Si-IGBT/Si-FRD 封装一体化产品分别搭成半桥电路，通过感性负载双脉冲测试对开关波形进行比较。



SiC-MOSFET 的 Turn-on 速度与 Si-IGBT 和 Si-MOSFET 相当，大约几十 ns。但是在感性负载开关的情况下，由通往上臂二极管的回流产生的恢复电流也流过下臂，由于各二极管性能的偏差，从而产生很大的损耗。

Si-FRD 和 Si-MOSFET 中的体二极管的通常恢复电流非常大，会产生很大的损耗，而且在高温下该损耗有进一步增大的趋势。与此相反，SiC-SBD 不受温度影响，可以快速恢复，SiC-MOSFET 的体二极管虽然 Vf 较高但是与 SBD 相同，具有相当的快速恢复性能。通过这些快速恢复性能，可以减少 Turn-on 损耗（Eon）好几成。

开关速度极大程度上决定于外部的门极电阻 Rg。为了实现快速动作，推荐使用几 Ω 左右的低阻值门极电阻。请考虑到浪涌电压，选择合适的门极电阻。



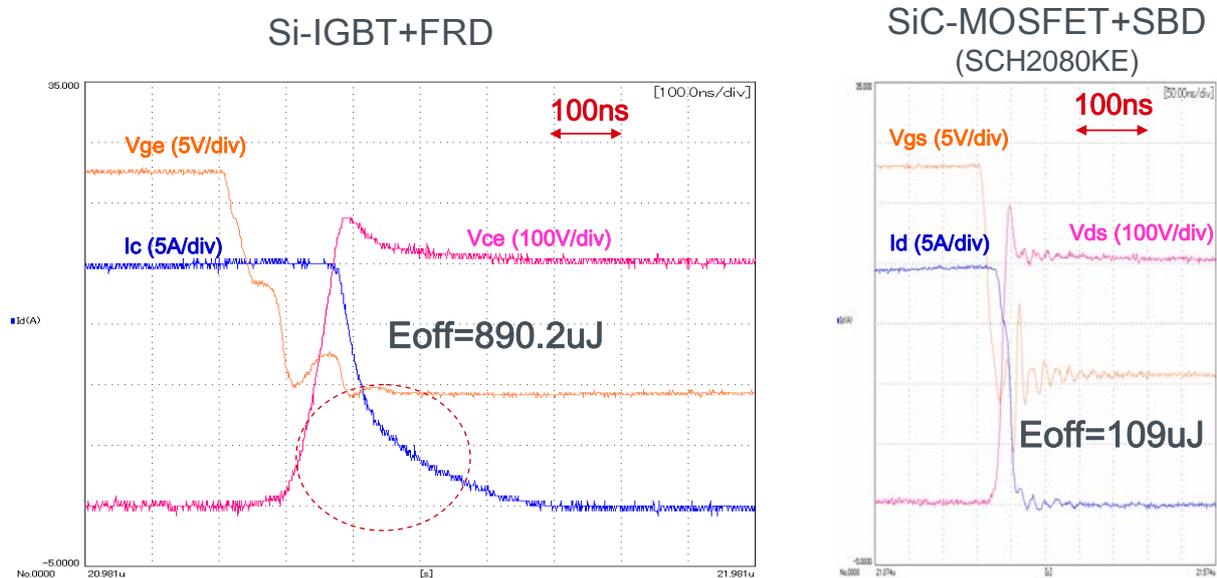
※※该数据是ROHM在相同条件下测试的结果，仅供参考。此处表示的特性本公司不做任何保证。

3.7 Turn-off 特性

SiC-MOSFET 的最大特点是原理上不会产生如 IGBT 中经常见到的尾电流。SiC 即使在 1200V 以上的耐压值时也可以采用快速的 MOSFET 结构，所以，与 IGBT 相比，Turn-off 损耗 (E_{off}) 可以减少约 90%，有利于电路的节能和散热设备的简化·小型化。而且，IGBT 的尾电流会随着温度的升高而增大，而 SiC-MOSFET 几乎不受温度的影响。

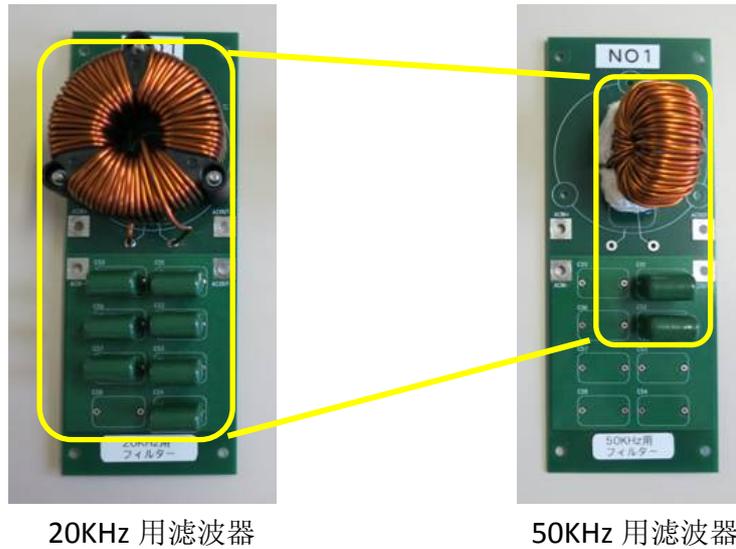
另外，由于较大的开关损耗引起的发热会致使结点温度 (T_j) 超过额定值，所以 IGBT 通常不能在 20KHz 以上的高频区域内使用，但 SiC-MOSFET 由于 E_{off} 很小，所以可以进行 50KHz 以上的高频开关动作。通过高频化，可以使滤波器等被动器件小型化。

开关速度较大程度取决于外部的门极电阻 R_g。为了实现高频动作，推荐采用几 Ω 左右的低阻值门极电阻。并请充分考虑浪涌电压，选择合适的门极电阻。



※该数据是ROHM在相同条件下测试的结果，仅供参考。此处表示的特性本公司不做任何保证。

高频化使滤波器小型·轻量化



3.8 内部门极电阻

芯片内部门极电阻与门极电极材料的薄层阻抗和芯片尺寸相关。如果是相同的设计，芯片内部门极电阻与芯片尺寸呈反比例，芯片尺寸越小，门极电阻越大。SiC-MOSFET 的芯片尺寸比 Si 器件小，虽然结电容更小，但是同时门极电阻也就更大。1200V 80m Ω 的 SiC-MOSFET 产品的内部门极电阻大约为 6.3 Ω 。

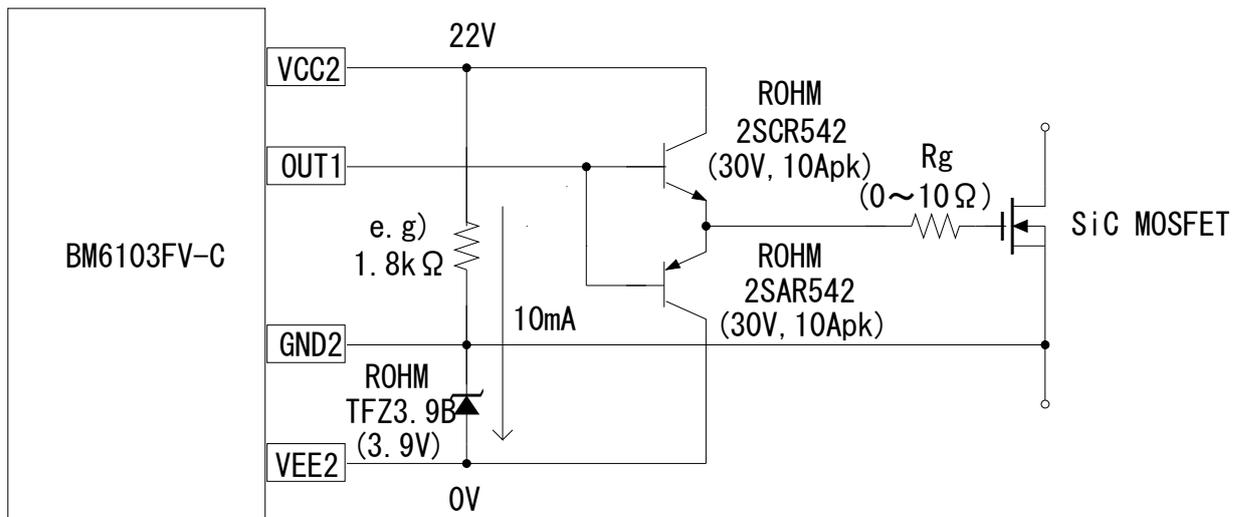
开关时间较大程度取决于外部门极电阻。为了实现快速开关，请确认好浪涌的状况，并选用几 Ω 左右的尽量小阻值的外部门极电阻。

3.9 门极驱动电路

SiC-MOSFET 是一种易于驱动、驱动功率较少的常闭型·电压驱动型的开关器件。基本的驱动方法和 IGBT 以及 Si-MOSFET 一样。推荐的驱动门极电压，ON 侧时为+18V 左右，OFF 侧时为 0V。在要求高抗干扰性和快速开关的情况下，也可以施加-3~-5V 左右的负电压。

以下是采用 ROHM 的驱动 IC (BM6103FV-C) 并提供+18V/-4V 电压时的电路图。当驱动大电流器件和功率模块时，推荐采用缓冲电路。

为了实现快速开关，外部门极电阻请选择几 Ω 左右的低阻值。

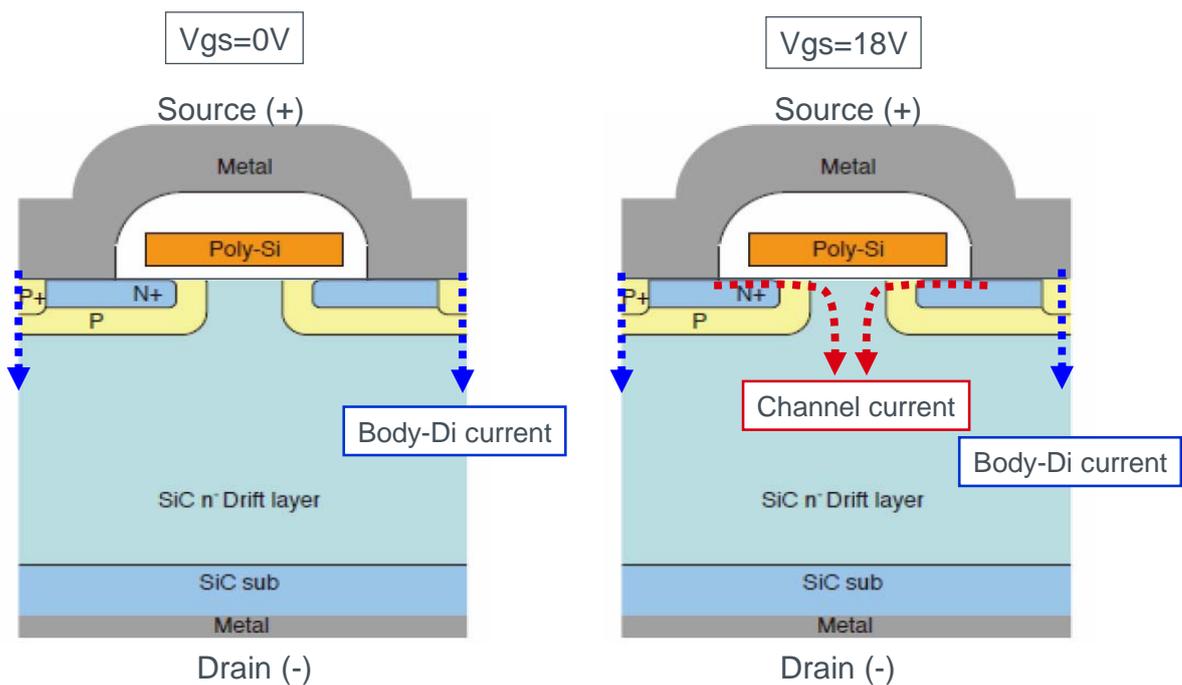


3.10 体二极管的 Vf 和逆向导通

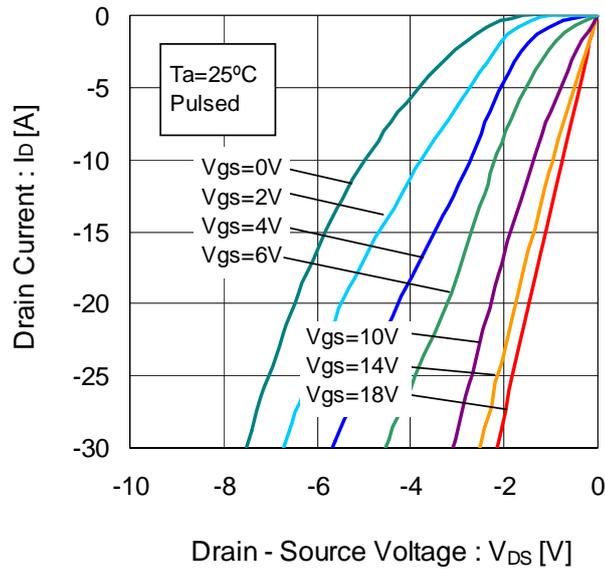
与 Si-MOSFET 一样，SiC-MOSFET 体内也存在因 PN 结而形成的体二极管（寄生二极管）。但是由于 SiC 的带隙是 Si 的 3 倍，所以 SiC-MOSFET 的 PN 二极管的开启电压大概是 3V 左右，比较大，而且正向压降（Vf）也比较高。以往，当 Si-MOSFET 外置回流用的快速二极管时，由于体二极管和外置二极管的 Vf 大小相等，为了防止朝向恢复慢的体二极管侧回流，必须在 MOSFET 上串联低电压阻断二极管，这样的话，既增加了器件数量，也使导通损耗进一步恶化。然而，SiC-MOSFET 的体二极管的 Vf 比回流用的快速二极管的 Vf 还要高出很多，所以当逆向并联外置二极管时，不需要串联低压阻断二极管。

体二极管的 Vf 比较高，这一问题可以通过如同同期整流一样向门极输入导通信号使其逆向导通来降低。逆变驱动时，回流侧的臂上多数是在死区时间结束之后输入门极导通信号（请确认使用中的 CPU 的动作），体二极管的通电只在死区时间期间发生，之后基本上是由沟道逆向流过。因此，即使在只由 MOSFET（无逆向并联的 SBD）构成的桥式电路中，体二极管的 Vf 较高也没有问题。另外，恢复特性如 3.11 节所述非常快速。

源极到漏极的电流路径



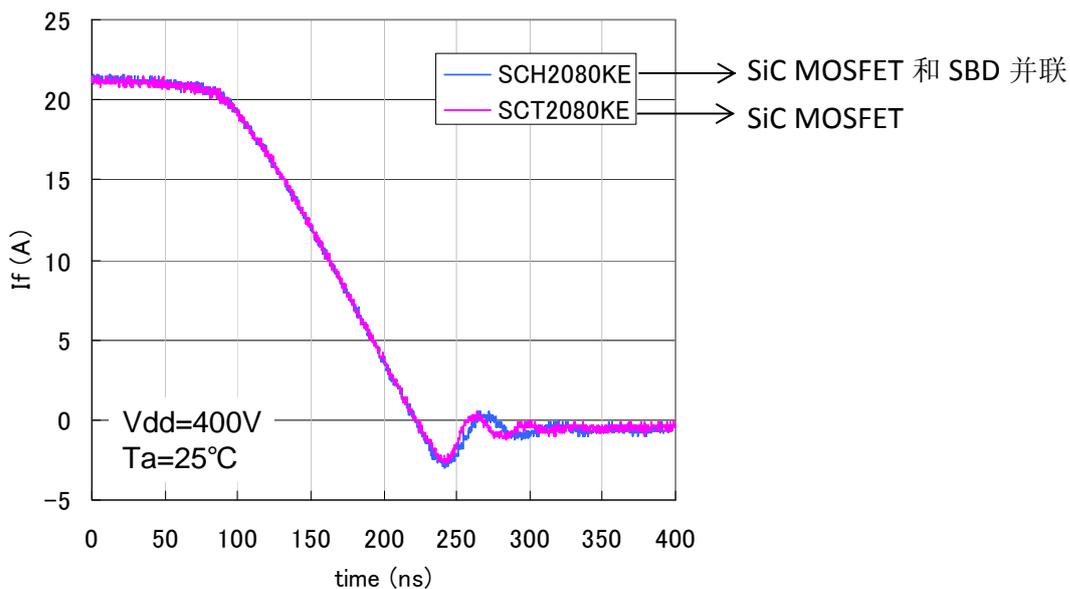
Vd- Id Characteristics (reverse direction)



3.11 体二极管的恢复特性

SiC-MOSFET 的体二极管虽然是 PN 二极管，但是少数载流子寿命较短，所以基本上没有出现少数载流子的积聚效果，与 SBD 一样具有超快速恢复性能（几十 ns）。因此 Si-MOSFET 的体二极管与 IGBT 外置的 FRD 相比，其恢复损耗可以减少到 IGBT 外置的 FRD 的几分之一到几十分之一。

体二极管的恢复时间与 SBD 相同，是恒定的，不受正向输入电流 I_f 的影响 (di/dt 恒定的情况下)。在逆变器应用中，即使只由 MOSFET 构成桥式电路，也能够实现非常小的恢复损耗，同时还预期可以减少因恢复电流而产生的噪音，达到降噪。



4. SiC 功率模块的特征

4.1 SiC 模块的特征

现在，针对大电流的功率模块中广泛应用的主要是由 Si 的 IGBT 和 FRD 组成的 IGBT 模块。ROHM 在世界上首次开始推出搭载了 SiC-MOSFET 和 SiC-SBD 的功率模块。由 IGBT 的尾电流和 FRD 的恢复电流引起的较大的开关损耗，通过切换为 SiC 功率模块可以明显地减少，因此具有以下效果：

1. 开关损耗的降低，可以带来电源效率的改善和散热部件的简化

（例：散热片的小型化、水冷/强制风冷的自然风冷化）

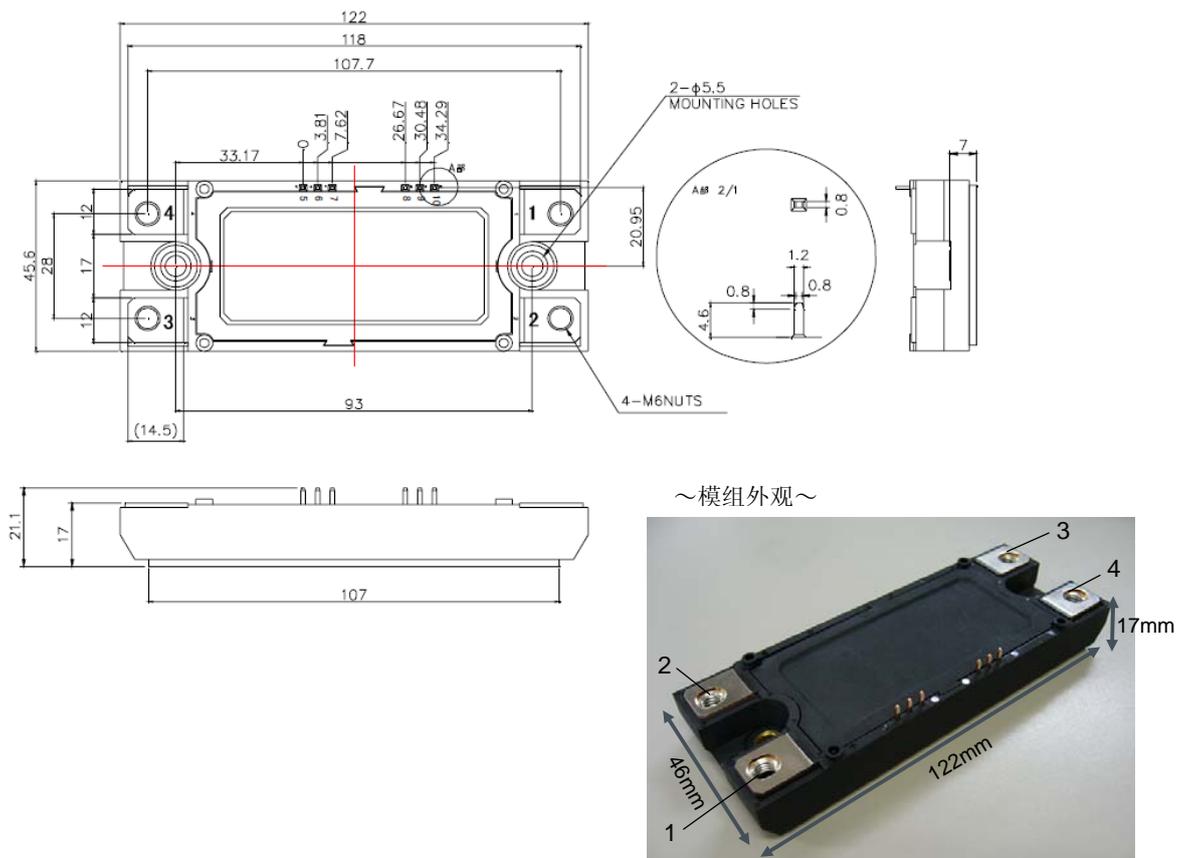
2. 工作频率的高频化，使周边器件小型化

（例：电抗器或电容等的小型化）

主要应用于工业机器的电源或光伏发电的功率调节器等。

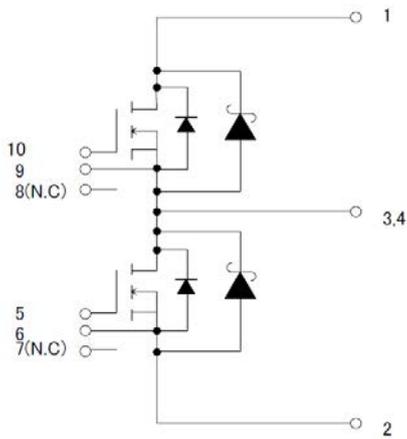
4.2 电路构成

现在量产中的 SiC 功率模块是一种以一个模块构成半桥电路的 2in1 类型的模块，分为由 SiC MOSFET+ SiC SBD 构成的类型和只由 SiC MOSFET 构成的类型这两种，请根据用途进行选择。

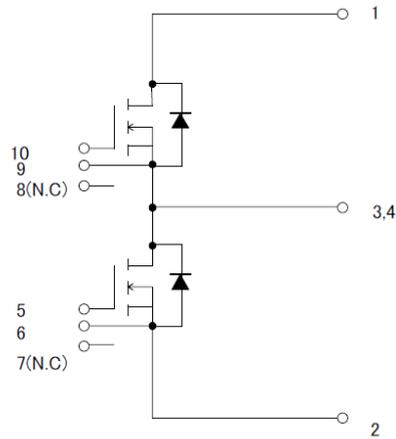


SiC 功率模块电路图(半桥电路)

■ SiC-MOSFET + SiC-SBD 组成

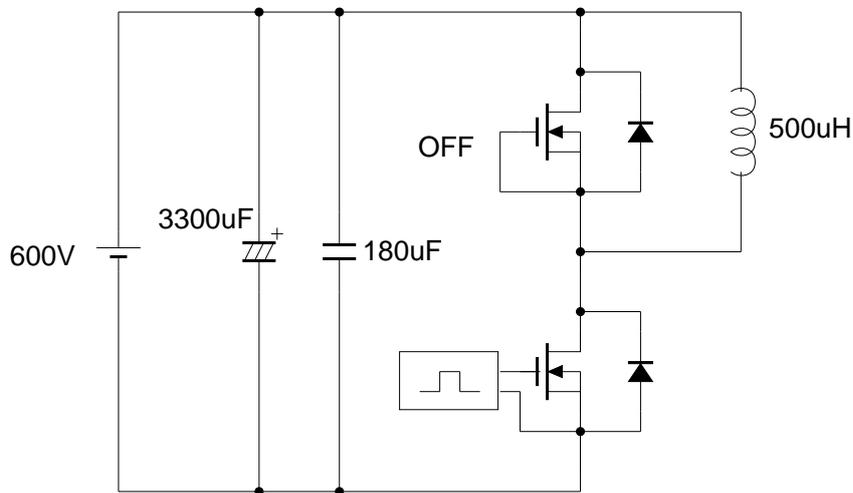


■ SiC-MOSFET 组成



4.3 开关特性

通过以下的电感负荷双脉冲测试对 SiC 功率模块的开关特性进行评估。模块内部的寄生电感约为 25nH，电路的寄生电感约为 15nH。

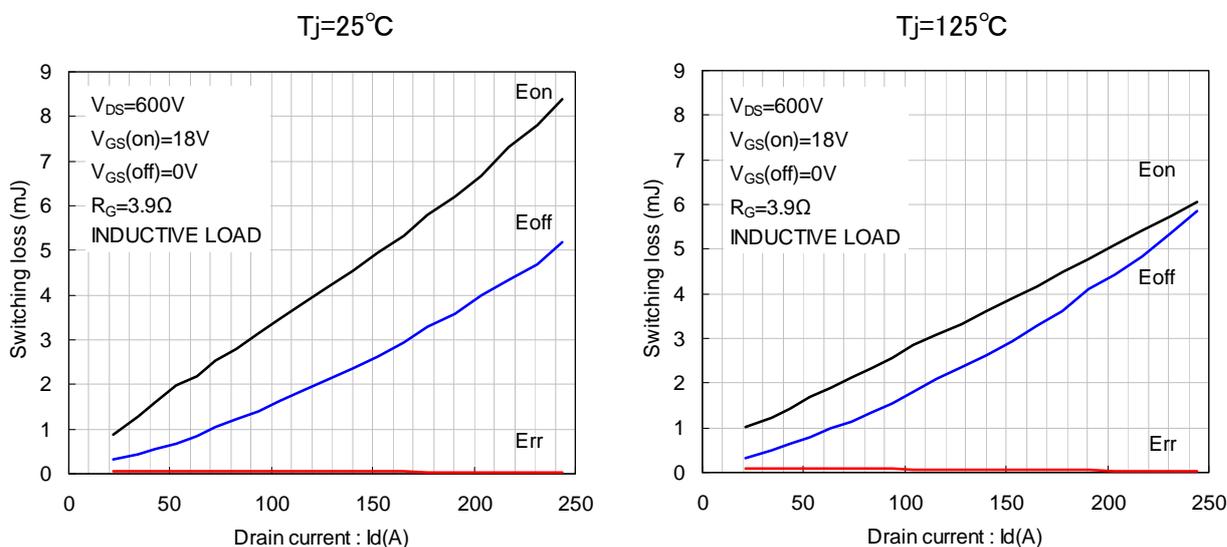


4.3.1 漏极电流依赖性以及温度依赖性

受益于 SBD(或者 MOSFET 的体二极管)的快速恢复特性, SiC 功率模块的恢复损耗 E_{rr} 基本为零。而且 MOSFET 中不存在尾电流, 所以与 IGBT 相比, E_{off} 也非常的小。 E_{on} 和 E_{off} 基本上随电流呈比例增加的趋势(上升率取决于外部 R_g)。 Si-FRD 的恢复电流和 IGBT 的尾电流在高温下会增大,

相对之下，由多数载流子器件构成的 SiC 模块随温度变化产生的损耗变化非常小。由于在高温下阈值会降低，所以 E_{on} 变小，而 E_{off} 有稍微变大的趋势。

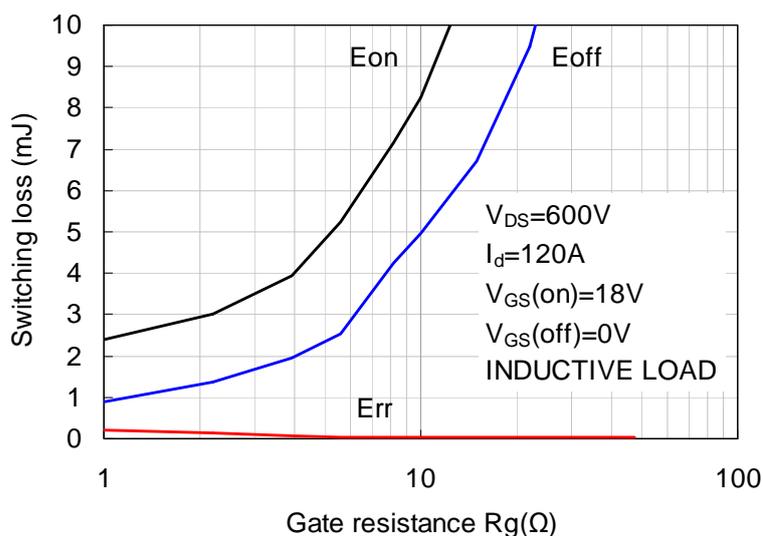
Switching Loss vs Drain Current



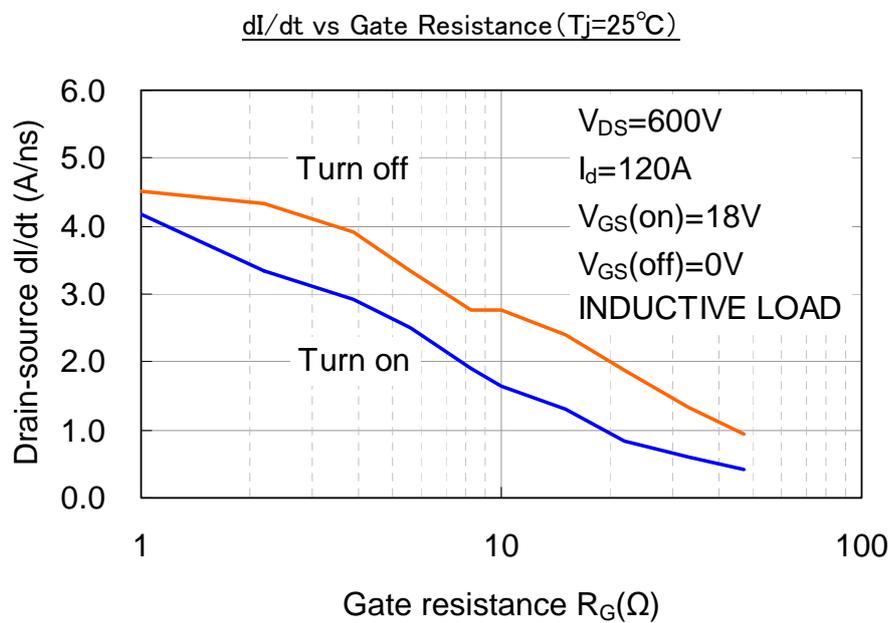
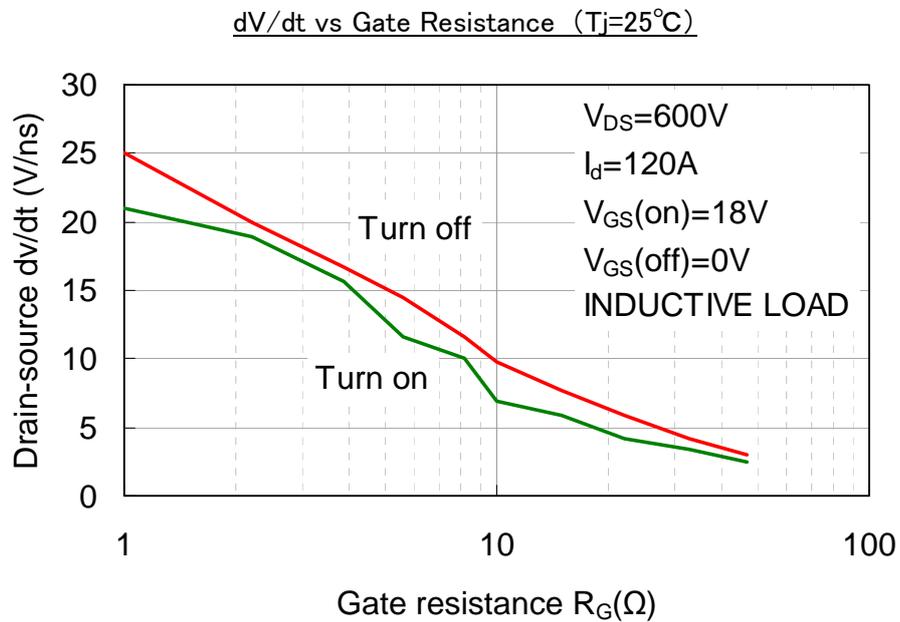
4.3.2 门极电阻依赖性

在外部门极电阻大的情况下，流向门极的充放电电流值变小，开关速度变慢。与此同时， E_{on} 、 E_{off} 增大，从而有可能发挥不出它原本的性能，所以请尽量选择阻值低一些的门极电阻。

Switching Loss vs Gate Resistance ($T_j=25^\circ\text{C}$)



dV/dt、dI/dt 针对外部门极电阻的依赖性如下图所示。如果降低外部门极电阻的阻值，则 dV/dt、dI/dt 的值会增大。ROHM 的 SiC 功率模块在各种各样的条件下都进行过实验，但是在目前的调查中还没有发现过 dV/dt 破坏、dI/dt 破坏的破坏模式。



4.3.3 门极偏压依赖性

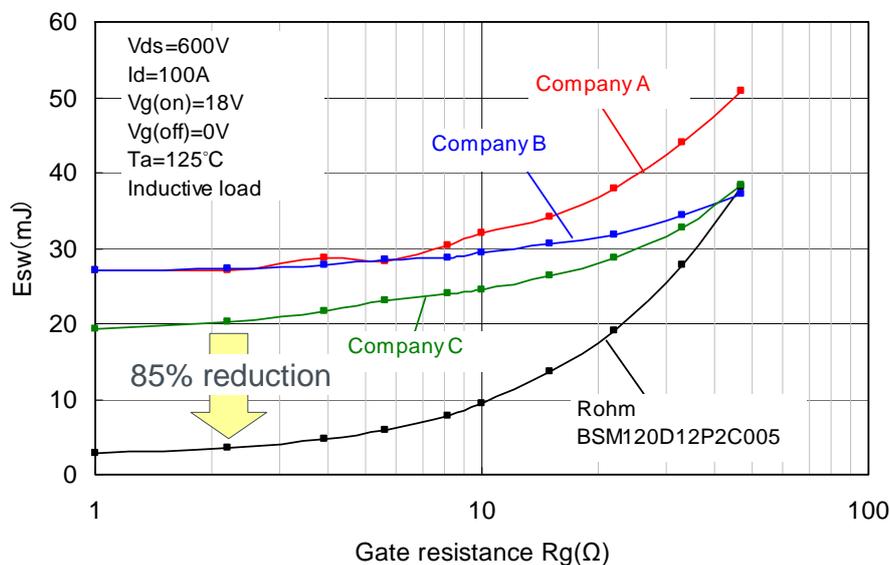
SiC-MOSFET 的 V_{gs} 额定范围为 $-6 \sim +22V$ 。推荐的驱动条件是 $V_{gs(on)}=18V$ 、 $V_{gs(off)}=0V$ 或者负偏压使用情况下的 $-3V \sim -5V$ 。 $V_{gs(on)}$ 、 $V_{gs(off)}$ 越大，门极的充放电越快， E_{on} 、 E_{off} 越小。但是请在额定范围内使用。

4.4 与 IGBT 模块的开关损耗比较

以下展示的是不同三家公司已经产品化的最新(2012 年时)的 1200V/100A 等级 2in1 结构的 IGBT 模块和 SiC 功率模块的比较结果。

4.4.1 总开关损耗的比较

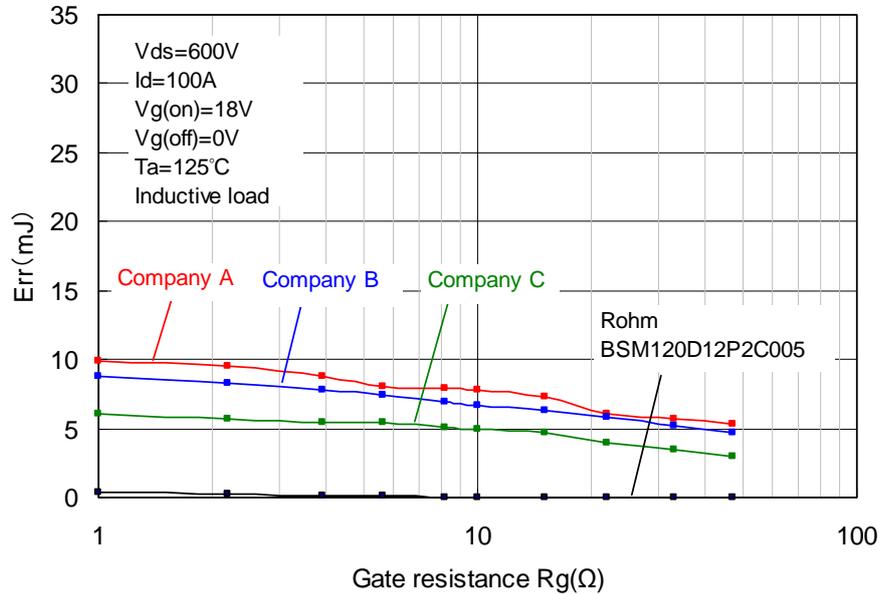
如果选择了合适的门极电阻, SiC 功率模块的总开关损耗($E_{on} + E_{off} + E_{err}$)能够比损耗最小的 IGBT 模块降低 85%。因此, SiC 功率模块可以在以往的 IGBT 模块无法达到的 50KHz 以上驱动, 也可以使电抗器等被动器件小型化。而且, 在通常的 IGBT 模块中, 由于存在由开关损耗引起的发热问题, 只能使用额定电流的一半左右的电流工作, 但是, SiC 模块的开关损耗很小, 所以在高频驱动时也不用取大幅度的电流降额就可以使用。也就是说, SiC 功率模块可以替换额定电流更大的 IGBT 模块。



※该数据是ROHM在相同条件下测试的结果, 仅供参考。此处表示的特性本公司不做任何保证。

4.4.2 恢复损耗 (Err) 的比较

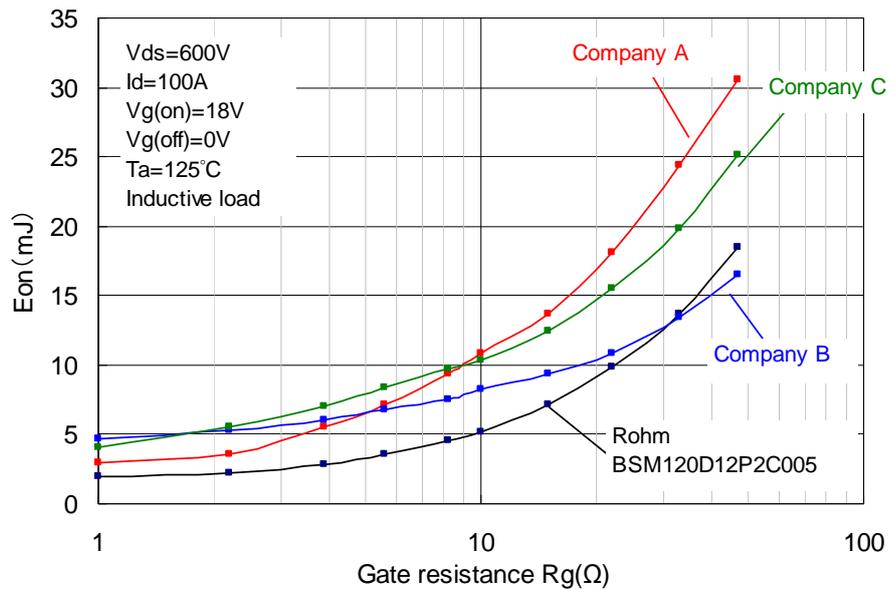
IGBT 模块中的 FRD 的峰值反向恢复电流 I_{rr} 、反向恢复时间 t_{rr} 很大，所以产生较大的损耗，而 SiC-SBD 的 I_{rr} 、 t_{rr} 非常小，损耗值几乎可以忽略不计。



※该数据是ROHM在相同条件下测试的结果，仅供参考。此处表示的特性本公司不做任何保证。

4.4.3 Turn-on 损耗 (Eon) 的比较

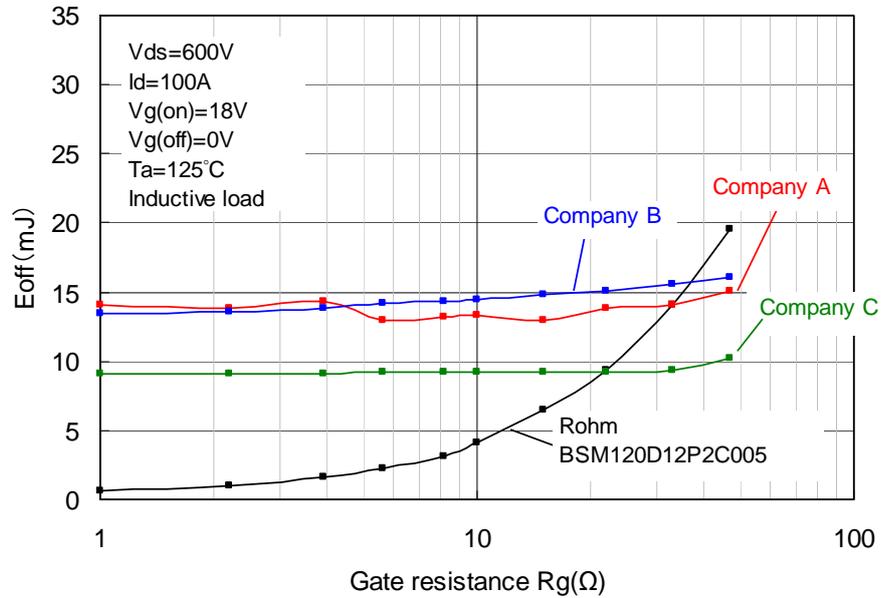
回流臂上产生的恢复电流贯通到相对一侧，从而使开关器件的 Turn-on 损耗增大。与恢复损耗一样，二极管的恢复越快，SiC 功率模块的 Turn-on 损耗越小。而且外部门极电阻越小，损耗越小。



※该数据是ROHM在相同条件下测试的结果，仅供参考。此处表示的特性本公司不做任何保证。

4.4.4 Turn-off 损耗 (E_{off}) 的比较

IGBT 的 Turn-off 损耗是由尾电流引起的，所以对门极电阻的依赖性不是特别明显，一般都很大。而 SiC-MOSFET 在原理上不存在尾电流，所以可以超快速、低损耗地进行开关动作。另外，外部门极电阻阻值越低，损耗越小。



※该数据是 ROHM 在相同条件下测试的结果，仅供参考。此处表示的特性本公司不做任何保证。

5. SiC-SBD 的可靠性

5.1 dV/dt 破坏、 di/dt 破坏

当施加较大的 dV/dt 时, SiC-SBD 的周边结构就会被破坏, 这种破坏模式已经在其他公司的以往产品中得到印证, 但是根据目前为止的调查, ROHM 的 SBD 即使在 50kV/us 左右的状态下动作也不会发生这种破坏模式。

另外, Si-FRD 在 di/dt 较大的情况下, 存在因恢复电流 I_{rr} 变大而电流集中从而导致破坏的破坏模式。而 SiC-SBD 的恢复电流非常小, 所以难以发生这种破坏模式。

5.2 SiC-SBD 的可靠性测试结果

寿命试验 (Life Test)				
试验项目 Test Item	试验方法/判定标准 Test Method/Standard	试验时间 Test Condition	样品数量 n(pcs)	不良数量 pn
动作寿命 Steady state operation life	Ta=T _{jmax} , VR=V _{rmax} × 0.8 EIAJ ED-4701/100-101	1000h	22	0
高温高湿偏压 Temperature humidity bias	Ta=85°C, Rh=85%, VR=100V EIAJ ED-4701/100-102	1000h	22	0
温度循环 Temperature cycle	Ta= -55°C (30min) ~ Ta=150°C (30min) EIAJ ED-4701/100-105	100cycle	22	0
蒸汽加压 Pressure cooker	Ta=121°C, 2atm, Rh=100% JESD22-A102C	48h	22	0
高温储存 High Temperature storage	Ta= 175°C EIAJ ED-4701/100-201	1000h	22	0
低温储存 Low Temperature storage	Ta= -55°C EIAJ ED-4701/100-202	1000h	22	0

强度试验 (Stress Test)				
试验项目 Test Item	试验方法/判定标准 Test Method/Standard	试验时间 Test Condition	样品数量 n(pcs)	不良数量 pn
焊锡耐热性1 Resistance to solder heat1	浸入260±5°C的焊锡槽内 Dipping into solder bath at 260±5°C. EIAJ ED-4701/300-302	10sec	22	0
焊锡耐热性2 Resistance to solder heat2	将引脚浸入350±10°C的焊锡槽内 Dipping leads into solder bath at 350±10°C. EIAJ ED-4701/300-302	3.5sec	22	0
可焊性 Solderability	浸入235±5°C的焊锡槽内 Dipping into solder bath at 235±5°C. EIAJ ED-4701/300-303	5sec	22	0
热冲击 Thermal shock	0 ⁺⁵ / ₀ (5min) ~ 100 ⁺⁰ / ₅ (5min) EIAJ ED-4701/300-307	100cycle	22	0
端子强度 (拉伸) Terminal strength (Pull)	拉伸力; 20N Pull force; 20N EIAJ ED-4701/400-401	10sec	22	0
端子强度 (弯曲) Terminal strength (Bending)	弯曲负荷; 10N Bending load; 10N EIAJ ED-4701/400-401	2times	22	0

※ 根据规格书中记载的电气特性来进行故障判定。

Failure criteria : According to the electrical characteristics specified by the specification.

关于可焊性测试, 判定标准是焊料覆盖面积≥95%。

Regarding solderability test, failure criteria is 95% or more area covered with solder.

※ 样品标准: 采用可靠性水平90%, 故障失效水平 λ=10%, C=0的判定, 根据MIL-STD-19500的指数分布型计数一次抽样表, 采用22个样本。

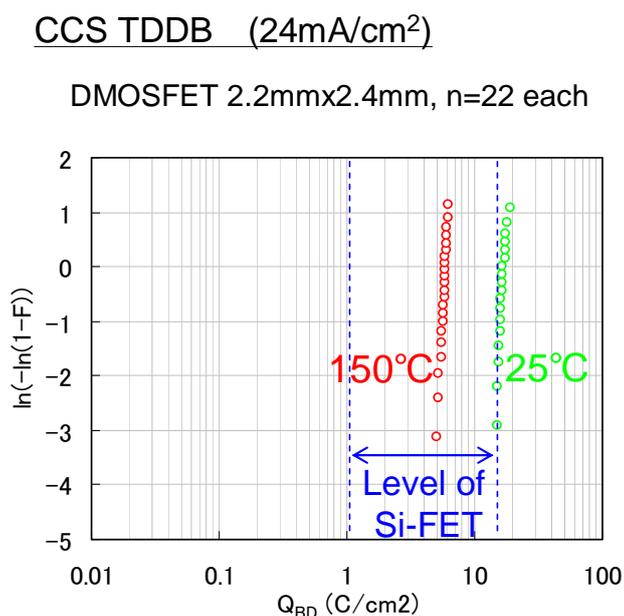
Sample standard: [Reliability level:90%][Failure reliability level(λ):10%][C=0 decision] is adopted. And the number of samples is being made 22 in accordance with single sampling inspection plan with exponential distribution type based on MIL-STD-19500.

6. SiC-MOSFET 的可靠性

6.1 门极氧化膜

在 SiC 上成型的门极绝缘膜的可靠性长年以来受到质疑，但是 ROHM 通过不断地研发门极氧化膜成型工艺和优化器件结构，使 SiC-MOSFET 达到与目前广泛应用的 Si-MOSFET 和 IGBT 同等的品质。

CCS TDDB (Constant Current Stress、Time Dependent Dielectric Breakdown) 测试的结果是，SiC-MOSFET 中衡量门极氧化膜品质的指标的 Q_{BD} 为 $15 \sim 20 C/cm^2$ ，与 Si-MOSFET 一致。

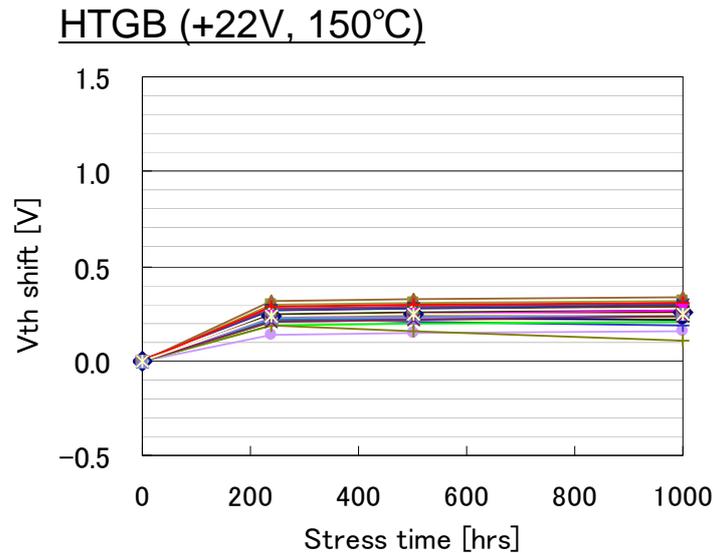


即使门极绝缘膜的品质比较高，但是因为 SiC 晶体中还存在较多的结晶缺陷，所以也有可能因为这些结晶缺陷而引起初期故障。ROHM 通过采用独特的筛选技术，努力使这些初期故障不流向市场。

HTGB (High Temperature Gate Bias: 高温门极偏压) 测试 (+22V, 150°C) 的结果是，总计 1000 个以上的器件无故障无特性变更地通过 1000 个小时测试。另外 300 个以上的器件通过 3000 个小时的测试也已经确认完毕。

6.2 阈值稳定性（门极正偏压）

以目前的技术水平，在 SiC 上成型的门极绝缘膜的界面上会形成陷阱，如果长时间给门极施加 DC 正偏压，则陷阱会捕获电子，从而阈值上升。但是，该阈值的漂移在 $V_{gs}=+22V$ 、 $150^{\circ}C$ 的条件下经过 1000 个小时之后，只有 $0.2\sim 0.3V$ ，非常小，这个水平目前在业界内也是最小的。陷阱基本上是在施加偏置电压初期的几十个小时内填满，之后则无变动地稳定下来。

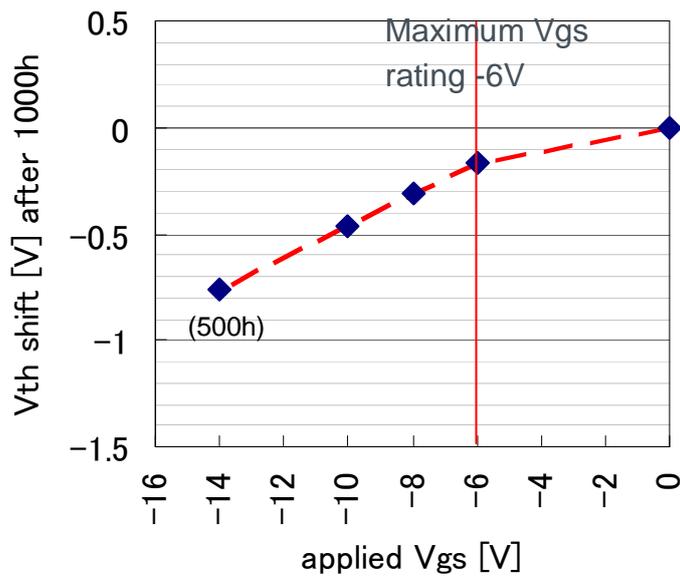
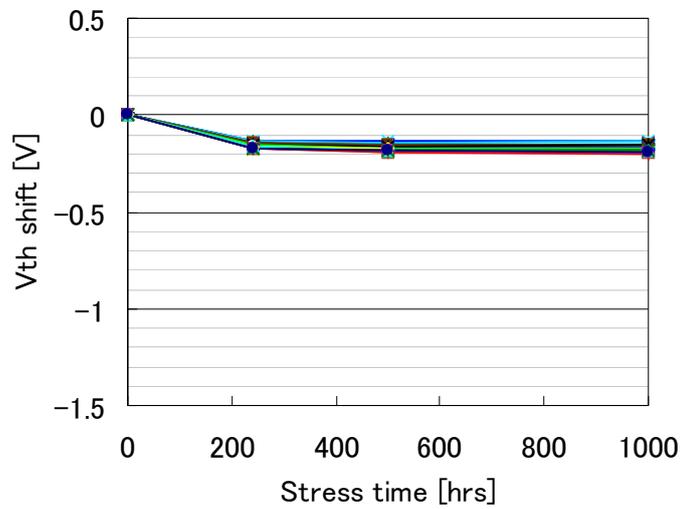


6.3 阈值稳定性（门极负偏压）

在给门极长时间施加 DC 负偏压的情况下，由于空穴被捕获，因此发生阈值降低的情况。该阈值变化的程度比正偏压的情况下要大，当 V_{gs} 为 $-10V$ 以上时，阈值降低 $0.5V$ 以上。第二代 MOSFET(SCT2[] [] 系列、SCH2[] [] 系列)的门极负偏压的保证电压为 $-6V$ 。当负偏压大于 $-6V$ 时，会发生明显的阈值降低的情况，请不要使用。

如果施加正负交叉的 AC 偏压的话，由于不断重复地对陷阱进行充电和放电，所以对漂移的影响很少。

HTGB (-6V, 150°C)



6.4 与体二极管通电相关的可靠性

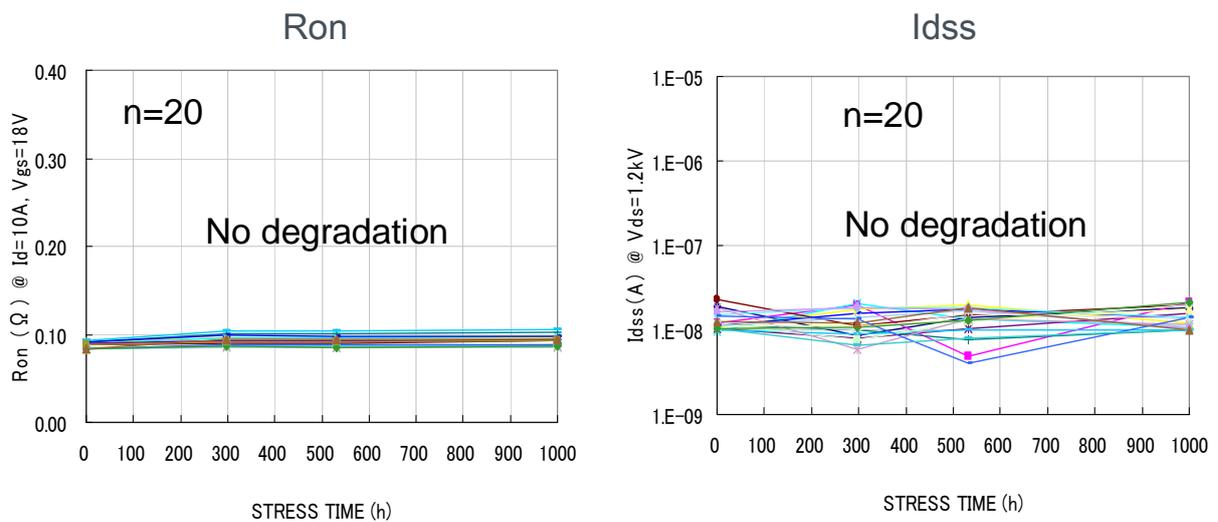
作为 SiC 特有的可靠性问题，被称为“体二极管的通电劣化”这一故障模式多年以来受到质疑。在 MOSFET 的体二极管这样的 SiC 的 PN 二极管中持续流过正向电压的情况下，由于接收电子-空穴对的再结合能量，造成被称为“堆垛层错”的面缺陷扩张而阻断电流路径，从而使导通电阻和二极管的 V_f 上升。导通电阻上升几倍，不仅扰乱了热设计，而且这种堆垛层错在某些情况下还会引起耐压劣化，所以在应用于会发生体二极管回流的电路（逆变器·DC/DC 转换器等）的情况下，有可能会因此发生重大事故。（这个问题只在双极型器件中发生，因此在 SBD 和 MOS 的第一象限动作时不会发生。）

ROHM 通过开发独特的工艺，降低 SiC 基板、外延的结晶缺陷的同时并使堆垛层错不扩张，从而成功地确保了体二极管通电的可靠性。

在 8A/DC 的通电测试中经过 1000 个小时，确认了导通电阻·漏电流等整个特性都没有变动。所以即使在发生体二极管回流的电路（逆变器·升降压斩波等）中也可以安心地使用。

另外，即使在施加 $V_{gs}=18V$ 、处于逆向导通状态的可靠性测试中，在 15A/DC 的通电测试中经过 1000 个小时，确认了导通电阻·漏电流等整个特性都没有变动。

Body-diode conduction test ($I_f=8A$ DC, $T_a=25^\circ C$, 1000h)
DUT: SCT2080KE (TO247 w/o SiC SBD),



6.5 短路耐量

由于 SiC-MOSFET 是一种比 Si 器件的芯片面积小、电流密度大的器件，所以对于热破坏模式的短路时间耐量比 Si 器件要低。TO247 封装的 1200V 级别的 MOSFET，对 $V_{dd}=700V$ 、 $V_{gs}=18V$ 的短路持续时间大约为 8~10 μs 。如果门极电压越低，则饱和电流越小，持续时间也越长。另外，在电源电压低的情况下，由于发热变小，持续时间也变长。

ROHM 的门极驱动 IC (BM6103FV-C) 是一种绝缘器件内置的 IC，它能够在检测到过电流时以大约 2 μs 的反应速度进行切断，具有软关断的特点（详细的请参考 BM6103FV-C 的规格书）。由于 SiC MOSFET 关断时所需要的时间极其短，所以如果 V_{gs} 的切断速度非常快，则有可能因急剧的 di/dt 而产生大的浪涌电压。因此请利用缓慢降低门极电压的软关断的特点，在不产生过电压的条件下进行关断。

6.6 dV/dt 破坏

在 Si-MOSFET 中，存在因 dV/dt 过高而通过结电容 C_{ds}，瞬态电流通流，从而使寄生双极晶体管导通而导致破坏的模式。

SiC-MOSFET 中，因为寄生双极晶体管的电流增益 h_{FE} 比较低，所以认为其不产生电流增益，到目前的调查中，即使在 50kV/us 左右的动作中，也没有发现这种破坏模式。

在体二极管恢复的时候，因为 SiC-MOSFET 的恢复电流非常小，所以恢复时的 di/dt 也非常小，其结果是，由于 dV/dt 不会变大，所以认为难以发生这种破坏模式。

6.7 由宇宙射线引起的中子耐量

在高地使用时，由宇宙射线引起的偶尔射入地面的中子和重离子等会引发半导体器件的随机故障（单一事件现象：SEB: Single Event Burnout），这种故障也一直是一个问题。对 1200V 等级的 SiC-MOSFET（n=5）进行的白色中子（能量：1~400MeV）辐照试验（由大阪大学核物理研究中心：RCNP 实施），其结果是，V_{ds}=840V（额定耐压的 70%）时，进行 1.87×10^9 [neutron/cm²] 的中子辐照，并没有发生单体事件引起的故障。在海拔 0m 时的故障率计算出来为不到 1.37FIT，即使在 4000m 时也不到 35.3FIT（因为无故障，所以表述为不到），所以在高地使用也没有问题。由于 SiC 芯片比 Si 器件的要小，而且耐压实力值高，又留有充分的余量，所以针对宇宙射线引起的中子，能够实现较低的故障率。

6.8 静电破坏耐量

SiC-MOSFET 相对于 Si 产品，它的特点在于能够芯片尺寸做得较小，但是相反的，静电破坏耐量也会变低。请充分做好防静电对策，注意小心使用。

防静电对策举例

- 通过静电消除器除去人体、器件、作业环境的静电（推荐）
- 通过静电手腕、接地，除去人体、作业环境的静电（由于对于器件带电并没有效果，因此仅仅如此是不够的）

6.9 SiC-MOSFET 的可靠性测试结果

寿命试验 (Life Test)				
试验项目 Test Item	试验方法/判定标准 Test Method/Standard	试验时间 Test Condition	样品数量 n(pcs)	不良数量 pn
高温反向偏压试验 High Temperature Reverse Bias	Ta=Tjmax, V _{DS} =V _{rmax} X 0.8 EIAJ ED-4701/100-101	1000h	22	0
高温门极偏压试验 High Temperature Gate Bias	Ta=Tjmax, V _{GS} =+22V EIAJ ED-4701/100-101	1000h	22	0
高温门极偏压试验 High Temperature Gate Bias	Ta=Tjmax, V _{GS} = -6V EIAJ ED-4701/100-101	1000h	22	0
高温高湿偏压试验 Temperature humidity bias	Ta=85°C, Rh=85%, V _{DS} =100V EIAJ ED-4701/100-102	1000h	22	0
温度循环 Temperature cycle	Ta= -55°C (30min) ~ Ta=150°C (30min) EIAJ ED-4701/100-105	100cycle	22	0
蒸汽加压 Pressure cooker	Ta=121°C, 2atm, Rh=100% JESD22-A102C	48h	22	0
高温储存 High Temperature storage	Ta= 150°C EIAJ ED-4701/100-201	1000h	22	0
低温储存 Low Temperature storage	Ta= -55°C EIAJ ED-4701/100-202	1000h	22	0

强度试验 (Stress Test)				
试验项目 Test Item	试验方法/判定标准 Test Method/Standard	试验时间 Test Condition	样品数量 n(pcs)	不良数量 pn
焊锡耐热性1 Resistance to solder heat1	将端子浸入260±5°C的焊锡槽内 Dipping leads into solder bath at 260±5°C. EIAJ ED-4701/300-302	10sec	22	0
焊锡耐热性2 Resistance to solder heat2	将端子浸入350±10°C的焊锡槽内 Dipping leads into solder bath at 350±10°C. EIAJ ED-4701/300-302	3.5sec	22	0
可焊性 Solderability	浸入235±5°C的焊锡槽内 Dipping into solder bath at 235±5°C. EIAJ ED-4701/300-303	5sec	22	0
热冲击 Thermal shock	0 ⁺⁵ / ₋₀ (5min) ~ 100 ⁺⁰ / ₋₅ (5min) EIAJ ED-4701/300-307	100cycle	22	0
端子强度 (拉伸) Terminal strength (Pull)	拉伸力 ; 20N Pull force ; 20N EIAJ ED-4701/400-401	10sec	22	0
端子强度 (弯曲) Terminal strength (Bending)	弯曲负荷 ; 10N Bending load ; 10N EIAJ ED-4701/400-401	2times	22	0

※ 根据规格书中记载的电气特性来进行故障判定。

Failure criteria : According to the electrical characteristics specified by the specification.

关于可焊性测试, 判定标准是焊料覆盖面积≥95%。

Regarding solderability test, failure criteria is 95% or more area covered with solder.

※ 样品标准: 采用可靠性水平90%, 故障失效水平 λ1=10%, C=0的判定, 根据MIL-STD-19500的指数分布型计数一次抽样表, 采用22个样本。

Sample standard: [Reliability level: 90%][Failure reliability level(λ1): 10%][C=0 decision] is adopted. And the number of samples is being made 22 in accordance with single sampling inspection plan with exponential distribution type based on MIL-STD-19500.

7. SiC 功率模块的使用方法和可靠性

7.1 浪涌电压的对策

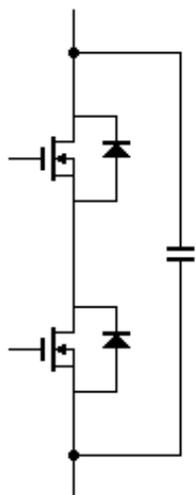
由于 SiC 模块开关速度快、对应大电流，因此会因为模块内部、或者周边接线的电感 L ，产生 $V = -L \times di/dt$ 的浪涌电压，某些情况下，还有可能超过额定电压。

为了抑制该情况的发生，与 Si 模块一样，推荐以下几种对应措施。有时可能会影响开关，所以请检查好波形，再对实际电路进行调整。

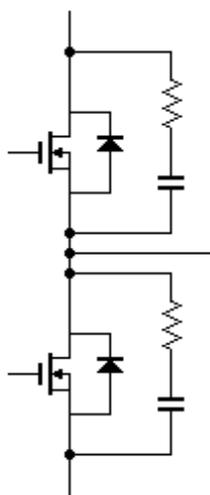
- 主电路和缓冲电路的接线，尽可能设计得粗、短，从而降低接线电感
- 电容的安装位置设置在 MOSFET 的附近，从而降低接线电感
- 添加缓冲电路
- 增大门极电阻，降低 di/dt

缓冲电路举例

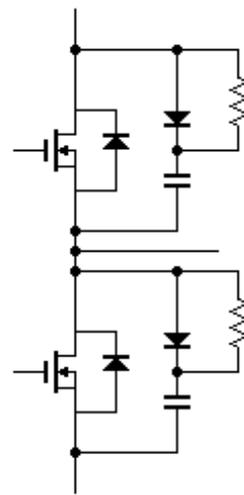
<C 缓冲电路>



<RC 缓冲电路>

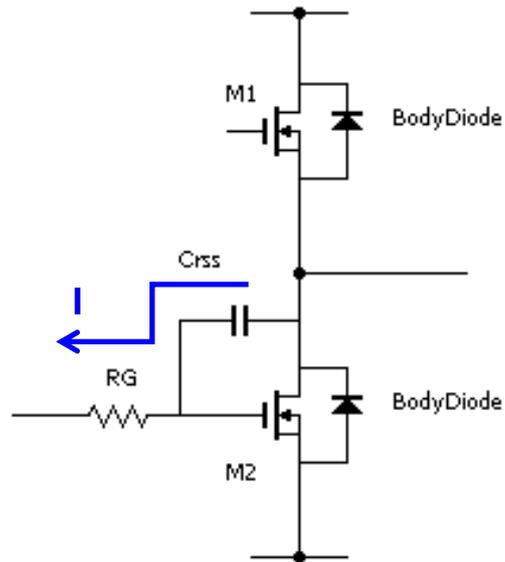


<RCD 缓冲电路>



7.2 误动作的对策

在半桥电路中，当上臂的 MOSFET (M1) 开启时，下臂的 MOSFET (M2) 的续流二极管 (外置 SBD 或者体二极管) 中流通的正向电流反向恢复，同时 M2 的漏·源极间的电位上升。此时产生的 dV/dt 通过 M2 的反馈电容 C_{rss} 而变成瞬态门极电流 ($I = C_{rss} \times dV/dt$)，该电流流过门极电阻，从而 M2 的门极电位上升。当该电压大大超过门极阈值电压，则 MOSFET (M2) 误动作，从而使上下臂都短路。



由于 SiC-MOSFET 的阈值电压在 $I_d =$ 几 mA 的条件下定义，所以只有 3V，比较低，但是如果通大电流，则门极电压需要 8V 以上，非常大，所以实际上对于误操作的耐性与 IGBT 没有太大的区别。但是，当在有可能发生误操作的使用环境中，与 Si 功率模块一样，推荐以下的对应措施。有时可能会影响开关，所以请检查好波形，再进行调整。

- 增大关断时的门极负偏压
- 追加门极·源极间电容
- 门极·源极间追加三极管（有源米勒钳位）
- 增大门极电阻，降低开关速度

7.3 RBSOA（反向偏压安全工作区）

与 IGBT 模块一样，SiC 功率模块的 RBSOA (Reverse Bias Safe Operating Area 反向偏压安全工作区) 覆盖了额定电流的 2 倍×额定电压的整个范围。

7.4 SiC 功率模块的可靠性测试结果

寿命试验 (Life Test)				
试验项目 Test Item	试验方法/判定标准 Test Method/Standard	试验时间 Test Condition	样品数量 n(pcs)	不良数量 pn
ΔTj功率周期 ΔTj power cycle	ΔTj=100°C±5°C、Tj≤150°C、Ta=25±5°C EIAJ ED-4701/100-106	15000cyc	5	0
ΔTc功率周期 ΔTc power cycle	ΔTj=100°C±5°C、Tj≤150°C、Ta=25±5°C EIAJ ED-4701/100-106	5000cyc	5	0
温度循环 Temperature cycle	-40°C(60min)~RT(30min)~ 125°C(60min)~RT(30min) EIAJ ED-4701/100-105	100cyc	5	0
耐湿试验 Temperature humidity storage	85°C/85% EIAJ ED-4701/100-103	1000h	5	0
高温储存 High Temperature storage	Ta=150°C EIAJ ED-4701/100-201	1000h	5	0
低温储存 Low Temperature storage	Ta=-40°C EIAJ ED-4701/100-202	1000h	5	0
高温门极偏压(+) High temperature gate bias(+)	Vgs=22V、Ta=150°C JESD22-A108	1000h	5	0
高温门极偏压(-) High temperature gate bias(-)	Vgs=-6V、Ta=150°C JESD22-A108	1000h	5	0
高温反向偏压 High temperature reverse bias	Vds=960V、Vgs=0V、Ta=150°C EIAJ ED-4701/100	1000h	5	0

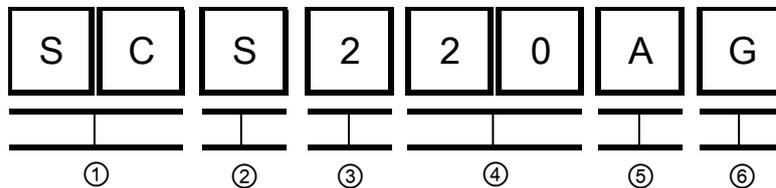
强度试验 (Stress Test)				
试验项目 Test Item	试验方法/判定标准 Test Method/Standard	试验时间 Test Condition	样品数量 n(pcs)	不良数量 pn
振动 Vibration	10~500Hz/15min 100m/s ² Each X,Y,Z axis, EIAJ ED-4701/400-403 condition code B	6h (2h / direction)	5	0
冲击 Shock	5000m/s ² pulse width 1msec Each X,Y,Z axis, EIAJ ED-4701/400-404 condition code B	3times / direction	5	0
热冲击 Thermal shock	0 ⁺⁵ / ₀ (5min) ~ 100 ⁺⁰ / ₋₅ (5min) EIAJ ED-4701/300-307 condition code A	10cyc	5	0
端子强度 (拉伸) Terminal strength (Pull)	Pull force : 40N(main terminal), 20N(signal terminal) EIAJ ED-4701/401- I	10sec	5	0
固定扭矩强度 Mounting strength	3.5N·m(M5) EIAJ ED-4701/402- II	10sec	5	0

※ 根据规格书中记载的电气特性来进行故障判定。

Failure criteria : According to the electrical characteristics specified by the specification.

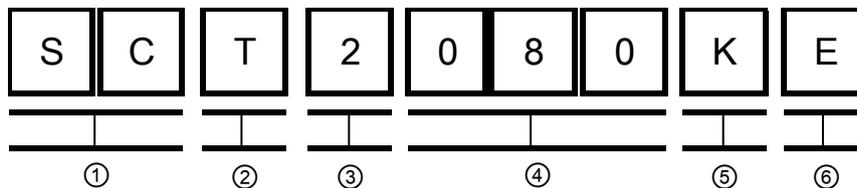
8. 型号的构成

8.1 SiC-SBD (分立器件产品)



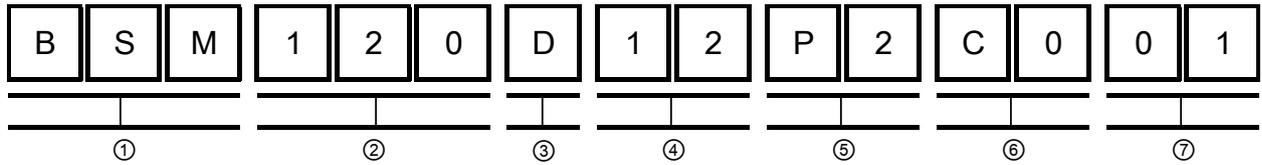
- ① 表示 SiC
- ② 表示 SBD
- ③ 表示第几代
- ④ 电流 (以安培表示)
 - 0 5→ 5A
 - 2 0→20A
- ⑤ 电压
 - A→600V, 650V
 - K→1200V
- ⑥ 封装
 - E2→TO247[3pin, 含2个芯片]
 - G→TO220AC [2pin]
 - J→LPTL (D2PAK)
 - M→TO220FM [2pin]

8.2 SiC-MOSFET (分立器件产品)



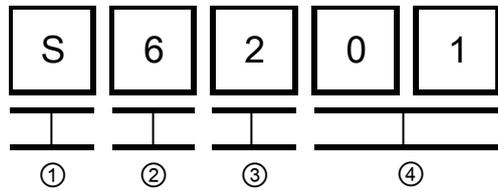
- ① 表示 SiC
- ② 表示类型
 - T→MOSFET
 - H→MOSFET+SBD 一体封装
- ③ 表示第几代
- ④ 表示导通电阻值[mΩ表示]
 - 0 8 0→typ. 80mΩ
 - 1 6 0→typ. 160mΩ
- ⑤ 电压
 - A→600V, 650V
 - K→1200V
- ⑥ 封装
 - E→TO247
 - F→TO220AB

8.3 SiC 功率模块



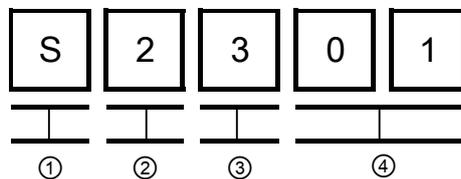
- ① 表示 SiC 功率模块
- ② 电流（以安培表示） 1 2 0→ 120A
- ③ 含 2 个回路
- ④ 电压 1 2→ 1200V
1 7→ 1700V
- ⑤ 器件类型
- ⑥ 外壳类型
- ⑦ 后缀

8.4 SiC-SBD (Chip)



- ① 表示 SiC
- ② 表示 SBD
- ③ 表示第几代/耐压
 - 0→ 表示第一代 600V
 - 1→ 表示第一代 1200V
 - 2→ 表示第二代 600V/650V
 - 3→ 表示第二代 1200V
 - 4→ 表示第二代 1700V
- ④ 流水号

8.5 SiC-MOSFET (Chip)

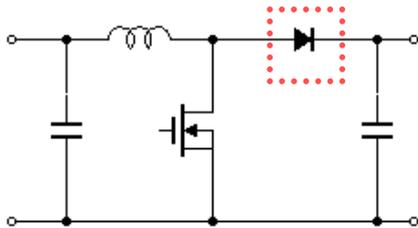


- ① 表示 SiC
- ② 表示 MOSFET
- ③ 表示第几代/耐压
 - 2→ 表示第二代 650V
 - 3→ 表示第二代 1200V
 - 4→ 表示第二代 1700V
- ④ 流水号

9. 应用回路举例

9.1 功率因数校正 (PFC) 电路 (连续模式)

- 恢复电流降低, 从而效率改善、噪音降低
 - Err 降低从而实现高频驱动, 也使被动器件小型化
- *临界模式的 PFC 中, 恢复不影响损耗, 所以没有太大的效果。

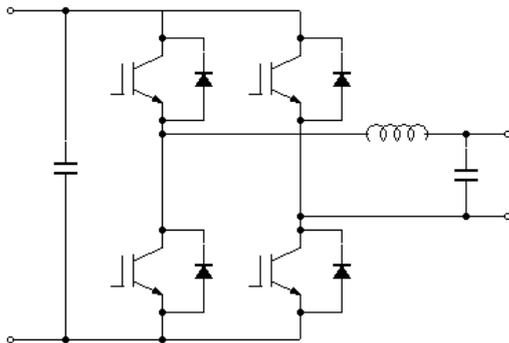


推荐产品

SCS2□□AM, SCS2□□AG,
SCS2□□AE2, SCS2□□KG,
SCS2□□KE2 其它

9.2 用于功率调节器的逆变器

- Eoff、Err 的降低以及轻负载时的导通损耗的降低, 带来效率的改善 (销售电力的增加)
- 散热部件的简化·小型化

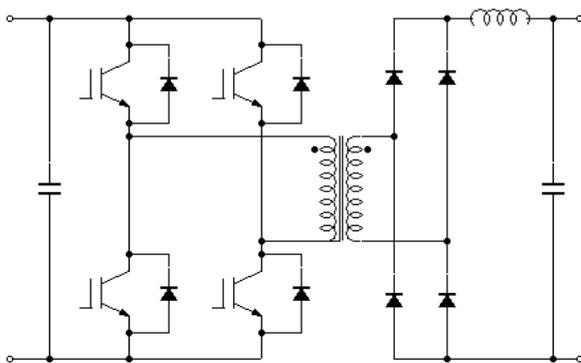


推荐产品

SCT2□□□KE, SCH2□□□KE
BSM120D12P2C005,
BSM180D12P2C101 其它

9.3 DC/DC 转换器

- Eoff、Err 降低带来效率的改善和散热部件的简化
- 高频驱动, 使 Eoff、Err 降低, 也使变压器小型化



原边 推荐产品

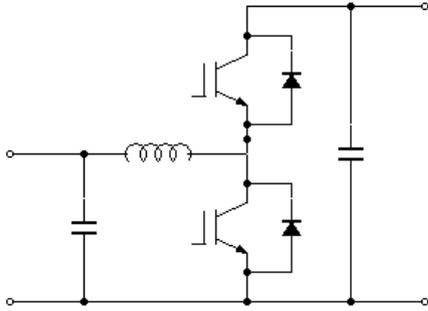
SCT2□□□KE, SCH2□□□KE
BSM120D12P2C005,
BSM180D12P2C101 其它

副边 推荐产品

SCS2□□AM, SCS2□□AG,
SCS2□□AE2, SCS2□□KG,
SCS2□□KE2 其它

9.4 双向转换器

- 高频驱动使被动器件小型化
- Eoff、Err 的降低带来效率的改善和散热部件的简化

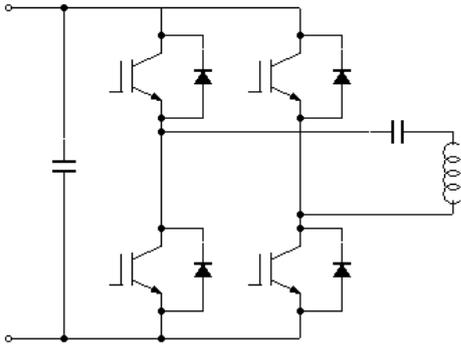


推荐产品

SCT2□□□KE, SCH2□□□KE
BSM120D12P2C005,
BSM180D12P2C101 其它

9.5 用于 IH 的逆变器

- 高频化使加工对象范围得到扩展
- Eoff、Err 的降低带来效率的改善和散热部件的简化

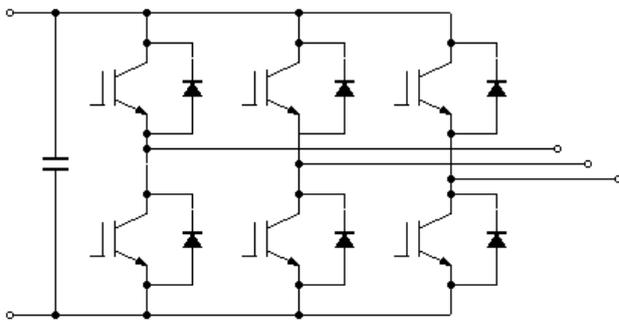


推荐产品

SCT2□□□KE, SCH2□□□KE
BSM120D12P2C005,
BSM180D12P2C101 其它

9.6 马达驱动

- Eoff、Err 的降低，带来效率的改善和散热部件的简化

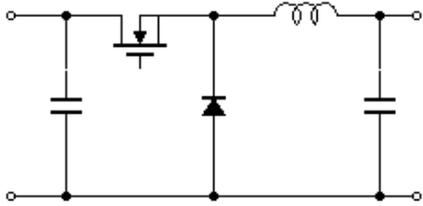


推荐产品

SCT2□□□KE, SCH2□□□KE
BSM120D12P2C005,
BSM180D12P2C101 其它

9.7 降压斩波

- Eoff 的降低，带来效率的改善和散热部件的简化
- 高频驱动，使被动器件小型化



推荐产品

SCT2□□□KE
SCS2□□AM, SCS2□□AG,
SCS2□□AE2, SCS2□□KG,
SCS2□□KE2 其它

9.8 音频直流放大器

- 丰富的音效表现力

推荐产品

SCT2□□□KE, SCH2□□□KE
SCS2□□AM, SCS2□□AG,
SCS2□□AE2 其它

注意事项

- 1) 本资料所记载的内容是截至 2013年 6月 1日的材料。
- 2) 本资料所记载的内容，有基于使其更加完善等原因而未预告便进行修改的情况。在使用本产品时，请向下述销售公司获取最新的规格说明书，并务必进一步确认产品的规格及其性能。
- 3) 我公司始终致力于提高品质和可靠性，但半导体产品可能会因各种原因出现故障或误动作。万一本产品出现故障或误动作，为避免由此引发人身安全事故、火灾损失等情况，请确保所使用的机器减载，冗余设计，防止火势蔓延，备份，自动防故障等安全保障措施。如超规格使用或违反说明书上的使用注意事项，罗姆公司概不予承担责任。
- 4) 关于本资料所记载的应用电路实例和它的参数等信息是本产品标准条件下的动作和使用方法。所以在量产设计时请充分地考虑外部诸条件。
- 5) 本资料所介绍的技术内容是产品的典型工作状态和应用电路举例。对于罗姆或其他公司的知识产权及其他所有权利未做明示或暗示的授权实施或使用。如因使用这些技术内容而引发纠纷，罗姆公司不予承担责任。
- 6) 本资料所述产品未作“防辐射设计”。
- 7) 本产品应用于下列要求高度可靠性的机器时，请务必联系罗姆公司，获得同意。
运输设备（车载、船舶、铁路等）、干线用通信设备、交通信号设备、防灾防盗装置、安全确保装置、医疗设备、服务器、太阳能电池、输电系统
- 8) 请不要将本产品用于要求极高可靠性的下列机器上。
航空宇航机器、原子能控制机器、海底中转机器
- 9) 由于未按照本资料所述内容操作而发生的一切事故、损害，罗姆公司概不予承担责任。
- 10) 本资料所记载的内容是力求准确无误而慎重编制成的，但万一用户方出现因该内容存在错误或打字差错造成损害时，罗姆公司不予承担责任。
- 11) 请在遵守RoHS指令等和环境相关的法律法规的基础上，使用本产品。关于本产品的RoHS符合内容等详细情况，请垂询下列销售公司。
由于客户不遵守相关法律法规而产生的损害，罗姆公司概不予承担责任。
- 12) 在出口或者向国外提供本产品及本资料所述技术时，请遵守“外汇及对外贸易法”、“美国出口管理规则”等出口相关法律法规，并按照规定履行必要程序。
- 13) 严厉禁止在没有得到罗姆公司许可的情况下转载、翻印本资料的部分或全部内容。



感谢探讨罗姆产品。
我们备有更详细的资料和产品目录等，敬请垂询。

罗姆客户支持系统

<http://www.rohm.com.cn>