

# Trench和平面肖特基整流二极管的比较

Trench技术提供更高的 $Q_{rr}$ 、更少的开关损耗和更宽的安全工作区

**in** 作者：Nexperia应用市场营销经理Reza Behtash博士（在读）

肖特基二极管以发明者德国物理学家华特·汉斯·肖特基命名，实质上由金属-半导体界面组成。得益于较低的正向压降和较高的开关速度，肖特基二极管广泛用于多种应用，例如在功率转换电路中作为升压二极管。当然，肖特基二极管的电气性能主要受到正向压降、漏电流和反向截止电压之间的物理权衡的影响。Trench肖特基二极管是在原始肖特基二极管基础之上的进一步发展，提供比平面肖特基整流二极管更出色的功能。本文将讨论Trench肖特基整流二极管的结构和优点。

## 肖特基整流二极管的工作原理

理想的整流器具有低正向压降、高反向截止电压、零漏电流和低寄生电容，从而帮助实现高开关速度。考虑正向压降时，有两个主要因素：结点处的压降（PN整流二极管为PN结，肖特基整流二极管为金属-半导体结）；以及漂移区的压降。虽然PN结的正向压降在本质上由内置电压决定，因而主要由指定半导体材料决定，但肖特基势垒整流二极管中金属-半导体接面的正向压降可通过选择肖特基金属来修改，而肖特基势垒就是半导体的金属功函数和电子亲和能之差。

通过使用具有低金属功函数的肖特基金属，可最大限度减少金属-半导体接面的压降。但是，结点处的正向压降和肖特基整流二极管的漏电流之间存在权衡关系，因为漏电流的级别也由肖特基势垒和金属-半导体接面的电场决定。除了该权衡，为实现高反向截止电压，当漂移区的厚度增加时，结点处低压降的优势可能会消失。因此，肖特基整流二极管的反向截止电压历来限制在200 V以下。

## Trench技术

鉴于该解释，有人可能会问，不管对低漏电流和高反向截止电压的要求，应该如何保持肖特基整流二极管的主要优势——即金属-半导体接面的低压降？在这里，Trench整流二极管被证明非常有用。Trench肖特基整流二极管背后的概念被称为“RESURF”（降低表面电场(reduced surface field)）。RESURF效应如图1所示。在平面肖特基整流二极管中，等势线集中在上电极附近，导致表面附近的电场较高。因此，随着反向电压增加，漏电流显著增加，并且当表面附近的电场超出临界值时，会发生早期击穿现象。

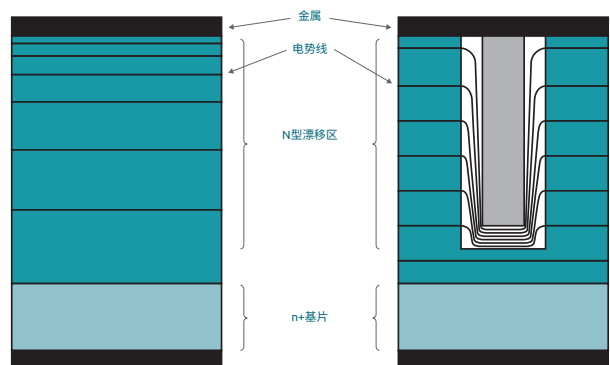


图1：平面肖特基整流二极管（左）和反方向Trench肖特基整流二极管（右）中的等势线。

通过将沟道蚀刻到硅并在其中填满多晶硅（通过薄介质以电子方式与漂移区分离），Trench充当半导体中的场板，在反方向上耗尽漂移区，沿漂移区呈现平面电场分布。因此，Trench概念可缓和表面附近的电场，与具有相同外延结构的平面器件相比，可产生更高的击穿电压，从而实现更低的漏电流。

Nexperia开发并推出了电压范围介于45-100 V之间的一系列Trench肖特基整流二极管（PMEG\*T系列）。这些器件可在正向压降（ $V_f$ ）和漏电流（ $I_R$ ）之间实现适宜的权衡。例如，60 V产品的 $V_f$ - $I_R$ 权衡如图2所示。在该图中，根据125°C条件下最大正向电流时的正向压降，绘制了最大反向电压时的漏电流。为进行比较，该图还绘制了另外两个制造商的一些Trench和平面肖特基整流二极管。对于给定的正向压降，Nexperia器件显示出最低的漏电流。

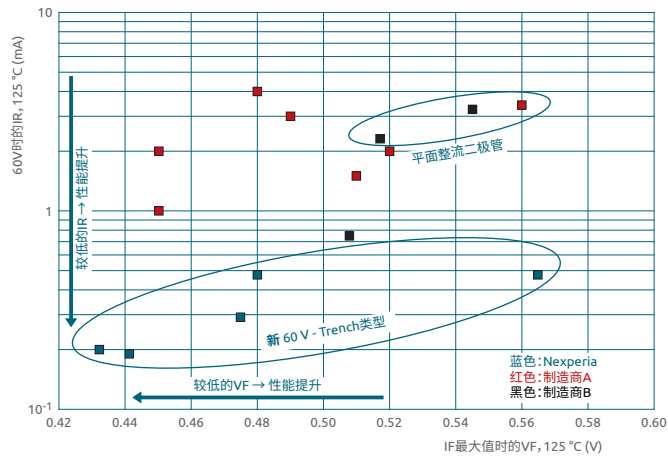


图2: 125°C条件下，最大反向电压和最大正向电流时的 $V_f/I_R$ 权衡。

### 宽广的安全工作区(SOA)

与具有可比正向压降的同等平面肖特基整流二极管相比，Trench肖特基整流二极管的漏电流较低，这表示Trench器件的安全工作区(SOA)更宽。SOA定义了能够针对结温施加的最大反向电压。与平面肖特基整流二极管相比，Nexperia的Trench整流二极管除了提供固有的SOA优势之外，在设计时还特别注意提供宽广的SOA。图3显示当系统热阻( $R_{th(j-a)}$ )为90 K/W时，Nexperia的Trench肖特基整流二极管（PMEG100T080ELPE - 橙色线）与另一家供应商的Trench肖特基整流二极管（蓝色）的SOA比较。在125°C的结温下，Nexperia的Trench肖特基整流二极管的最大允许反向电压比竞争对手的Trench肖特基整流二极管产品高出将近40 V。

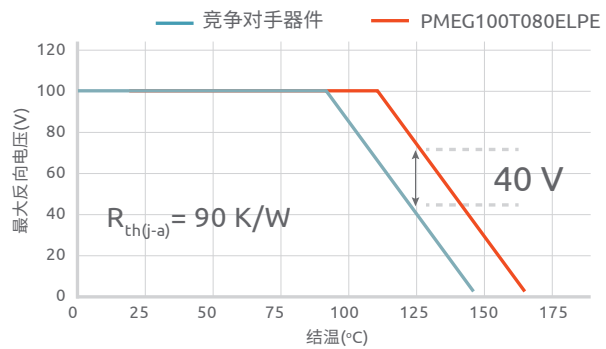


图3: Nexperia的PMEG100T080ELPE Trench肖特基整流二极管与竞争对手的Trench肖特基整流二极管产品的比较。

因此，在必须耐受较高环境温度的应用中，如汽车领域，Trench肖特基整流二极管是合适的选择，因为它们更加稳健，可防止热失控（当整流二极管漏电流造成的耗散功率增加快于通过系统热阻的散热时发生的不稳定）。

Trench肖特基整流二极管的等效电路图如图4所示。除了肖特基二极管通常提供的寄生电容 $C_{\text{DIODE}}$ ，沟道结构中的电极和薄介质会产生第二个寄生电容 $C_{\text{TRENCH}}$ 。这意味着，在每单位面积上，Trench肖特基整流二极管的总寄生电容高于平面肖特基整流二极管。

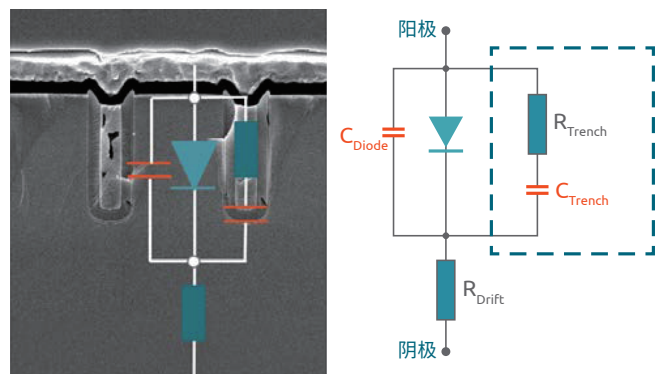
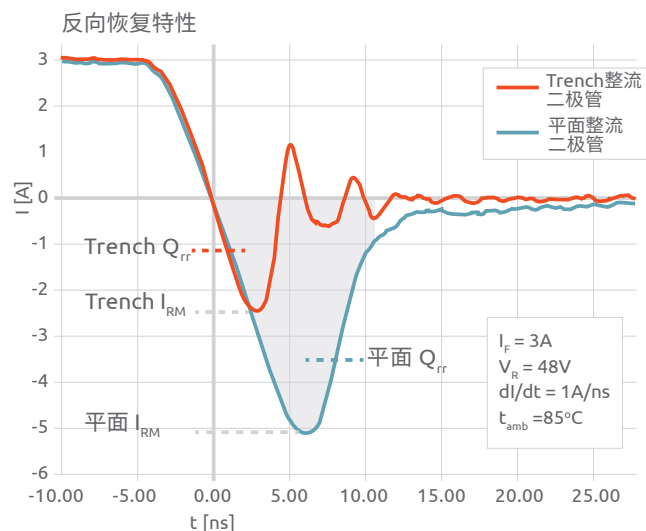


图4: Trench肖特基整流二极管的剖面图和等效电路图，高亮显示电路元件。

但是， $C_{\text{TRENCH}}$ 不会影响二极管的开关特性或EMI；事实上，Trench整流器具有较少的存储电荷 $Q_{rr}$ ，与平面肖特基整流二极管相比，虽然整体寄生电容较大，但它展现了出色的开关性能，正如Trench整流二极管数据手册中所示。在下一部分，我们将讨论Trench肖特基整流二极管的开关性能及其对转换器效率的影响。

## 反向恢复特性和 $Q_{rr}$

我们可以通过反向恢复测量来表征器件的开关特性。进行此类测量的方式是正向偏置整流二极管，然后将器件切换到反向状态。由于器件中存储的电荷（在等效电路中表示为寄生电容 $C_{Diode}$ ，图4）必须在二极管截止之前先去除，因此便发生了所谓的整流二极管反向恢复电流。Trench肖特基整流二极管及具有相近芯片尺寸和封装的平面肖特基整流二极管的斜坡反向恢复测量如图5所示。



	$Q_{rr}$ (T=25°C)	$Q_{rr}$ (T=85°C)	$I_{RM}$ (T=25°C)	$I_{RM}$ (T=25°C)
Trench肖特基整流二极管	8.6 nC	8.5 nC	2.8 A	2.7 A
平面肖特基整流二极管	26.3 nC	33.5 nC	5.2 A	5.2 A

图5: Trench和平面肖特基整流二极管的反向恢复特性。

在该测量中，电流以1 A/ $\mu$ s的 $di/dt$ 变化率下降。零线下方的区域代表整流二极管的 $Q_{rr}$ 。蓝线显示Trench整流二极管的较低的 $Q_{rr}$ 。图表还显示，与平面整流二极管相比，虽然寄生电容更高（正如上文讨论的那样），但Trench整流二极管的反向恢复电流更低，反向恢复时间更短。Trench整流二极管的 $Q_{rr}$ 的温度稳定性非常突出，因为应用很少在25°C温度下运行。如图5所示，Trench整流二极管的 $Q_{rr}$ 在85°C的更高环境温度下很少变化，而平面肖特基整流二极管的 $Q_{rr}$ 大幅增加。

图6显示了Trench肖特基整流二极管对48 V/12 V开关模式转换器效率的影响。由于Trench肖特基整流二极管的 $Q_{rr}$ 较低，因而带来很高的转换器效率提升，特别是在开关损耗较大的高频条件下。

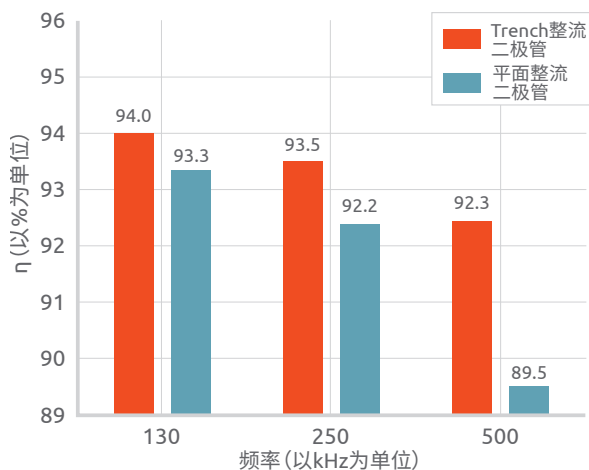


图6: Trench肖特基整流二极管带来很高的转换器效率提升，特别是高频条件下，它们的开关损耗小于平面整流二极管。

在开关过程中，Trench整流器中出现的任何振铃都不会影响电磁辐射等级，图7中显示的传导和发射辐射测量值证明了这一点。

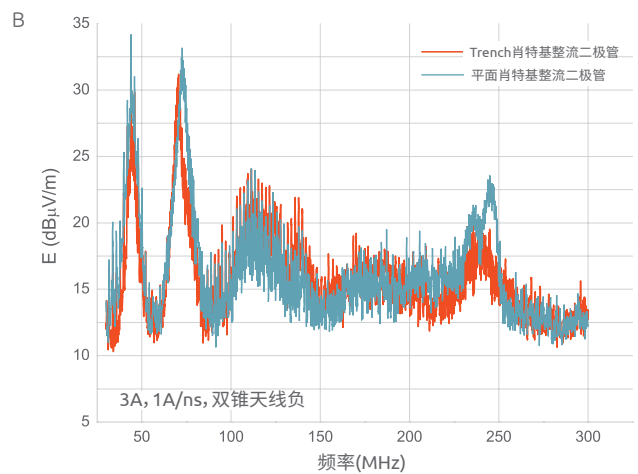
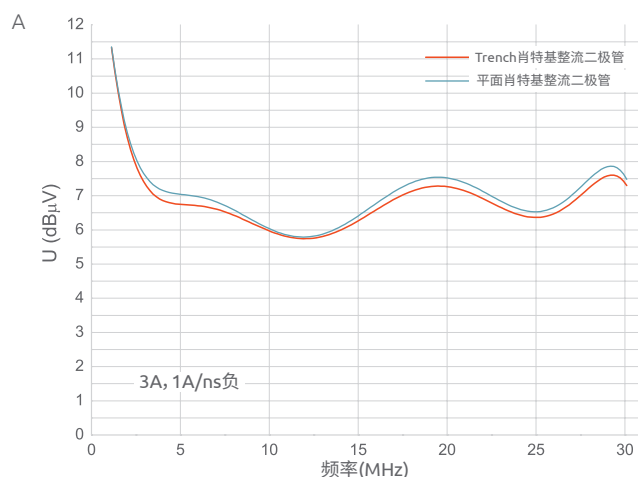


图7: 对电磁辐射的影响: 发射辐射(A); 传导辐射(B)。48 V-12 V降压转换器用作测试载体; 3 A CFP3整流二极管。



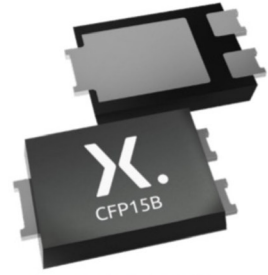
**CFP2-HP (SOD323HP)**  
2.2 x 1.3 x 0.7 mm\*  
 $R_{th(j-sp)} = 6 \text{ K/W}$



**CFP3 (SOD123W)**  
2.6 x 1.7 x 1.0 mm\*  
 $R_{th(j-sp)} = 18 \text{ K/W}$



**CFP5 (SOD128)**  
3.8 x 2.5 x 1.0 mm\*  
 $R_{th(j-sp)} = 12 \text{ K/W}$



**CFP15B (SOT1289B)**  
5.8 x 4.3 x 0.95 mm\*  
 $R_{th(j-sp)} = 7 \text{ K/W}$

图8: Nexperia的Trench肖特基整流二极管采用夹片粘合FlatPower封装

\*器件尺寸 (lxwxh)

## 结论

我们可以得出以下结论：如果正向压降和漏电流之间需要更好的权衡，则Trench整流二极管是正确选择。在环境温度升高的高功率密度应用中，也应该选择Trench整流二极管，因为它们更加稳健，可避免热失控造成的影响。Trench整流二极管可以减少开关损耗，对于开关速度高于100 kHz的应用，这一点具有特别重要的意义。

要了解更多信息，请访问

[www.nexperia.com/trench-schottky-rectifiers](http://www.nexperia.com/trench-schottky-rectifiers)

## 关于Nexperia

Nexperia是大批量生产基础半导体器件的专家，其产品广泛应用于全球各类电子设计。该公司的产品组合包括二极管、双极性晶体管、ESD保护器件、MOSFET器件、氮化镓场效应晶体管(GaN FET)以及模拟IC和逻辑IC。Nexperia的总部位于荷兰奈梅亨，每年交付1000多亿件产品，产品符合汽车行业标准。其产品在效率（如工艺、尺寸、功率及性能）方面获得行业广泛认可，拥有先进的小尺寸封装技术，可有效节省功耗及空间。Nexperia拥有超过12,000名员工，分布在亚洲、欧洲和美国。

在[此处](#)查找您的地区销售办事处

## © 2021 Nexperia B.V.

保留所有权利。未经版权所有者优先书面同意，禁止复制本文全部或部分内容。本文档中所提供的信息不构成任何报价或合同的一部分，且被认为是准确可靠的，如有变更，恕不另行通知。对于使用本文档所产生的任何后果，出版方概不承担任何责任。出版内容既不传达也不暗示专利或者其他工业或知识产权下的任何许可。

[nexperia.com](http://nexperia.com)

## 发布日期:

2021年8月

