



AN90015

整流器的反向偏压安全工作区域(SOA)

版本 1.0—2020 年 5 月 20 日

应用笔记

文档信息

信息	目录
关键字	安全工作区域(SOA)、整流器、热失控、热平衡、SiGe 整流器
摘要	本应用笔记解释了什么是整流器热失控，演示了如何计算 SOA，并描述了影响整流器热限值的主要因素。

1. 引言

在具有足够安全裕量的安全工作区域(SOA)内运行整流器对实现可靠设计来说至关重要，特别是在高功率密度或高温汽车应用中的较高环境温度条件下。本应用笔记解释了什么是整流器热失控，演示了如何计算 SOA，并描述了影响整流器热限值的主要因素。

2. 整流器作为热系统—热失控

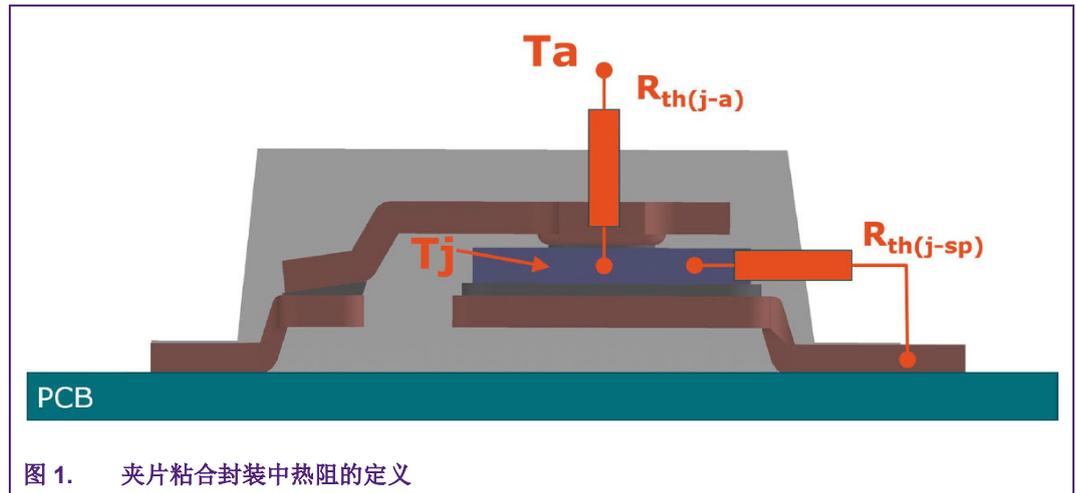


图 1. 夹片粘合封装中热阻的定义

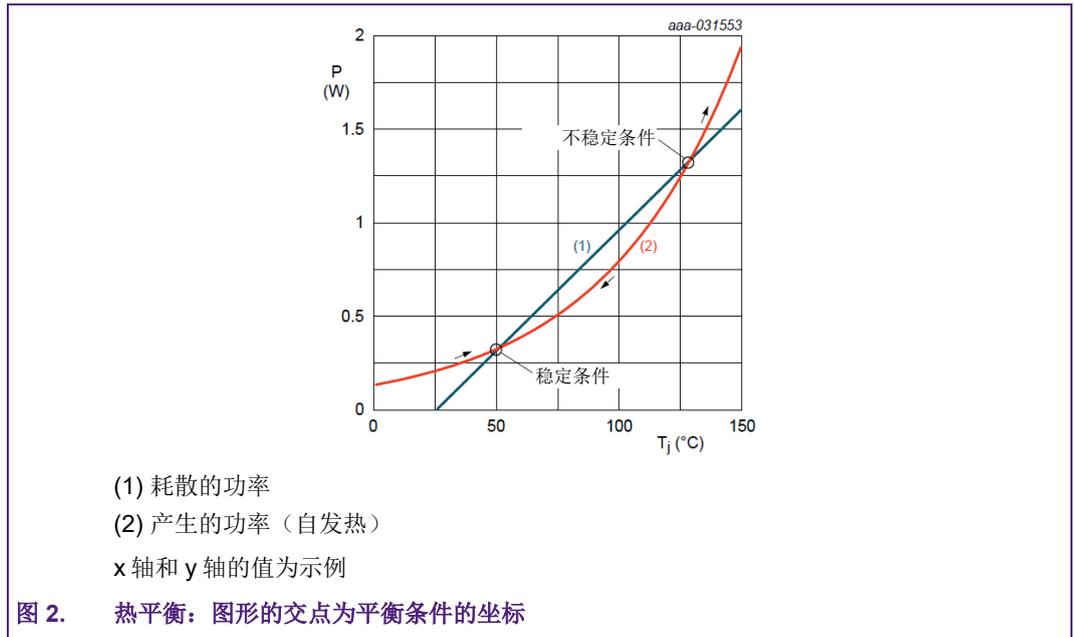
反向整流器的热稳定性由两个因素的相互作用决定，一是引起自发热的泄漏电流，二是整流器通过系统热阻散发该热量的能力。在热平衡期间，如果将固定环境温度 T_{amb} 作为热接地，器件的结温可描述为以下公式：

$$T_j = R_{th(j-a)} \times P_{dissipated} + T_{amb}$$

其中， $R_{th(j-a)}$ 为结温与环境温度之间的热阻， $P_{dissipated}$ 为器件耗散的功率。

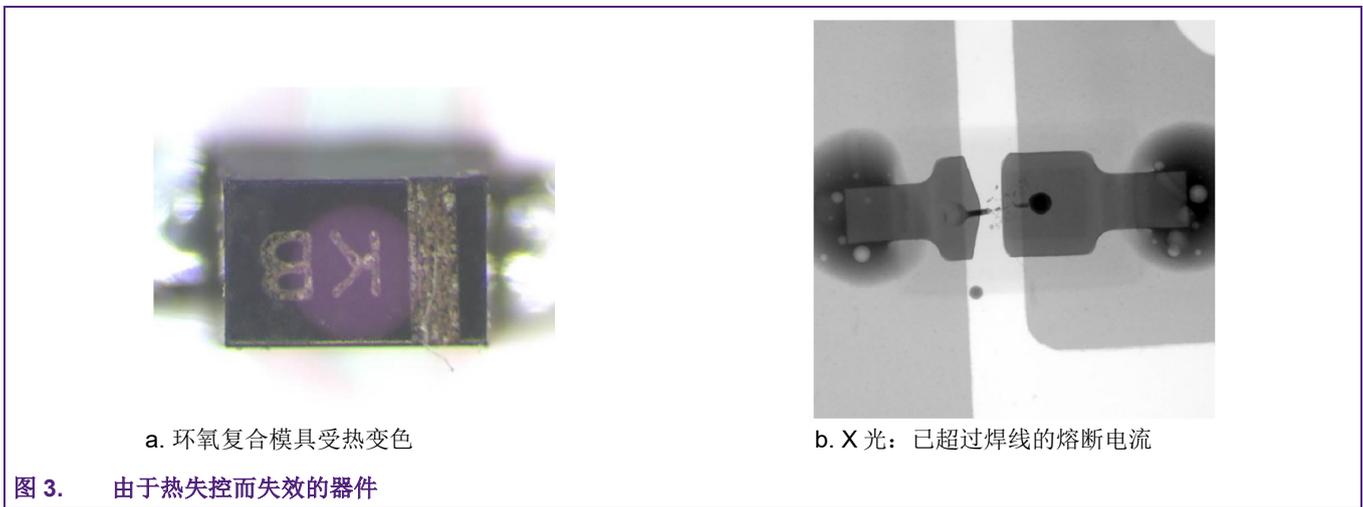
图 2 所示的平衡条件是两个并行过程的结果：

1. 热系统通过热阻散热的能力（图(1)）
2. 整流器的自发热($P_{generated}$)，由其反向泄漏电流（图(2)）和可能的开关损耗造成，泄漏电流随结温而增加



如图 2 所示，表示耗散功率的曲线在环境温度下与 x 轴相交，然后上升，斜率与系统的热导率(1/R_{th})成正比。当泄漏电流随温度呈指数增长时，二极管泄漏电流所产生的功率随结温的上升呈指数增长。两个图形的交点显示了平衡条件的坐标。第一个交点对应系统的稳定运行（稳定条件）。只要通过自发热产生的功率小于耗散的功率，器件的结温就会下降，并且在热平衡期间趋向稳定条件。该模型还解释了当系统开启时器件升温的现象，因为结温趋向稳定条件（图 2 中指向稳定条件的箭头）。

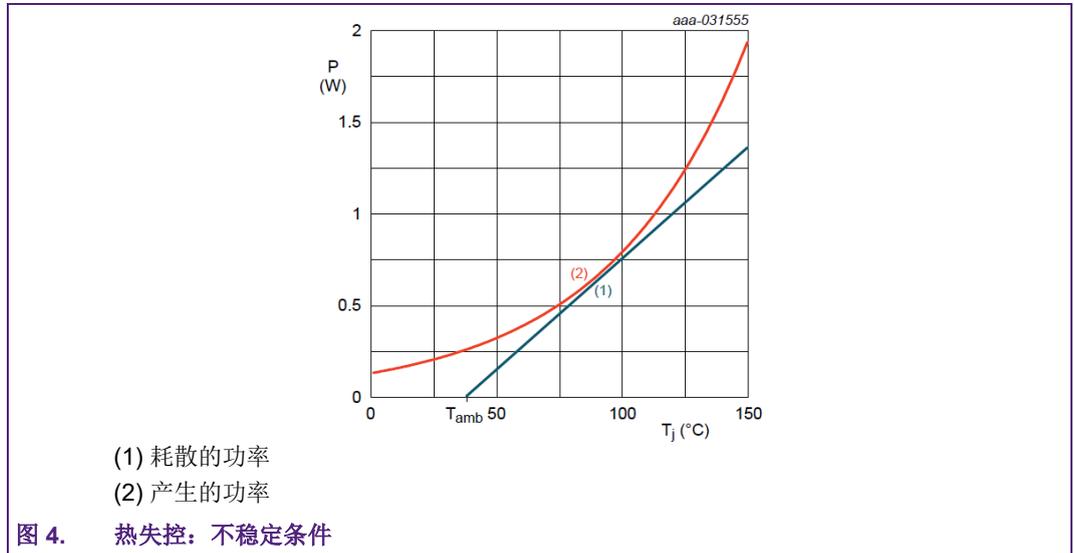
然而，如果产生的功率大于耗散的功率（表示不稳定条件的交点），结温就会上升，直至器件最终不具备热稳定性。我们称这种现象为“热失控”。器件将消耗越来越多的电流，直至其由于热过载而完全失效。图 3 显示了由于热失控而失效的器件的 x 光照片。在这种情况下，已超过焊线的熔断电流。如果使用夹片粘合封装，则芯片本身会由于热过载而遭到破坏。环氧复合模具的变色证明器件经历了高温。



整流器的反向偏压安全工作区域(SOA)

稳定运行和不稳定运行之间的温度间隔就是系统的安全裕量。如图 4 所示，该安全裕量会随着环境温度的升高而缩小，直至稳定条件和不稳定条件重合。

当发生下述条件时，这种情况就很明显： $\frac{\Delta P_{\text{generated}}}{\Delta T} > \frac{1}{R_{\text{th}}}$ 。



3. 反向整流器的 SOA

热失控条件给出的限值定义了反向整流器的安全工作区域(SOA)。对于每个反向偏压 V_R ，应采用下述公式测量随结温变化的相应泄漏电流 I_R ：

$$\frac{\Delta P_{\text{generated}}}{\Delta T} \times R_{\text{th}} \geq 1 \quad (\text{其中, } P_{\text{generated}} = V_R \times I_R)$$

可根据给定 R_{th} ，计算每个反向偏压点的热失控温度限值。根据该计算结果得出的图形显示了基于整流器结温的最大热稳定反向电压（图 5）。对于给定的 R_{th} ，降额曲线定义了整流器在进入热失控前所能承受的最大反向电压。

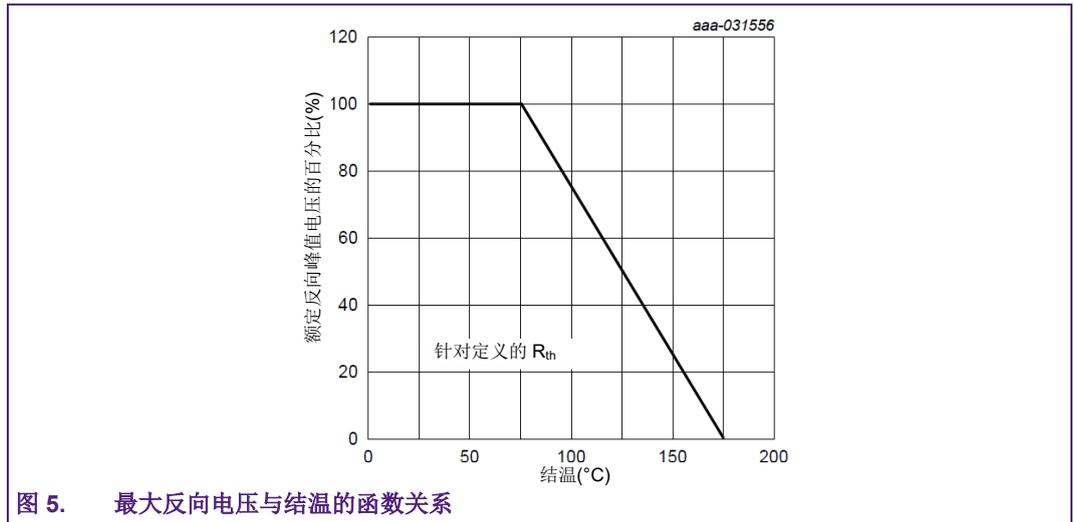


图 5. 最大反向电压与结温的函数关系

在实践中，图 5 中 SOA 图形的用法如下：

针对已知产品 $R_{\text{th}(j-a)}$ 值的给定应用，根据该图形所示，要求的最大反向电压定义了最大结温。

可以考虑整流器数据手册中给出的给定反向电压和结温下器件的泄漏电流，从而计算出产生的功率。最后，可使用下述公式计算出允许的最大环境温度：

$$T_{\text{amb(max)}} = T_{\text{j(max)}} - P_{\text{generated}} \times R_{\text{th}(j-a)}$$

4. 影响整流器 SOA 的主要因素

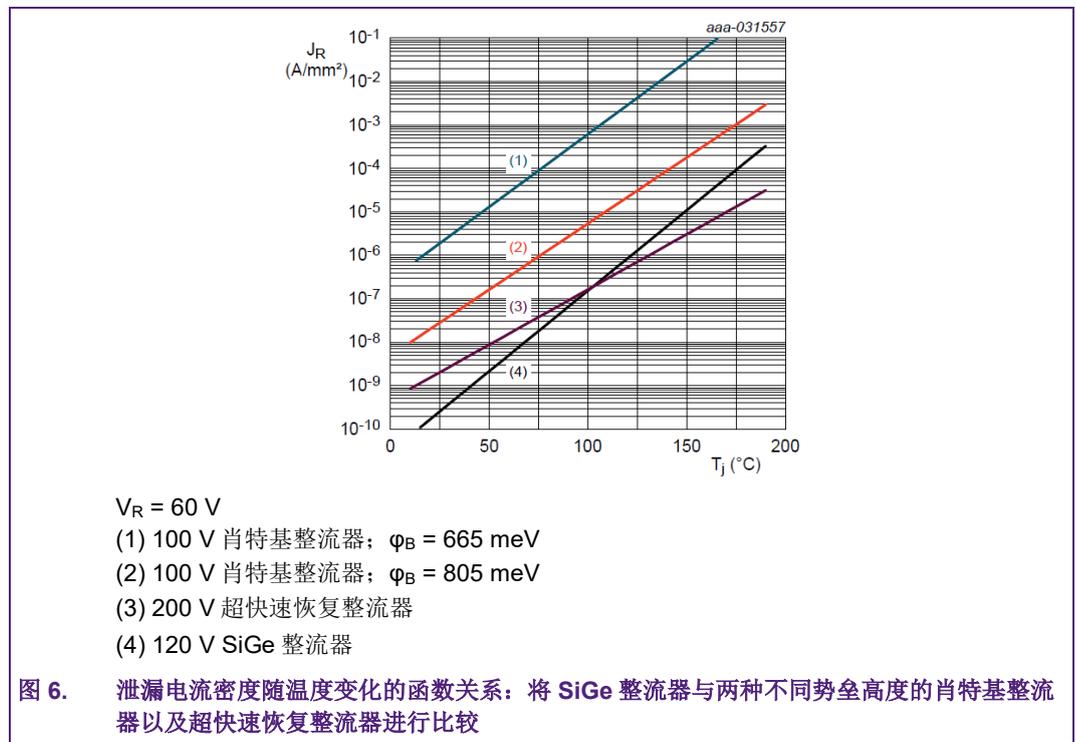
如第 3 节中所述，以及根据公式 $\frac{\Delta P_{\text{generated}}}{\Delta T} \geq \frac{1}{R_{\text{th}}}$ 可以得出，系统的热阻对整流器的 SOA 具有很大的影响。因此，要扩大整流器的 SOA，我们可以选用结点至焊点间热阻 $R_{\text{th(j-sp)}}$ 较低的产品封装，并且/或者使用热性能更高的印刷电路板(PCB)（如陶瓷 PCB）或衬底。

所选整流器技术对 SOA 的影响是另一个重要方面，因为产生的功率是由整流器在给定偏压点的反向泄漏电流引起的。在比较不同技术的泄漏电流时，明智的做法是参考泄漏电流密度，而非泄漏电流本身（参见图 6）。这个方法可以消除芯片尺寸的影响。图 6 中的图形显示了四种不同产品的泄漏电流密度随结温的变化情况。

所选的产品如下：

- 100 V 肖特基整流器，势垒高度(ϕ_B)为 805 meV
- 100 V 肖特基整流器，势垒高度为 665 meV
- 200 V 超快速恢复整流器
- Nexperia 的新型 120 V 锗化硅(SiGe)整流器

泄漏电流是在 $V_R = 60 \text{ V}$ 时测得的，裕量超过 40 V 直至产生击穿电压，因此泄漏电流几乎不受击穿影响。在首次近似过程中，该偏压点的泄漏电流主要由固有泄漏控制，而不受单元端接处的影响。



我们发现，势垒高度较低的肖特基整流器具有最高的泄漏电流密度。如果势垒高度从 665 meV 增加至 805 meV，泄漏电流密度则减少两个数量级。超快速恢复整流器可实现最低的反向电流密度（采用标准开关速度的恢复整流器甚至有望实现更低的泄漏电流，此次比较未显示）。有趣的是，新型 SiGe 整流器技术的泄漏电流密度与超快速恢复整流器处于同一水平。

整流器的反向偏压安全工作区域(SOA)

反向整流器热稳定性的决定性因素就是泄漏电流随温度增加的速率。因此，将图 6 中的图形根据温度进行区分就得出了图 7。

由于反向泄漏电流密度随温度呈指数增长，其衍生泄漏电流密度也会呈指数增长，因此在对数尺度上呈线性。考虑到广为人知的整流器反向泄漏电流与正向压降之间的权衡，SiGe 整流器是实现热稳定性（泄漏电流）和效率（正向压降）权衡的最佳选择。

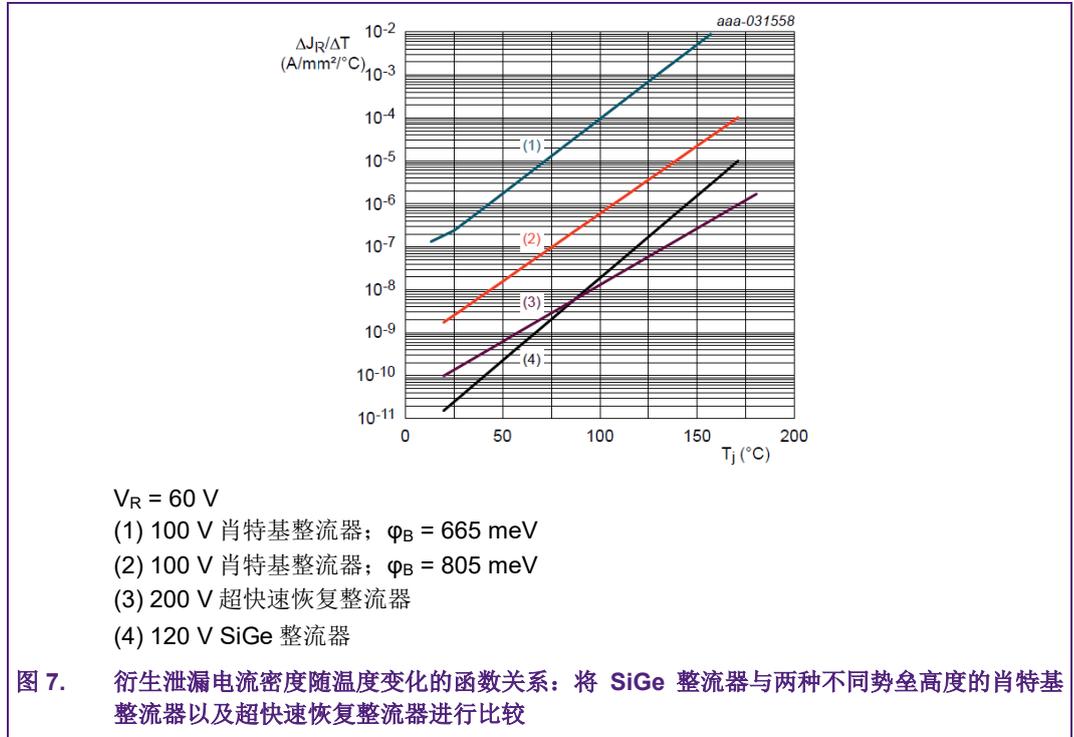
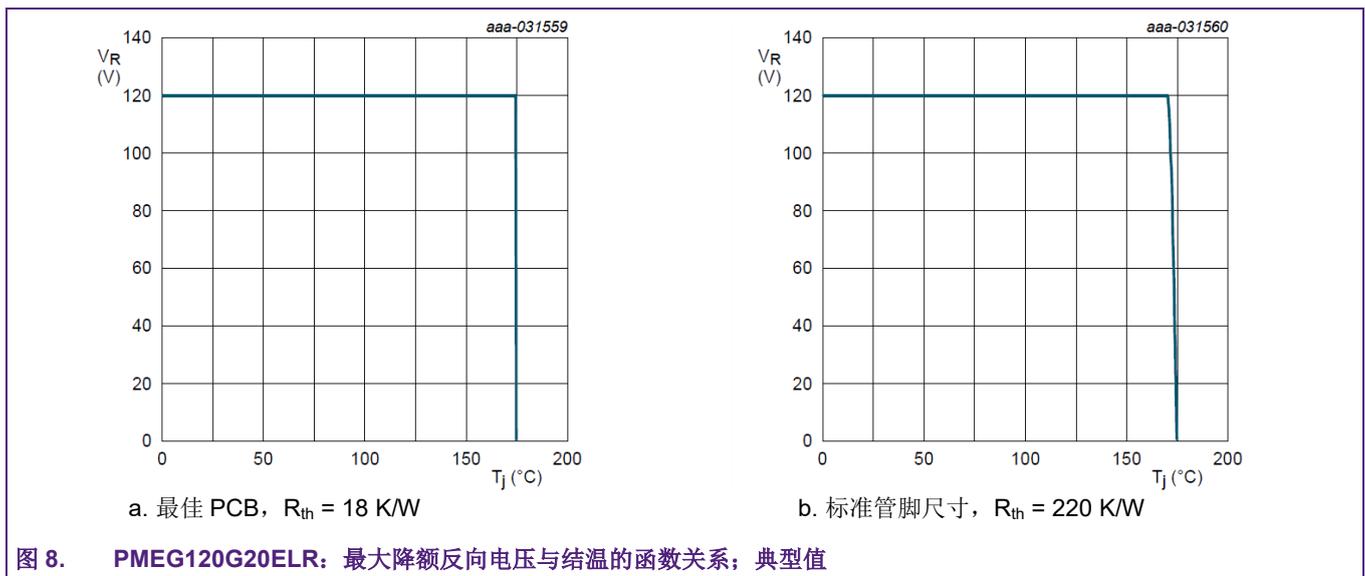


图 8 以两种不同的热阻为例，说明了 Nexperia SiGe 整流器 PMEG120G20ELR 所得出的 SOA: $R_{th} = 18$ K/W 的最佳 PCB，以及 $R_{th} = 220$ K/W 的标准管脚尺寸。即使采用标准管脚尺寸，SiGe 整流器也能够几乎在高达 175°C 的结温条件下完全实现其最大反向电压，且不会出现热失控。



5. 总结

在高温应用中，考虑整流器的安全工作区域对于实现可靠设计来说至关重要。满足条件 $\frac{\Delta P_{\text{generated}}}{\Delta T} \geq \frac{1}{R_{\text{th}}}$ 即满足热失控条件。除了系统的热阻，所采用的整流器技术也会对器件的热稳定性产生影响。Nexperia 的新型 SiGe 整流器几乎在最高结温条件下也表现出优异的热稳定性。

6. 修订记录

表 1. 修订记录

修订编号	日期	描述
1.0	2020-05-20	初始版本

7. 法律信息

定义

初稿 — 本文仅为初稿版本。内容仍在内部审查，尚未正式批准，可能会有进一步修改或补充。Nexperia 对此处所含信息的准确性或完整性不做任何说明或保证，并对因使用此信息而带来的后果不承担任何责任。

免责声明

有限保证和责任 — 本文档中的信息据信是准确和可靠的。但是，Nexperia 对此处所含信息的准确性或完整性不做任何明示或暗示的声明或保证，并对因使用此信息而带来的后果不承担任何责任。若文中信息并非来自 Nexperia，则 Nexperia 对该信息的内容概不负责。

在任何情况下，对于任何间接性、意外性、惩罚性、特殊性或后果性损害（包括但不限于利润损失、积蓄损失、业务中断、因拆卸或更换任何产品而产生的开支或返工费用），无论此等损害是否基于侵权行为（包括过失）、保证、违约或任何其他法理，Nexperia 均不承担任何责任。

对于因任何原因给客户带来的任何损害，Nexperia 对本文所述产品的总计责任和累积责任仅限于 Nexperia 商业销售条款和条件所规定的范围。

修改权 — Nexperia 有权随时修改本文档所发布的信息，包括但不限于规格和产品描述，恕不另行通知。本文档将取代并替换之前就此提供的所有信息。

适用性 — Nexperia 产品并非设计、授权或担保适用于生命维持、生命攸关或安全关键型系统或设备，亦非设计、授权或担保适用于在 Nexperia 产品失效或故障时可导致人员受伤、死亡或严重财产损失或环境损害的应用。Nexperia 及其供应商对在此类设备或应用中加入和/或使用 Nexperia 产品不承担任何责任，客户需自行承担因加入和/或使用 Nexperia 产品而带来的风险。

应用 — 本文档所载任何产品的应用只用于例证目的。此类应用若未进一步测试或修改用于特定用途，Nexperia 对其适用性不做任何声明或保证。

客户负责自行使用 Nexperia 产品进行设计和应用，对于应用或客户产品设计，Nexperia 均无义务提供任何协助。客户须自行负责检验 Nexperia 的产品是否适用于客户的规划应用和产品，以及是否适用于其第三方客户的规划应用和使用。客户应提供适当的设计和操作系统安全保障措施，以最大限度降低与应用和产品相关的风险。

对于因客户的应用或产品的任何缺陷或故障，或者客户的第三方客户的应用或使用导致的任何故障、损害、费用或问题，Nexperia 均不承担任何责任。客户负责对使用 Nexperia 产品的应用和产品执行所有必要的测试，以避免这些应用和产品或者客户的第三方客户的应用或使用存在任何缺陷。Nexperia 不承担与此相关的任何责任。

出口管制 — 本文档以及此处所描述的产品可能受出口法规的管制。出口可能需要事先经主管部门批准。

翻译 — 非英文（翻译）版文档仅供参考。如果翻译版与英文版之间存在任何差异，以英文版为准。

商标

注意：所有引用的品牌、产品名称、服务名称以及商标均为其各自所有者的资产。

表目录

表 1. 修订记录 9

图目录

图 1. 夹片粘合封装中热阻的定义	2
图 2. 热平衡：图形的交点为平衡条件的坐标	3
图 3. 由于热失控而失效的器件	3
图 4. 热失控：不稳定条件	4
图 5. 最大反向电压与结温的函数关系	5
图 6. 泄漏电流密度随温度变化的函数关系：对 SiGe 整流器与两种不同势垒高度的肖特基整流器以及超快速恢复整流器进行比较	6
图 7. 衍生泄漏电流密度随温度变化的函数关系：对 SiGe 整流器与两种不同势垒高度的肖特基整流器以及超快速恢复整流器进行比较	7
图 8. PMEG120G20ELR：最大降额反向电压与结温的函数关系；典型值	7

目录

1. 引言	2
2. 整流器作为热系统—热失控	2
3. 反向整流器的 SOA	5
4. 影响整流器 SOA 的主要因素	6
5. 总结	8
6. 修订记录	9
7. 法律信息	10

© Nexperia B.V. 2020 年。保留所有权利

更多详情，请访问：<http://www.nexperia.com>

如需获取销售办事处地址，请发送电子邮件至：salesaddresses@nexperia.com

发布日期：2020 年 5 月 20 日
