

# Bodo's 功率 系统

Bodo's Power Systems ®

Electronics in Motion and Conversion

2025年11/12月 · Nov/Dec 2025

采用先进碳化硅封装技术  
有效提升系统耐久性

By Adopting Advanced SiC Packaging Technology,  
System Durability Has Been Significantly Improved



爱戴爱集团  
荣誉出品

## 电动汽车用J3系列EV T-PM

### 性能特点：

- 2in1模块具有超紧凑型压注模封装，兼容RC-IGBT和SiC-MOSFET
- 6in1模块集成散热针翅，便于客户使用
- 750V功率模块采用第3代RC-IGBT芯片，内置硅片级温度和电流传感器
- 1300V功率模块采用第4代SiC MOSFET芯片（沟槽栅），集成DESAT二极管及SCM功能
- 1300V单向/双向继电器，比传统机械继电器响应更快速，寿命更长
- 符合ELV和RoHS指令

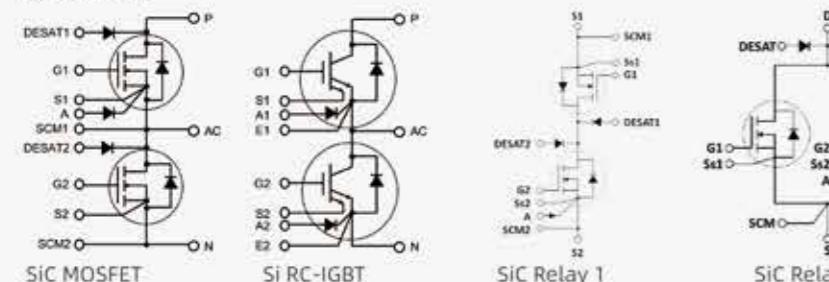
### 应用领域：

- EV/HEV逆变器，电池管理单元

### 驱动芯片特点

- 支持两电平开通，使用高门极电压降低损耗，同时兼顾安全保护
- 动态调整门极驱动能力，改善浪涌电压和关断损耗的折中
- 实时监控高压，无需外部器件，支持快速短路保护功能
- 集成电荷泵形式的门极负偏压功能
- 支持故障模式识别
- 满足高绝缘电压3750Vrms（一分钟）

### 内部电路图



三菱电机机电（上海）有限公司

021-52082030

地址：上海市长宁区兴义路8号万都中心29楼

### 产品一览：

型号	额定值		外形封装	电动汽车应用 峰值功率	
	电流	电压			
CTF350DJ3A130 (CTF250DJ3A130)*	350A 250A	1300V SiC		DC800V	50~150kW
CT400DJ3A075 (CT560DJ3A075)*	400A 560A	750V Si		DC400V	50~130kW
CTF350CJ3C130 (CTF250CJ3C130)*	350A 250A	1300V SiC		DC800V	50~150kW
CT400CJ3C075 (CT560CJ3C075)*	400A 560A	750V Si		DC400V	50~130kW
CTF700CJ3D130 (CTF490CJ3D130)*	700A 490A	1300V SiC		DC800V	200~300kW
CT800CJ3D075 (CT1100CJ3D075)*	800A 1100A	750V Si		DC400V	100~220kW
SiC Relay 1 *	250Adc	1300V SiC			双向开关
SiC Relay 2 *	350Adc	1300V SiC			单向开关

(xxx)\*：计划中

### 驱动芯片：

型号	外形封装	匹配器件	电动汽车应用
M81810FP		RC-IGBT	
M81811FP		SiC MOSFET	主驱逆变器，DC/DC 变换器



三菱电机半导体官方微博

主编寄语 ..... 05

新闻 ..... 06

蓝色产品

全新DualPack 3 IGBT 7电源模块提供高功率密度并简化系统集成 ..... 12

绿色产品

先进的800V AI数据中心电源供电架构，实现更高效率与易用性 ..... 13

面对面

AI服务器“功耗危机”催生高压化变革，罗姆开拓功率半导体新蓝海 ..... 14  
作者：Bodo's 功率系统编辑部

聚焦新能源“心脏”搏动，共绘电能变换产业新图景 ..... 17

作者：Bodo's 功率系统编辑部

工业运用

破局固态断路器应用：为何SiC JFET 成为行业优选方案 ..... 20  
作者：Michal Csiba, 安森美(onsemi) 技术市场分析师

电源管理

关汽车系统中的输入反向电压保护 ..... 23  
作者：Diodes 公司系统解决方案应用工程师  
Eduard Santa

简单制胜——第一部分：深入探讨BMS 中的主动均衡 ..... 26

作者：ADI 公司应用工程师Frank Zhang

宽禁带

采用先进碳化硅封装技术有效提升系统耐久性 ..... 29  
作者：Adam Barkley 博士, Wolfspeed 功率半导体研发副总裁

新产品

广告索引 ..... 34

广告索引 ..... 38

## IGBT 驱动 领域专家



扫描微信二维码或搜索BJLMYDZ

关注享受积分返点

### 关于我们

- 高效、可靠、兼容、易用
- 引进北美技术和精良工艺
- 超过20年的技术积累沉淀
- 数千客户应用的成功经验
- 在线式全面技术支持服务

### 国内IGBT驱动技术领导者

北京落木源电子技术有限公司

BEIJING LMY ELECTRONICS CO., LTD

地址：北京市西城区教场口街一号

电话：010-62024388

网站：<http://www.pwrdriver.com>

Email：[pwrdriver@pwrdriver.com](mailto:pwrdriver@pwrdriver.com)

## Bodo的国际电子圈



2025年11/12月

**Bodo's 功率系统®**  
ISSN: 23055774

### 出版商

i2i Group Hong Kong Limited  
6/F - Shun Feng International Center  
174-182 Queens Road East Wanchai, Hong Kong, SAR  
Tel: 852.8177.7254  
Fax: 852.3015.4840

出版人 | Alexander Glos  
aglos@i2imedia.net

联合出版人 | 徐敏  
xumin@i2imedia.net

### 编辑部

**上海**  
上海愚园路 888 号 10 号楼 3502 室  
+86 21 6095 6570

**北京**  
北京永安东里 16 号 CBD 国际大厦 5 层 D551  
+86 10 6563 7528

**总编辑 | Bodo Arlt**

**编辑 | 徐敏**  
+86 21 6095 6571 | bpsc@i2i-m.com.cn

**数字编辑 | 姚明鹏**  
mannix@i2i-m.com.cn

**美术设计 | 许清伟**  
+86 21 6095 6572 | xuqingwei@i2imedia.net

**发行部**  
+86 21 6095 6572 | bpsc@i2i-m.com.cn

### 广告部

**中国**  
美唯广告（上海）有限公司  
+86 21 6095 6573 | xumin@i2imedia.net

**德国**  
Katzbek 17a  
D-24235 Laboe, Germany

**英国**  
June Hulme / GEMINI MARKETING  
+44 (0) 1270 872315  
junehulme@geminimarketing.co.uk

国内订阅请直接与本刊发行部联系。  
本杂志所有文字和图片，归本刊所有，未经许可，  
不得转载摘编。读者如发现本刊有掉页、残缺  
等印刷、装订质量问题，请与本刊编辑部联系。

All rights reserved. Any unauthorized reproduction of the magazine or any part thereof is strictly prohibited. Matters involving any alleged infringement of design, copyright, patent, trademark or other intellectual property rights (in the advertisements) should be addressed to the advertisers.



荣誉出品



发行认证

## 工程衬底有望加快电动汽车SiC与GaN应用进程



发布的 300mm QST™ 衬底，通过精心设计的缓冲层与衬底结构，有效缓解了晶格失配问题，为生长高质量、厚外延层的氮化镓器件奠定了基础。这使得制造适用于电动汽车牵引逆变器等高压场景（如 1200V）的垂直型氮化镓晶体管成为可能，从而打开了氮化镓进入电动汽车动力总成核心市场的大门。此外，工程衬底技术直接推动了氮化镓晶圆尺寸向 200mm 乃至 300mm 迈进，这是实现量产经济性、降低单位芯片成本的必经之路。

尽管前景广阔，工程衬底的规模化应用仍面临现实挑战。汽车行业对零部件的可靠性要求极端严苛，漫长的认证周期与设计迭代需要时间。新的衬底技术需要与现有的外延生长、器件制造工艺链完美整合，确保良率与性能的稳定性。目前，主流汽车制造商与一级供应商对于采用工程衬底的具体路线图仍持审慎观望态度，大规模的产业导入尚需时日。

然而，趋势已然清晰。面对电动汽车对电驱动系统更高效率、更高功率密度与低成本的永恒追求。它不仅是材料科学的创新，更是推动整个产业向更高效制造范式演进的关键赋能技术。随着技术成熟度不断提高与产业链协同深化，工程衬底有望在未来五到十年内，成为加速碳化硅与氮化镓功率电子在电动汽车领域真正普及的核心催化剂，重塑下一代电动化出行技术的竞争格局。

对于氮化镓而言，工程衬底的意义或许更为深远。氮化镓功率器件长期以来主要生长在硅衬底上，但两者间的晶格失配与热膨胀系数差异，严重限制了外延层质量与器件的电压等级及长期可靠性。虽然蓝宝石或碳化硅衬底能部分改善性能，却又带来了成本激增或与现有产线不兼容的新问题。工程衬底，例如信越化学最新

### 绿色贴士：

每天少用一次性塑料制品，选择可重复使用的购物袋、水杯和餐具，不仅能减少垃圾产生，还能为地球减负。小小的改变，汇聚成大大的环保力量！



扫描二维码或搜索微信号  
"lddz360" 即可添加

## 我国规模以上工业增加值增长4.9%



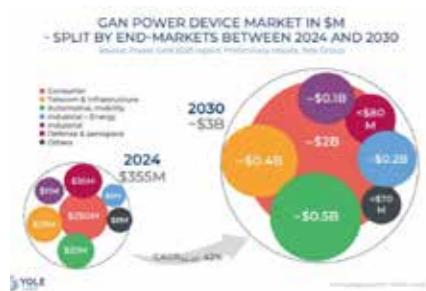
国新办举行新闻发布会，介绍2025年10月份国民经济运行情况，10月份，全国规模以上工业增加值同比增长4.9%。

在发布会上，国家统计局新闻发言人、总经济师、国民经济综合统计司司长付凌晖表示，我国工业生产持续增长，装备制造业和高技术制造业增势较好。10月份，全国规模以上工业增加值同比增长4.9%，环比增长0.17%。装备制造业增加值同比增长8.0%，高技术制造业增加值增长7.2%，分别快于全部规模以上工业增加值3.1个和2.3个百分点。分产品看，3D打印设备、新能源汽车、工业机器人产品产量同比分别增长30.8%、19.3%、17.9%。1—10月份，全国规

模以上工业增加值同比增长6.1%。10月份，制造业采购经理指数为49.0%，企业生产经营活动预期指数为52.8%。1—9月份，全国规模以上工业企业实现利润总额53732亿元，同比增长3.2%。

[www.scio.gov.cn](http://www.scio.gov.cn)

## IGBT市场规模到2030年将达130亿美元



Yole Group结合市场建模和深入的器件分析，揭示了IGBT在汽车、可再生能源和工业电力系统等领域保持战略价值

的原因。IGBT市场正进入一个新阶段，硅、碳化硅和氮化镓三种材料并存，各自满足特定的性能和成本需求。

尽管碳化硅(SiC)发展迅速，尤其是在800V电动汽车平台和高效工业系统中，但IGBT在诸如混合动力汽车/插电式混合动力汽车、光伏逆变器、风力涡轮机、不间断电源(UPS)、轨道交通和电网基础设施等高功率、高电压和成本敏感型应用领域仍然占据主导地位。

可再生能源和充电应用领域系统电压的不断提高、超高功率系统中晶闸管的淘汰以及成熟、可扩展的IGBT技术面临的强劲价格压力，都进一步巩固了市场发展势头。

[www.yolegroup.com](http://www.yolegroup.com)

## 2025全球半导体产业：格局重塑与中国战略崛起



Yole Group近期同步发布两份核心报告：《Overview of the Semiconductor Devices Industry-H2 2025》和《China Semiconductor Industry 2025》。前

者提供了对全球半导体器件市场的系统评估；后者则从设备到器件，对中国正在形成的半导体供应链（包括晶圆代工与封测）进行深入分析。这两份报告共同呈现了行业结构变化、区域发展态势以及中期技术演进路径的综合视图。

报告聚焦全球器件市场表现，分析地域集中度、技术分类，以及在亚洲先进制程工厂支持下，美国无晶圆企业(fabless)影响力不断提升的趋势。

与此同时，《China Semiconductor Industry 2025》报告关注中国大陆正在加快构建完整半导体生态体系的进程，从产能扩张、技术布局到本土企业在设计、晶圆制造、封装测试以及设备等各业务环节的发展，系统分析其全方位的自主完善能力。

[www.yolegroup.com](http://www.yolegroup.com)

## 成功登陆香港联交所，开启从中国标杆到全球优选新征程



2025年12月8日，纳芯微（股

票代码：02676.HK；688052.SH）正式在香港联合交易所主板挂牌上市，成功构建“A+H”双资本平台，标志着公司全球化战略迈入全新阶段。

纳芯微将香港定位为海外总部，以此作为面向世界的战略枢纽，加速全球客户服务、供应链协同与生态建设，强化其在国际模拟芯片产业中的参与度与影响力。

[www.novosns.com](http://www.novosns.com)

## 完成E轮融资二期交割



臻驱科技宣布完成数亿元E轮融资二期交割，E轮融资额超6亿元。本轮融资中，E轮领投方国投创新、国投招商再

度加码，中国互联网投资基金、广州产投、浦东创投参与投资，老股东华泰宝利投资旗下华淳保信基金、元禾辰坤追加投资。

臻驱科技表示，本次融资资金将主要用于加速新一代功率模块、功率砖及电控产品的量产落地，推动海外客户项目的交付，并进一步完善国内业务布局和全球市场拓展。

[www.leadrive.com](http://www.leadrive.com)

# HITACHI

## 下一代3300V和6500V HiPak模块

HiPak IGBT模块在牵引、工业以及可再生能源应用中以高性能而闻名。现在，随着3.3 kV 1800A的沟槽栅TSPT<sup>+</sup>芯片技术和6.5 kV 1000 A增强型平面栅SPT<sup>+</sup>芯片技术的到来，产品性能得到了提升。采用沟槽栅TSPT<sup>+</sup>芯片技术后，日立能源提供了下一代IGBT，其芯片损耗进一步降低了30%，并为提高电流密度开辟了可能性。

[hitachienergy.com/semiconductors](http://hitachienergy.com/semiconductors)



## 签署战略合作协议，加速微技术创新



弗劳恩霍夫（Fraunhofer）电子纳米系统研究所（ENAS）与 X-FAB 正式宣布，正在通过创新合作模式强强联手。

手：“Lab-in-Fab”集研发、制造和商业化于一体，旨在加速微技术创新向工业化规模生产的转化。双方此次合作的技术重点是电子元器件及系统的先进封装与异质集成。

“Lab-in-Fab”模式可高效推动微机电系统（MEMS）、微流体、光学学及异质集成领域新工艺与新技术的研发，并将其直接转化为制造成果——该过程以客户为导向，兼具灵活性与可扩展性。

双方合作的重点领域包括：联合开发晶圆级封装的晶圆键合技术；作为传感、通信及医疗技术未来应用关键的异质集成技术；以及测试与可靠性方法的研发。合作内容还涵盖定向人员交流、联合研究与资助项目、积极参与技术会议及联合市场开发。

[www.fraunhofer.cn](http://www.fraunhofer.cn)

## 签署15年太阳能购电协议提供清洁能源



法国太阳能和农光互补大型发电企业 TSE 与服务多重电子应用领域、全球排名前列的半导体公司意法半导体（STMicroelectronics, 简称 ST）（纽

约证券交易所代码 :STM）签署一项实体购电协议（PPA），由 TSE 向意法半导体法国工厂供应太阳能发电厂生产的可再生能源电力。

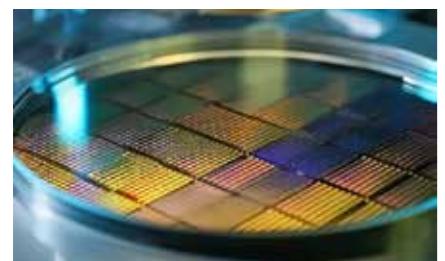
TSE 将通过在法国运营的三座总装机容量约 43 兆瓦的太阳能发电园区向意法半导体供应可再生能源电力。这份长达 15 年的供电合同将于 2027 年生效，合同总供电量约 780 吉瓦时。

意法半导体执行副总裁兼 DTIT 和

全球采购部主管 Chouaib Rokbi 表示：“这是我们在法国签署的第二份购电协议，标志 ST 朝着的 2027 年实现碳中和目标（范围 1 和范围 2 排放，以及部分范围 3 排放）又迈出了重要一步，包括到 2027 年前 100% 购买再生电力。”

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

## 两项核心氮化镓专利有效性胜诉



根据中国国家知识产权局最新审查决定，全球氮化镓龙头英诺赛科（Innoscience）正式获得关于其两

项核心氮化镓（GaN）专利有效性的胜诉结果，该决定明确维持英诺赛科专利权利要求全面有效，驳回了英飞凌（Infineon）提出的无效请求。英飞凌在此案上彻底败诉。据悉，英诺赛科已于今年早些时候对英飞凌发起了基于该两项专利的专利侵权诉讼。

英诺赛科（02577.HK）是全球领先的第三代半导体高新技术企业，致力于硅基氮化镓（GaN-on-Si）的研发

与制造。公司拥有全球最大规模的 8 英寸硅基氮化镓晶圆生产基地，产品设计及性能处于国际先进水平。公司氮化镓产品用于各种低中高压应用场景，产品研发范围覆盖 15V 至 1200V，涵盖晶圆、分立器件、IC、模组，并为客户提供全氮化镓解决方案。

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

## 完成新一轮融资超2亿



瀚薪科技宣布完成新一轮融资，金额超 2 亿，由西安高新区芯石投资合伙企业（有限合伙）领投，

西安高新区多家国有资本投资平台联合投资。瀚薪科技表示，融资完成后，他们将在西安建立第二总部，加快碳化硅核心产品的研发与产业化进程，全面提升公司在全国半导体功率器件领域的辐射力和影响力。

同时，瀚薪科技将依托西安丰富的科教与产业资源，积极构建“双总部、双轮驱动”格局，进一步整合产业链，扩大产能布局。

未来，瀚薪科技将继续聚焦碳化硅核心技术的研发与创新，持续推动产品迭代与市场应用，并不断提升客户服务标准，为新能源汽车、工业控制及光伏等领域提供高性能、高可靠的功率半导体解决方案。

[www.hestiapower.cn](http://www.hestiapower.cn)

## 氧化镓衬底达到近“零位错”



进化半导体（深圳）有限公司的氧化镓技术近期再次取得重要突破。“无铱工艺”（PMF-Precious Metal Free）制备的 2 英寸氧化镓衬底，品

质大幅提升，实现腐蚀坑密度 EPD < 50 个 /cm<sup>2</sup>（统计数 46 个 /cm<sup>2</sup>），相比其他工艺（导模法、直拉法、VB 法等基于贵金属的工艺体系）报道的数千至数万个，EPD 降低 2-3 个数量级，充分体现了进化半导体“PMF 无铱工艺”技术路线优势。

这是国际上首次报道达到该品质级别的衬底成果，为下游用户提高良率，推动产业化进程有重要意义。

使用自主开发的科研级 HVPE 外延设备，成功在上述低位错衬底上制备了厚度为 20 μm 的同质外延膜，外延层表面光滑，无色通透，可以清晰观察到 (100) 斜切面外延生长的台阶流。

[evolusia-semi.com](http://evolusia-semi.com)

**53** 年  
电测量解决方案专家

**功率变换系统中  
电流传感器小型化趋势**

**新**

**HMSRDA  
2022**

**HMSR  
2019**

**HLSR  
2012**

**CKSR  
2009**

**LEM**  
Life Energy Motion

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

## 实现关键GaN技术突破



新微半导体推出 650V 硅基氮化镓增强型( E-mode )功率工艺代工平台。平台具备高频运行效率、超低栅极电荷以及低导通电阻等核心优势，为新一代

高速高效功率器件提供优质解决方案。

该平台具有以下几方面优势：采用 P 帽层栅极与基于化学机械平坦化的钨栓 / 铝集成电路互连工艺，实现氮化镓形貌精准控制与低表面态；其关键可靠性指标符合 JEDEC 标准，确保了器件长期稳定运行；该平台制造的器件性能表现突出：低比导通电阻 ( $R_{sp}$ ) 约为  $350\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2$ ，优异的品质因数 ( $R_{on} \cdot Q_g$ ) - $300\text{m}\Omega \cdot \text{nC}$ ，实 现

[www.advanced-microsemi.com](http://www.advanced-microsemi.com)

了低开关损耗与导通损耗的双重突破。

新微半导体已在功率半导体方向构建起全面的硅基氮化镓功率工艺平台，覆盖从低压 ( 30V-100V ) 、中压 ( 100V-200V ) 到高压 ( 650V-700V ) 的全电压范围，广泛适用于消费电子、数据中心、人形机器人及新能源汽车等终端场景，助力能效提升。

## 低压GaN 200A电机系统方案突破性能极限



英诺赛科最新推出的 INNDMD72V200A1 低压 GaN 电机驱动方案采用 4 颗并联的 InnoGaN INN100EBD018EAD，搭配 INS2040QC

驱动芯片，集高性能、高集成度与高可靠性于一体，充分释放 GaN 器件在低压大电流应用中的潜力，完美适配大功率伺服应用对高性能电机驱动的需求。

英诺赛科基于低压 GaN HEMT 技术推出的低压 GaN 驱动方案 – INNDMD72V200A1，验证了 GaN 在多管并联结构下的损耗与热表现，搭载 FOC 无感算法，支持实时电机测试，为方案落地提供了充分的数据支撑。

方案不仅展示了 GaN 技术在低压大功率电机驱动中的卓越性能，更提供了从器件选型、电路设计到算法控制的完整解决方案。InnoGaN 将助力新一代电机驱动系统实现更高效率、更小体积、更强带载能力。

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

## 数据中心半导体使用的节电基板



650V 的高击穿电压。

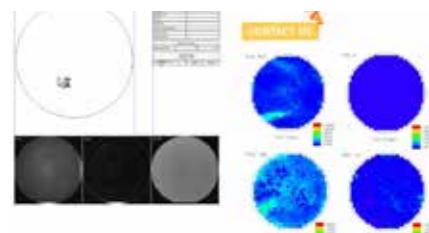
资料显示，QST 衬底是由美国公司 Qromis 开发的专用于 GaN 生长的复合材料衬底。信越化学于 2019 年获得 Qromis 的授权，并开始生产直径为 150mm 和 200mm 的 QST 衬底，以及各种尺寸的 GaN/QST 外延衬底。2024 年 9 月，信越化学开始与 Qromis 合作，交付 300mm QST 衬底样品。

信越化学与 Qromis 两家公司一直为

imec 先进的 300mm CMOS 晶圆厂提供 300mm QST 衬底。imec 已开始使用这些 300mm QST 衬底开发 GaN 功率器件。在实验中，使用 Aixtron 的 Hyperion MOCVD 系统在 300mm QST 衬底上制备了  $5\mu\text{m}$  厚的 GaN HEMT 结构。对该样品的评估显示，其击穿电压超过 800V。这表明，即使在 QST 衬底上生长大直径 GaN 晶体，GaN 晶体的生长依然稳定，而 QST 衬底的热膨胀系数与 GaN 相匹配。

[www.shinetsu.co.jp](http://www.shinetsu.co.jp)

## 超低阻碳化硅衬底2.0版登场



了更具颠覆性的革新：层错密度暴降至 0.05%！我们实现了缺陷的极致控制，这为您带来的，是芯片性能与可靠性质的飞跃。

更高良率与可靠性：极低的缺陷密度，为量产的一致性和产品的长久寿命提供了坚实保障。更低系统损耗：超低电阻率与超低缺陷的结合，带来前所未有的能源转换效率。更高功率密度：卓越的衬底性能，赋能您的器件设计，实现更小巧、更强大的终端产品。从 1.0

到 2.0，是参数的提升，更是价值承诺的深化。拒绝将就，选择持续领先。江苏超芯星，与您携手，赢在下一个起点！立即联系我们，了解超低阻碳化硅衬底 2.0 版如何为您的下一代功率器件带来革命性改变。

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



WeEn  
WeEn Semiconductors

[www.ween-semi.com](http://www.ween-semi.com)

## 瑞能SiC顶部散热产品

瑞能顶部散热封装包括 TOLT & TSPAK 应用于 SiC 二极管和 SiC MOSFET 产品中 产品电压等级覆盖 650V, 750V, 1200V



面向车载应用、光伏储能设备、高功率密度电源产品等市场设计开发 提供更灵活的系统散热方案，可实现更低的系统热阻 SiC 二极管和 MOSFET 采用同封装，可共用散热面 丰富的产品列表，包含工规和车规产品 可降低选型规格，优化系统成本 可以实现更低的 EMI 辐射 更低的回路电感

# 全新 DualPack 3 IGBT 7 电源模块 提供高功率密度并简化系统集成

该系列包括六款产品，适用于高增长电机驱动、数据中心及可持续发展应用



随着市场对紧凑型、高效且可靠的电源解决方案的需求持续增长，对可提供更高功率密度并简化系统设计的电源管理器件的需求也随之增加。Microchip Technology Inc.（微芯科技公司）宣布推出全新 DualPack 3 (DP3) 系列电源模块。该系列模块采用先进 IGBT7 技术，提供 1200V 和 1700V 两种电压等级的六款产品，额定电流范围 300 - 900A，旨在满足市场对紧凑、经济高效且简化的电源转换器解决方案的日益增长需求。

该系列模块采用最新的 IGBT7 技术，与 IGBT4 器件相比，可降低高达 15 - 20% 的功率损耗；在过载时，可在不超过 175°C 的高温下可靠运行。DP3 模块在高压开关过程中提供增强的保护和控制，适用于工业驱动、可再生能源、牵引、储能及农用车等领域，可最大化功率密度、可靠性及易用性。

据了解，行业标准 DualPack3 (DP3) 相腿模块采用 IGBT7 技术，电流额定值为 300A、600A 和 900A，电压选项为 1200V 和 1700V。DP3 封装为高压应用提供了最佳的爬电距离，在紧凑坚固的封装中集成了温度传感器和压配合端子。通过将 IGBT7 技术与 DualPack3 封装相结合，这些模块提供了更高的功率密度、更强的耐用性、更少的物料清单和简化的组装。DP3 电源模块采用半桥拓扑结构，紧凑封装尺寸约为 152 mm × 62 mm × 20 mm，可实现框架尺寸的升级，从而提高输出功率。这种先进电源封装技术无需并联多个模块，有助于降低系统复杂度与物料清单

(BOM) 成本。此外，DP3 模块还为行业标准 EconoDUAL™ 封装提供了第二供应商选项，为客户提供更高的灵活性与供应链保障。

Microchip 负责高可靠性与射频业务的企业副总裁 Leon Gross 表示：“我们全新推出的采用 IGBT7 技术的 DualPack 3 模块，在保持高性能的同时，能够降低设计复杂度并减少系统成本。为进一步简化设计流程，我们的电源模块可作为全面系统解决方案的一部分，与 Microchip 的单片机、微处理器、安全、连接及其他组件集成，从而加快产品的开发与上市时间。”



DualPack 3 电源模块高度适配通用电机驱动应用，能够应对 dv/dt、驱动复杂性、更高导通损耗及缺乏过载能力等常见挑战。

Microchip 提供广泛的电源管理解决方案组合，涵盖模拟器件、硅(Si)与碳化硅(SiC)功率技术、dsPIC® 数字信号控制器(DSC)以及标准、定制及专用电源模块。

[www.microchip.com](http://www.microchip.com)

# 先进的 800V AI 数据中心电源供电 架构，实现更高效率与易用性

- 英飞凌热插拔技术助力未来服务器主板实现 800V 直流电源架构
- 英飞凌率先将碳化硅、氮化镓与硅技术相结合，为未来 AI 数据中心实现卓越能效保驾护航
- 可靠性、完善的保护机制和低功耗是降低 AI 数据中心运营商总体拥有成本并减少其碳足迹的核心要素



英飞凌科技股份公司宣布为 NVIDIA 在 2025 年台北国际电脑展(Computex 2025)上发布的针对人工智能(AI)基础设施推出的 800V 直流(VDC)电源架构提供支持。随着 AI 的飞速增长，现有的 54V 数据中心电源基础设施已逐渐难以满足需求。集中式 800V 直流架构将能降低功耗、提升效率并增强可靠性。但这种新架构需要新的功率转换解决方案与安全机制，以防范潜在风险并避免因服务或维护等原因导致的高昂的服务器停机成本。

## 英飞凌 800V 热插拔控制技术

英飞凌科技电源与传感系统事业部总裁 Adam White 表示：“没有电，AI 就无从谈起。因此，我们正与 NVIDIA 就智能供电系统合作，以满足未来 AI 数据中心的用电需求，同时提供便于维护的架构，将系统停机时间降到最低。通过推动向高密度、可靠和安全的 800V 电源数据中心转型，我们正在变革 AI 服务器机架的供电方式。我们的愿景是充分挖掘每一瓦电力的潜能，最终构建更高效、更可持续的 AI 生态”

AI 数据中心运营商正对人工智能高性能计算领域进行大规模投资，像“Stargate”这样的项目，其资本支出(CAPEX)高达数十亿美元。为了确保获得强劲的投资回报，尽可能延长 AI 服务器机架的正常运行时间是至关重要的。而这要求服务架构具备模块化和可扩展性。

[www.infineon.cn](http://www.infineon.cn)

# AI服务器“功耗危机”催生高压化变革，罗姆开拓功率半导体新蓝海

“到2030年，全球数据中心的电力消耗可能占据全球总用电量的八分之一。”罗姆半导体（上海）有限公司深圳分公司技术中心总经理水原德健在2025罗姆深圳媒体交流会上说。英伟达GPU功耗的演进路线是：从2023年的700瓦，到2025年的1.4千瓦，再到2027年预计的3.6千瓦，几乎是每年翻倍的增长速度。

作者：Bodo's 功率系统杂志编辑部

## 1-1. AI的普及导致耗电量激增，电力保障成为重要课题



## 电力危机正在逼近

AI技术正以前所未有的速度重塑世界，但背后的能源代价正在引发行业担忧。水原德健指出，AI搜索消耗的电力是传统搜索引擎的10倍。这种能源消耗的指数级增长正在给全球电力系统带来前所未有的压力。

根据水原德健分享的数据，到2030年，数据中心将消耗全球电力的1/10。这一数字背后是AI服务器数量和处理需求的爆炸性增长。

与传统通用服务器相比，AI服务器的能耗增长速度更加惊人。水原德健表示，通用服务器能耗虽然也在增长，但AI服务器却呈现倍数级增长，尤其是在2024年至2025年这个发展初期阶段。

## 高压化成为必然选择

面对AI服务器功耗激增的问题，行业正在寻找解决方案。水原德健详细介绍了当前AI服务器供电系统的困境。现有的低电压系统（48伏至54伏）在处理高功耗GPU时面临严峻挑战。

高电流导致电缆损耗和发热问题，更令人震惊的是，一台1兆瓦的AI服务器竟然需要使用4到5吨的铜线。这不仅增加了成本，还导致数据中心重量和空间需求的增加。最大的问题在于运营成本——在服务器全生命周期中，电力消耗占总成本的60%到65%。

为了应对这些挑战，行业正在向高压化方向发展。水原德健介绍了两个主要方向：由微软、谷歌和Meta联盟推动的正负400伏系统，以及英伟达主导的800伏系统。这两种系统各有优势，800伏系统能提高5%的端到端效率，同时显著降低铜材使用和热损耗。

## 中国市场的新路径

在国际市场积极拥抱800伏系统的同时，中国正在探索自己的技术路径。在最近举行的CDCC（中国数据中心标准）大会上，行业专家对中国市场的高压化路径进行了深入探讨。

## 1-3. 引入+800V/±400VDC，升级AI服务器系统

- 大型科技企业相继宣布引入+800V/±400VDC，引领下一代服务器走向
- 服务器相关企业也在发力相关技术和产品的研发，目标是在2026年推出适配产品

### OPEN Compute Project (开放计算项目) ±400V DC

旨在应对数据中心和IT基础设施等计算基础设施日益增长的需求并为其提供支持的合作组织。由微软、Meta、谷歌等企业联合制定了下一代AI服务器的直流水源架构。Diablo 400项目：机架与电源

Parameter	Nominal at no load	Nominal at full load	Min/Max
+400 to COM	410Vdc	400Vdc	±0.5%
-400 to COM	-410Vdc	-400Vdc	±0.5%
Ripple and noise			±1% or ±2% pk_pk (maybe)
V_droop dc			built in the Nominal setpoint (10V ±0.5V)
Output voltage transient overshoot/undershoot			±3% from typical set point

### 英伟达 800VDC

来源：英伟达官网

电力单元采用800VDC的主要好处表现在以下5个方面：“Scalability (可扩展性)” “Efficiency (效率)” “Copper Reduction (减少铜用量)” “Reliability (可靠性)” “Future-Proofing (未来适用性)”

#### 800 VDC的主要优势：

可扩展性：使用相同数据中心电力基础设施，支持从100kW到1MW以上的机架部署，可实现无缝扩容。  
效率：与目前48V系统相比，能效提升高达15%，能效利用率改善。  
减少铜量：与传统的415VAC或480VDC相比，800VDC架构可显著降低数据中心每千瓦的铜的消耗，铜材用量及热耗能。  
可靠性：传统的DC架构电源依赖过热检测来降低热机风险，但这会导致需要频繁维护和更换故障模块。虽然新的DC架构可提升系统可靠性，但VDC系统在故障检测方面可能仍需要改进。  
IT机架的电源空间限制会带来散热问题，从而需要在成本和长期可靠性之间做出权衡，而将功率转换模块移出机架可有效降低这些风险。  
未来适用性：为满足1MW机架需求而设计，可满足数据中心未来发展需求高效扩展至更高功率的机架。

首先需要开发更高效率和功率密度的功率半导体器件，其次是推动高压技术创新，这需要GPU厂商、AI服务器制造商和半导体公司的紧密协作。

最后是建立全球化的质量、成本、交付和服务体系，确保产品的大规模量产和稳定供应。

“高压技术不是任何单一企业能够独立完成的。”水原德健强调，这需要整个产业链的紧密合作和协同创新。

罗姆半导体作为同时拥有功率器件和模拟技术的综合厂家，正在积极应对这些挑战。

## 罗姆的全方位解决方案

面对AI服务器市场的新需求，罗姆展示了其全面的产品布局和技术优势。罗姆同时掌握硅、碳化硅和氮化镓三种功率半导体材料技术。

根据水原德健的介绍，罗姆在AI服务器供电系统中有清晰的产品布局。在电源侧，针对高压高效需求，罗姆主要提供碳化硅产品；在服务器侧的DC/DC转换中，一次侧可提供碳化硅和氮化镓解决方案，二次侧则提供各种硅基产品。

## 2-1. 罗姆的优势与服务器市场战略

- 全球屈指可数的同时拥有SiC/GaN元器件及驱动控制模拟技术的日本半导体制造商
- 与全球头部企业建立合作伙伴关系，并及时推出与服务器通用产品路线图同步的新产品

## Power Eco Family



中美两国在电力资源和AI发展规模上的差异决定了技术选择可能不同。美国由于AI市场规模是中国两倍而发电量仅为一半，因此迫切需要采用800伏系统。中国则存在直接从54伏过渡到400伏，最终可能升级至1500伏的可能性。

无论最终选择哪条路径，高压化已成为AI服务器发展的必然趋势，这一点在业内已达成共识。

## 半导体行业的新挑战

AI服务器的高压化趋势给半导体行业带来了全新挑战。水原德健明确指出，这需要半导体厂商在三个关键领域做出努力。

## 3-1. 适用800VDC 20~30kW级电源单元的解决方案简介

针对理想的功率转换拓扑，提供充分发挥SiC/GaN/Si各自特点的功率解决方案

- 高效率 各电源模块效率达99%以上\*（仅计算功率元器件损耗） \*行业标准值为系统效率97%以上
- 高功率密度 现行PSU标准为100W/in<sup>2</sup>，而采用GaN产品的服务器机架电源可达到246W/in<sup>2</sup>



区域	电源	高效率				高功率密度	
		功能	AC/DC	DC/DC	拓扑	元器件	DC/DC
解决方案1	TPPF/C/ Vienna	全部为SiC	三相LLC	全部为SiC	全桥LLC	Prim=SiC / SR=Si	
解决方案2	TPPF/C/ Vienna	全部为SiC	三相LLC	全部为SiC	级联三相LLC	Prim=GaN / SR=Si	

为了实现更高功率密度，罗姆正在推进氮化镓技术的应用。通过将开关频率从100千赫兹提高到500千赫兹，不仅能减小元器件尺寸，还能使外围电感和电容同步缩小，从而使功率密度从 $129\text{W/in}^3$ 提升至 $246\text{W/in}^3$ 。

罗姆半导体的技术路线图显示了其在碳化硅领域的持续创新。第5代碳化硅产品的损耗将比第4代降低30%，产品的导通损耗、导通电阻越来越低。第5代样品已开始出货，明年将投入批量生产。这一数据反映了技术进步的实质成果。未来，从第5代到第6代碳化硅芯片，罗姆将开发周期从4年缩短至2年，以跟上AI服务器市场的快速发展节奏。

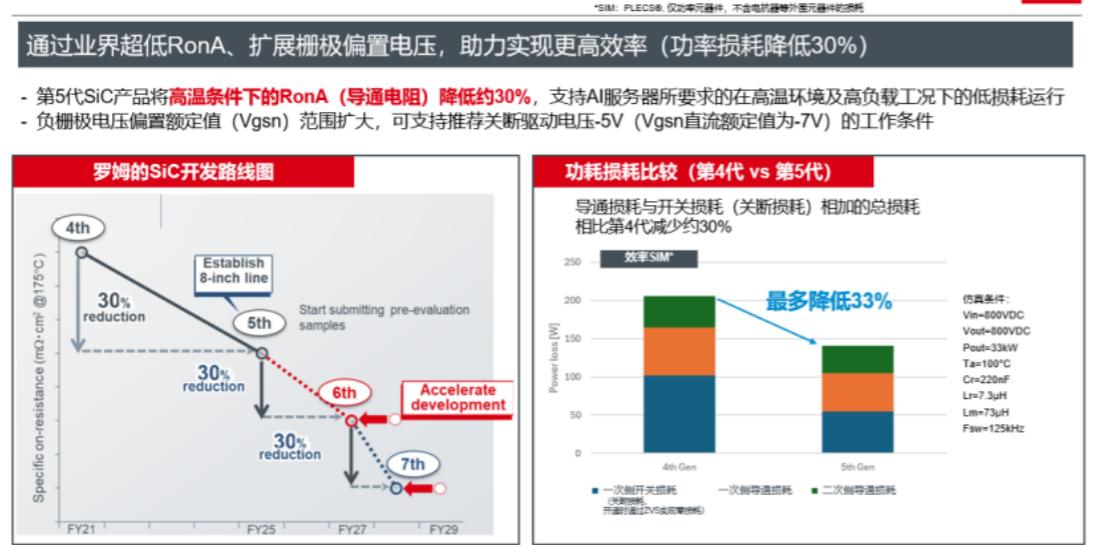
在封装技术方面，罗姆推出了多种创新解决方案，包括将两个TO-247封装合而为一的DOT-247封装，以及小型化模块HSDIP20。这些创新不仅提高了产品性能，还帮助客户简化设计流程。

为解决第二供应商问题，罗姆与英飞凌建立了SiC功率器件封装合作机制。水原德健解释说：“罗姆的原创产品DOT-247封装技术已与英飞凌共享，同时罗姆也获得了英飞凌D-DPAK系列产品生产授权。”

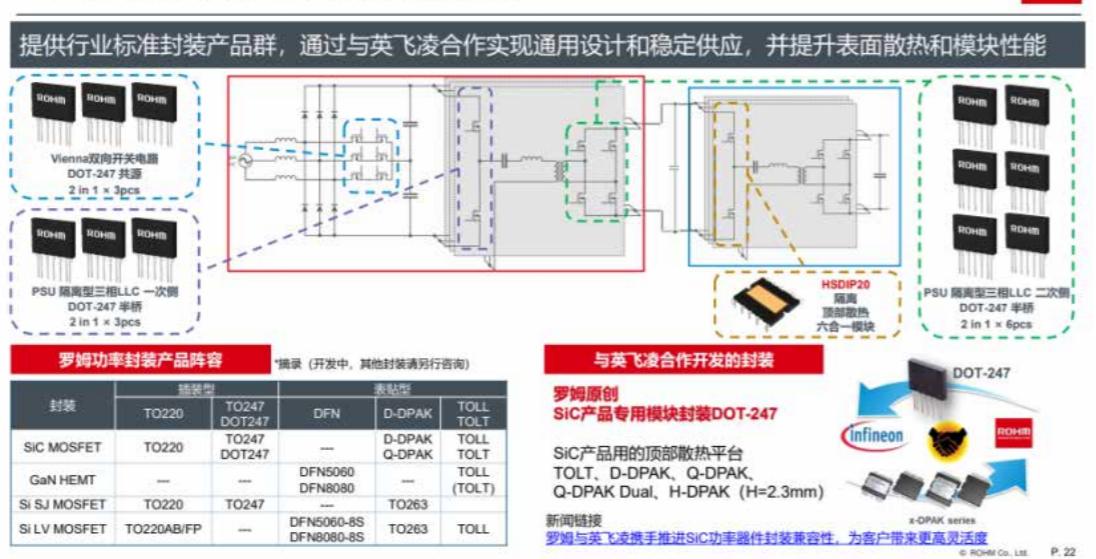
水原德健认为，AI服务器需要持续运行，热插拔技术因此变得至关重要。水原德健指出，热插拔过程中产生的浪涌电流可能损坏设备，这就需要专门设计的MOSFET来提供保护。罗姆针对这一需求开发了特殊产品，具有更宽的安全工作区和更低的导通电阻，能够有效应对热插拔过程中的挑战。

“罗姆的100V功率MOSFET‘RY7P250BM’适用于AI服务器48V电源热插拔电路，目前已被全球知名主流云平台企业列为推荐产品。”水原德健透露，这表明罗姆的技术方案已获得市

### 3-3. 采用第5代SiC产品实现更高效率



### 3-4. 行业标准封装及小型封装产品群部署



场认可。除了功率器件，罗姆还在开发热插拔控制IC，进一步完善其解决方案。

#### “技术矩阵”与“生态联盟”双轮驱动

水原德健最后强调，罗姆半导体的核心优势在于其独特的综合技术实力与开放的产业协作生态。公司不仅是全球少数能同时提供硅、碳化硅、氮化镓及LSI技术的综合性半导体供应商，更与台达、英飞凌等全球头部企业构建了深度的战略合作网络。

面对AI服务器市场的巨大需求与挑战，罗姆致力于通过其先进的功率元器件与模拟技术，为提升服务器能效、实现高压化与高功率密度提供关键解决方案。这不仅旨在为推动AI基础设施的可持续发展贡献力量，也必将成为罗姆未来业绩增长的强劲引擎。

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

# 聚焦新能源“心脏”搏动，共绘电能变换产业新图景

——直击2025中国电源学会新能源电能变换技术论坛

作者：Bodo's 功率系统杂志编辑部

2025年12月6日，江南水乡浙江嘉善，寒意初显，却难掩一场技术盛会的灼热思潮。由中国电源学会新能源电能变换技术专委会主办、赛晶亚太半导体科技（浙江）有限公司承办的“2025中国电源学会新能源电能变换技术论坛”在此盛大启幕。近百位来自产学研各界的专家、企业家与技术精英汇聚一堂，将目光共同投向新能源产业的“心脏”部件——电能变换系统及其核心驱动力功率半导体，试图在思想的碰撞与技术的前瞻中，勾勒产业高质量发展的清晰路径。

本次论坛以“搭建产学研用平台，推动电能变换技术创新”为核心宗旨，议程紧密围绕功率半导体、AI数据中心供电、风电、制氢、储能等当下最炙手可热的新能源核心领域展开。这不仅是一场技术的巡礼，更是一次产业生态的深度对话与协同共识的凝聚。



#### 共期协同创新，赋能绿色转型

论坛在行业的高度期待中拉开帷幕。开幕式上，三位重量级嘉宾的致辞，为整场活动定下了高远而务实的基调。

中国电源学会副理事长、IEEE Fellow、台达电子章进法博士指出，在全球能源结构向绿色低碳加速转型的大背景下，电能变换技术已成为连接清洁能源生产与高效应用的关键桥梁与核心使能技术。他强调，面对复杂多变的技术挑战与市场机遇，唯有产学研各界破除壁垒、携手探索、深化协同创新，才能构建健康、可持续的行业生态。



中国电源学会新能源电能变换技术专委会主任委员张兴教授进一步阐明了论坛的平台价值。他表示，中国新能源产业的澎湃发展为技术创新提供了前所未有的广阔舞台，也带来了诸多待解之题。专委会的使命正是搭建高效、专业的交流平台，汇聚行业智慧，促进跨界融合。



作为东道主，赛晶科技集团董事长项颉回顾了赛晶深耕功率半导体领域的历程。他表示，承办此次论坛，是赛晶以推动行业进步为己任的自觉行动，旨在搭建一座坚实的产业交流桥梁。他期待与各界同仁在论坛期间及未来深化合作、凝聚共识，并衷心祝愿论坛成果丰硕，与会者满载而归，共同为新能源电能变换产业的高质量发展注入强劲动能。

## 多维透视，把脉前沿趋势与实战挑战



随后的主题报告环节，五位来自不同细分领域的顶尖专家，从技术、产业、应用等多维度，进行了深度分享。

电子科技大学张波教授以《功率半导体技术与产业发展趋势》为题，从技术迭代规律与全球产业格局演变双重视角切入，系统剖析了功率半导体在新能源领域的核心赋能价值。台达电子章进法博士（IEEE Fellow）在《AI数据中心供电方案的趋势与挑战》报告中，结合行业实践指出了供电技术创新路径与应用痛点。运达能源科技集团副总工许国东带来了《风电机组与场站电气领域技术发展和挑战》的分享，立足风电产业发展现状，展望电气系统技术升级方向。阳光氢能科技有限公司研发总经理孙龙林聚焦《可再生能源电解水制氢技术发展现状及未来趋势分析》，详细介绍了氢能产业与可再生能源协同发展的关键路径。新风光电子科技股份有限公司副总工方汉学与总监石广保联袂，详细介绍了《新一代高安全、高效率高压级联储能系统解决方案》的优势。



## 从理论到实践，窥见功率半导体产业化的“芯”路径

作为本次论坛的承办方，赛晶半导体不仅搭建了思想交流的舞台，更主动敞开大门，将自身的研发与生产实践作为鲜活案例，供行业检视与探讨。这一“走进企业”环节成为论坛知行合一理念的生动注脚。



与会嘉宾集体前往赛晶半导体嘉善生产基地进行实地参观。从洁净度要求极高的晶圆前道工艺区域，到精密复杂的模块封装测试线，嘉宾们近距离观察了功率半导体器件从设计蓝图转化为实体产品的全流程。生产线上的高度自动化设备、严格的质量控制点以及训练有素的技术人员，让抽象的“产业化”一词变得具体可感。参观过程中，嘉宾们与赛晶技术人员就特定模块的性能参数、应用场景及客户定制化需求进行了深入的互动交流。



在座谈环节，张兴教授指出，赛晶能在众多半导体厂商中脱颖而出，其经验值得探讨。赛晶半导体总经理张强将此归结为四大关键举措：一是敏锐的市场与技术趋势洞察，确保研发方向与行业未来同频；二是深度的客户需求沟通，将痛点转化为产品优化与服务的动力；三是快速的产品迭代能力，依托扎实技术积累敏捷响应市场变化；四是高效的响应与优质服务，构建全周期客户支持体系。他表示，这四大理念将持续指导赛晶的未来发展。

座谈讨论还触及了具体的工艺细节。关于键合线技术从铝线、铝包铜到铜线的演进路径，引发了热烈讨论。赛晶技术团队表示，这一演进本质上是围绕提升载流能力、优化热性能、增强可靠性以适配更高功率密度和更严苛应用场景的持续努力。他们进一步阐明，键合线工艺的选择并非孤立，而是与芯片工艺协同进化。例如，碳

化硅芯片表面的金属化处理（如镀铜）就是为了更好地与新一代互连工艺相匹配，满足高频、高温应用需求。

在技术分享环节，赛晶半导体技术专家 Sven 博士以《IGBT 功率模块芯片、封装技术发展及可靠性实现》为题，带来了一场兼具技术深度与实践价值的专业分享。他以实际模块的可靠性运行数据为引，清晰展示了从 i20 到 i23 芯片的技术升级路线及其在可靠性上的具体设计与实现。他对 ED 封装 IGBT 模块的关键可靠性指标（如功率循环、温度循环、机械强度等）及其保证措施进行了详细解读。最后，Sven 博士透露了赛晶的未来规划：深化与三安等伙伴的合作，强化碳化硅（SiC）MOSFET 等宽禁带半导体产品线；同时持续推进 XP 型、FP 型等先进封装技术的开发，目标覆盖 650V 至 1700V 电压范围，精准服务光伏、储能、新能源汽车等快速增长的市场。这份蓝图，清晰展现了赛晶持续加码核心技术、拓宽产业赛道的责任担当。



## 协同、落地与创新是永恒主题

2025 新能源电能变换技术论坛虽已落幕，但其激荡的思考与展示的路径，为行业留下了深长余韵。

首先，强化“产学研用”协同创新生态已成为行业共识。论坛本身就是一个成功的协同范例，学会、高校、研究机构、产业链各环节企业共聚一堂，从基础研究、技术开发到产品应用、市场反馈，形成了信息的闭环流动与思想的交叉滋养。

其次，技术必须扎根于产业化实践才能焕发生命力。赛晶半导体通过工厂开放、技术揭秘、规划分享，直观地演示了功率半导体技术如何从论文和实验室，走向生产线和终端应用。这种“可见可感”的产业化路径增强了行业对自主技术突破的信心，也提醒着所有创新者关注制造工艺、可靠性工程、成本控制等产业化关键环节。

最后，创新是应对万变的不变法则。论坛覆盖的五大议题，无一不是当前新能源领域的创新焦点。从材料（SiC/GaN）到器件（IGBT 模块），从系统架构（AI 供电、高压级联储能）到应用模式（绿

电制氢），创新贯穿始终。而创新的方向，正紧密围绕着提升效率、保障安全、增强可靠性、降低成本这四大产业永恒追求展开。



作为本次论坛的承办者与行业的重要参与者，赛晶半导体以其“开放分享”与“深耕实干”的双重姿态，赢得了关注与尊重。它不仅展示了中国功率半导体企业在中高端领域的技术积累与产业化能力，更表达了愿与产业链携手共进、推动新能源基础技术自主可控的强烈意愿。

可以预见，在“双碳”目标的宏伟蓝图下，新能源电能变换技术的故事还将不断书写新的篇章。而如本次论坛般的思想碰撞、如赛晶般的产业实践，正是推动这个故事走向高潮的不可或缺的力量。未来，期待更多的协同、更实的落地与更新的突破，共同赋能能源革命，驱动绿色未来。

<https://www.sunking-tech.com/>

# 破局固态断路器应用： 为何 SiC JFET 成为行业优选方案

断路器是一种用于保护电路免受过电流、过载及短路损坏的器件。机电式断路器(EMB)作为业界公认的标准器件，包含两个独立触发装置：一个是双金属片，响应速度较慢，由过电流触发跳闸；另一个则是电磁装置，响应速度较快，由短路触发启动。EMB 拥有设定好的跳闸电流（通常为固定值），具备瞬时跳闸（电磁触发）和延时跳闸（热触发/双金属片触发）两种特性，可稳妥可靠地应对短路与过载情况。

作者：Michal Csiba，安森美(onsemi)技术市场分析师

尽管 EMB 结构简单、效果可靠，但依然存在一些缺点。其一便是速度问题，EMB 的动作时间处于毫秒级，在此期间故障电流仍可能造成设备损坏，甚至对人员造成伤害。其二则是电弧问题，当触点分离时会产生电弧，必须安全消散电弧能量，而这一过程会给断路器带来热应力与机械应力。

用半导体开关替代机械触点可彻底消除电弧，因为电流切断是在物理触点分离前通过电子方式完成的。半导体开关能在微秒级时间内关断，大幅降低短路峰值电流。此外，与机械部件不同，半导体开关专为高频操作设计，且不会随着时间推移而老化。这类采用半导体开关的器件被称为固态断路器(SSCB)，通常用于保护直流电路与交流电路。

## 了解固态断路器

SSCB 的优势显而易见：半导体开关的切换速度更快、可靠性更高，耐用性更强（无磨损损耗），且具备更精准的控制能力。在发生故障时，更快的断开速度更具优势，而半导体开关的速度是机械开关的一千倍以上。此外，由于本身就需配备控制电子元件，这类断路器还可集成其他新功能，例如电流与电压监控、电流限值调整，以及残余电流装置等其他安全附加功能。

SSCB 的核心是半导体开关，它取代了传统的机电式继电器。SSCB 的工作原理是：监测电路的电流与温度，然后将监测数据传输至微控制器单元(MCU)；MCU 持续监控电流与温度，以检测故障，并在微秒级时间内触发保护性关断。发生跳闸时，MCU 会向栅极驱动器发送指令，令开关“关断”。所有这些过程加起来，耗时远少于 EMB。

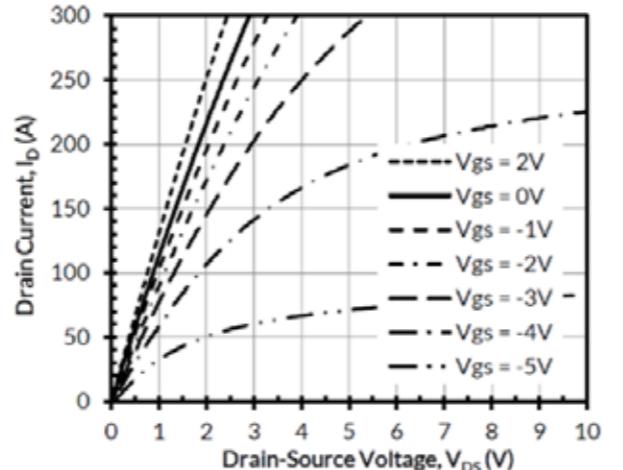


图 1：固态断路器框图

为保障安全，可增设一个可选的机械继电器，在半导体开关关断后实现物理隔离。此举能消除电弧，且继电器仅需处理微弱的漏电流。由于继电器在半导体开关之后动作，工作过程中不会产生电弧，因此无需具备耐受短路电流的额定能力。继电器可切断半导体器件产生的漏电流，通常为数百微安( $\mu\text{A}$ )。此外，与机械断路器不同，SSCB 同时连接相线与中性线，而继电器能实现设备的完全断电。

## 半导体开关分类

用半导体开关替代机械开关的想法早已存在，但长期以来，半导体技术的发展水平一直是制约这一构想落地的关键因素。如今，

随着宽带隙技术的不断进步，适用于低压住宅与商业电网的固态器件已开始逐步涌现。

阻碍 SSCB 大规模市场化应用的因素之一是导通电阻。尽管现代半导体开关（尤其是 MOSFET）的导通电阻已处于较低值，但仍远高于机械触点的导通电阻。

过去几年间，碳化硅(SiC)结型场效应晶体管(JFET)已为推动 SSCB 发展的主流技术。这种器件既充分利用了碳化硅材料的特性，如高导热性、更高电压等级与更低损耗，又融合了 JFET 结构的优势。在当前市场中，JFET 的单位面积导通电阻( $R_{DS(ON)}$ )最低，而且与 MOSFET 一样采用电压控制方式。原因是这种器件采用了结型栅极结构（与 MOSFET 的氧化层栅极不同），能提供直接的漏源极电流通路，电荷俘获效应极小，表面漏电流也可忽略不计。

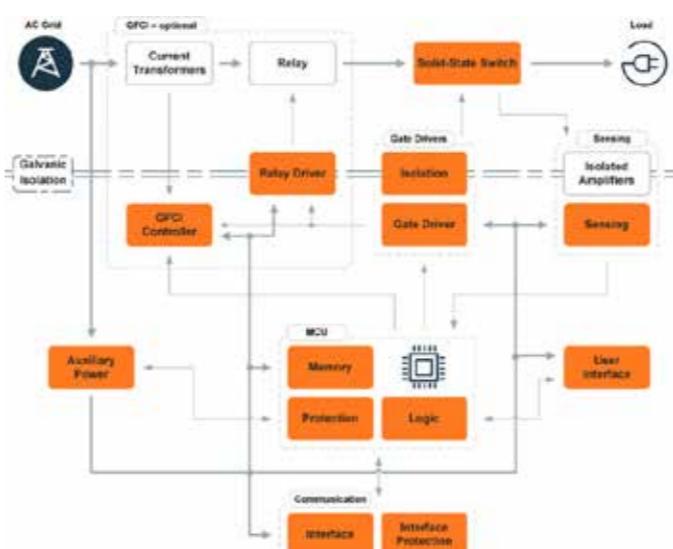


图 2：JFET 结构

但低导通电阻的不足之处在于，JFET 具有常开特性，倘若栅极悬空或无栅极电压，器件将处于完全导通状态。这种特性在大多数应用场景与控制方案中通常是不利因素，因为故障发生时，器件的理想状态应为关断状态。

将 JFET 与常开型 Si MOSFET 串联，可制成常关型器件。其中，Si MOSFET 起到 SiC JFET 使能开关的作用，同时保留 JFET 结构的优势。这种结构被称为共源共栅结构，用途广泛，可适用于多种应用场景。共源共栅型 JFET(CJFET)具备灵活的栅极驱动能力和低开关损耗，但仅能控制低压 Si MOSFET 的栅极，而且开关速度过快，不适用于 SSCB。

另一种可用的结构是组合型 JFET，同样在单个封装内集成了

低压 MOSFET 与 JFET。不同之处在于，组合型 JFET 允许分别控制 MOSFET 与 JFET 的栅极，从而能更灵活地调控开关的电压变化率( $dV/dt$ )。通过对 JFET 栅极施加过驱动电压，这种结构还能进一步降低  $R_{DS(ON)}$ 。尽管栅极电压为 0 V 时 JFET 已处于导通状态，但施加正向栅极电压可增强沟道导电性，进而降低  $R_{DS(ON)}$ 。具体可参考图 3。

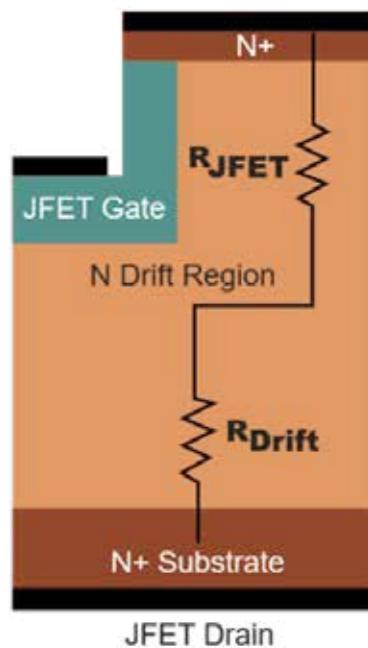


图 3：组合型 JFET 输出特性

如前所述，功耗仍是阻碍 SSCB 进一步推广的最大限制因素。若要将 SSCB 用于住宅场景，就必须与当前使用的设备保持向后兼容，而现有设备中留给散热的空间十分有限。机械断路器的电流通路电阻极低，因此损耗也非常小。SSCB 的功耗来源不仅包括 FET 的导通电阻，还包括控制电子元件的功耗；这类功耗大致保持恒定，且不受负载影响。

由于 JFET 仅能阻断从源极到漏极方向的电压，因此当用于交流阻断时，需采用背对背结构。这项要求会使电路设计进一步复杂化，因为它会使沟道电阻实际增加一倍。因此，为降低总  $R_{DS(ON)}$ ，通常会采用并联结构。由此也进一步凸显了组合型 JFET 作为优选开关的优势，因为组合型 JFET 不仅支持并联运行，而且能简化并联操作。

当 SSCB 发生故障时，电流会开始上升并通过半导体流向负载，直至器件关断。在关断过程中，电压会急剧升高，此时过电压会触发电压钳位电路，保护 MOSFET 免受雪崩击穿影响。故障电流会继续通过钳位电路流向负载，直至完全关断。电路中（包括导线和感性负载）存储的电感能量会在钳位电路中释放。检测速度越

快，电流上升幅度越小，所需释放的能量就越少，相应地，钳位电路的体积也可做得更小。

在电压钳位应用中，最常用的两种器件是金属氧化物压敏电阻(MOV)和瞬态电压抑制二极管(TVS)。MOV具有双向导通特性，成本更低且功率密度更高，但使用寿命通常较短，同时因其两电极间存在电容，电压调节性能也较差。

另一方面，TVS既有单向型也有双向型，电容值更低，但对安装空间要求更高，且大电流型号的成本也更高。

## 结语

SSCB在传统断路器的基础上实现了功能升级，但成本也随之增加。SSCB不仅能提供电路保护，还可保障人员安全、支持远程监控，并能远程进行配置。由于固态断路器的动作重复性远高于传统断路器，因此更适用于跳闸频率要求较高的场景。

安森美提供的SiC JFET与SiC组合型JFET，均具备极低的RDS(ON)。尽管SSCB已开始逐步进入市场，但尚未实现大规模应用，主要是因为在高电压、大电流场景下，SSCB在功耗方面问题仍存在一系列难题。而SiC JFET和组合型JFET等器件，将有力促进优势显著的固态保护方案的普及与应用。

<https://www.onsemi.cn/>

## Bodo's 功率系统

《Bodo's 功率系统》杂志是一本面向全国及海外的专业科技期刊，全面覆盖嵌入式电源、设计测量、电池、便携式电源、数字电源、设计与模拟、大功率开关、高压变换器、IGBT、热能管理等科技发展与产品应用。

为了满足广大读者的需求，为行业用户提供实用的应用案例，本刊特向业内的广大专家、教授、学者、工程技术人员诚征稿件。感谢您能在百忙之中将您的观点、应用经验与大家分享。

所投稿件内容应有较高学术水平，语言流畅、逻辑关系明确。

投稿作者请提供详细的作者联系信息，如工作单位名称、电话、通讯地址、邮箱等，以方便联系。

投稿信箱 [BPSC@i2i-m.com.cn](mailto:BPSC@i2i-m.com.cn)，  
投稿时，请在邮件主题栏注明“投稿”字样！

# 汽车系统中的输入反向电压保护

现代汽车中到处都有敏感的电子模块，如果车辆电池（通常为12V或24V）极性接反，这些模块就容易受损。受损的风险相当大，因为车主很容易接触到电池，也很容易错误地重装回去，从而导致反向极性电压。为了保护这些昂贵的电子模块，输入反向电压保护(RVP)是一项必要的设计考虑。

作者：Diodes公司系统解决方案应用工程师 Eduard Santa

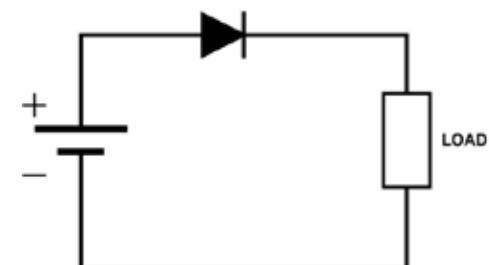


图2：使用二极管实现输入反向电压保护

RVP器件的主要目的是在正常工作条件下允许电流流动（从正电源到负电源），而在电源极性反接时阻断电流流动（图1）。此外，RVP解决方案必须考虑负载电压可能超过供应电压的情况（例如由于电机的反电动势(EMF)导致这种情况），并确定是否允许或阻断反向电流流回电源。本文将探讨实现RVP的常用方法，重点讨论为了兼顾成本和性能而选择MOSFET时的细微优势差别。

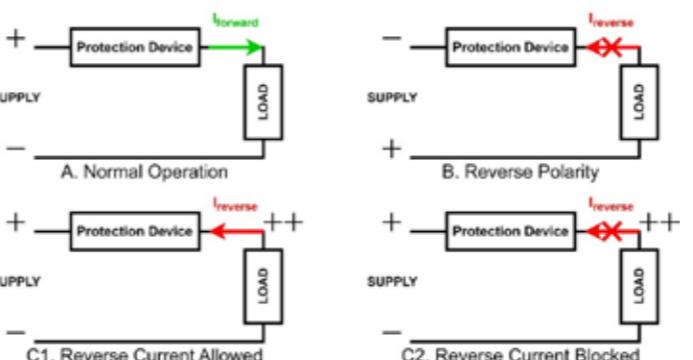


图1：电压极性和电流流动

## 输入反向电压保护的常用方法

如上所述，所有RVP保护器件都必须具有图1中电路A和B所示的特性。实现此特性的RVP有两种最常见的方法：一是使用简易阻断二极管，二是使用具有外部控制的MOSFET。从工程角度看，这两种实现RVP的方法都各有明显的优缺点。

## 阻断二极管方法

最简单的RVP解决方案是用一个阻断二极管与负载串联（图2）。这种配置只允许电流在正向偏置模式下流动，有效阻断所有条件下的反向偏置电流，包括图1电路C2所示的情况。这种解决方案成本最低，尤其适用于小电流应用，所需的PCB尺寸也最小。

该方案的主要缺点是二极管正向偏置时，功率会以热能形式耗散，计算公式为  $P = V_F * I_{Load}$ 。这种功率损耗会大幅降低电路效率，并增加器件和电路板的温度。例如，12V、10A的车载信息娱乐系统，使用肖特基二极管 ( $V_F=0.46V$ )，供电工作时会产生4.6W的功率损耗，效率为96.16%。Diodes公司的SBRT虽然更好 ( $V_F=0.37V$ , 3.7W损耗，效率为96.92%)，但仍会耗散相当大的功率。

虽然肖特基二极管具有低  $V_F$ ，但在高温下会出现较大的反向漏电，容易发生热失控。此外，大电流应用需要更大的二极管和更大面积的散热铜片，这会让原本的尺寸优势不复存在。

## 采用MOSFET的方法

与二极管相比，MOSFET为RVP提供更高效的替代方案，大幅降低功率损耗。当用作理想二极管与负载串联时，MOSFET的功率损耗取决于其固有的导通电阻 ( $R_{DS(ON)}$ ) 和负载电流 ( $P_{Loss} = I_{Load}^2 * R_{DS(ON)}$ )。较低的功率损耗意味着温升降低，并可能减少散热需求。

## 两种采用MOSFET的常见RVP电路：

1. 自偏置P沟道MOSFET电路：这种简易高侧配置使用P

沟道 MOSFET，通常还搭配齐纳二极管，提供栅极保护（图 3）。正常工作时（图 1 电路 A），P 沟道 MOSFET 导通，允许正向电流流动，损耗由 RDS(ON) 决定。

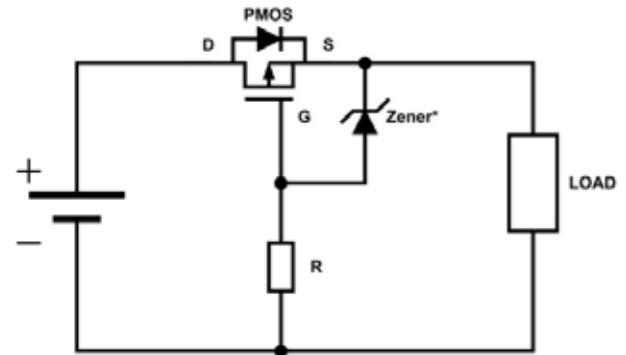


图 3：采用高侧配置的 P 沟道 MOSFET，实现自偏置输入反向电压保护

极性反接时，MOSFET 保持关断，体二极管会阻断电流。如果负载电压超过供电电压，电路就允许反向电流流回电源（图 1 电路 C1）（这种情况是否可取，取决于具体应用）。这种方法的主要优点为：功率损耗低于二极管，电路设计更简单，并可根据不同的负载电流轻松调整尺寸。不过，这种方法的价格比简易二极管高。

2. 采用 N 沟道 MOSFET 电路的理想二极管控制器：理想二极管控制器（例如 Diodes 公司的 AP74700AQ）可主动管理外部 N 沟道 MOSFET，提供高侧 RVP（图 4）。理想二极管使用内部电荷泵驱动 N 沟道 MOSFET 栅极。

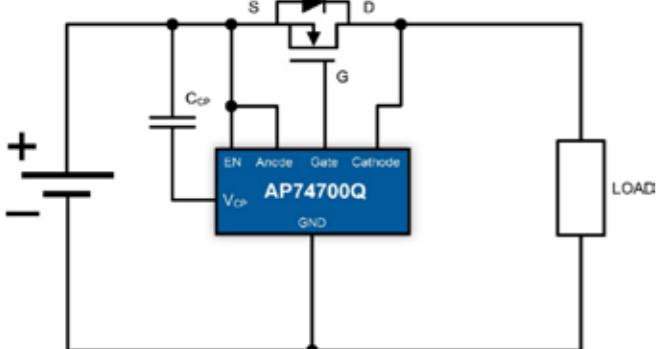


图 4：采用 N 沟道 MOSFET 和理想二极管控制器，实现高侧输入反向电压保护

正常工作时，在小负载电流下，控制器可将 MOSFET 两端的电压差调节至 20mV；或在较大电流下，可使 MOSFET 完全导通，此时电压降受限于 RDS(ON)。至关重要的是，如果检测到反向电压（大于 10mV），控制器会关断 MOSFET，从而在反

极性条件下和负载电压超过供电电压时，阻断反向电流（图 1 电路 B 和 C2）。

就大电流（高功率）应用而言，相比上述另两种方法，此解决方案的功率耗散最小，可调节 MOSFET 强化功能，提供快速 MOSFET 关断，并阻断反向电流（图 1 电路 C2）。不过，假设 N 沟道 MOSFET 处于 20mV 调节区，在这种情况下，功率耗散可能比完全导通且电压降为 10mV 的 P 沟道 MOSFET 更高。

N 沟道 MOSFET 通常比具有同等 RDS(ON) 的 P 沟道 MOSFET 尺寸更小、价格更低，有助于降低设计成本。以 12V、10A 的信息娱乐系统为例，Diodes 公司的 P 沟道 MOSFET DMP4013LFGQ 的功率耗散为 1.3W（效率为 98.92%）。相较于之下，Diodes 公司的 N 沟道 MOSFET DMTH43M8LFGQ 的功率耗散仅为 0.3W（效率为 99.75%），是最高效的解决方案。

在大电流下，理想二极管控制器解决方案的价格比适用于这些电流的二极管低；但在小电流下，价格则比二极管高。该解决方案还会阻断反向电流（C1），这对于需要电流回流到电源的应用来说可能并不理想。此外，由于存在控制器和外部元件，整体解决方案的占用空间会比单独的二极管大。

### 兼顾成本效益与性能的 MOSFET 选择

选择合适的 MOSFET 是优化 RVP 解决方案成本和性能的关键，使用理想二极管控制器时尤为如此（图 5）。

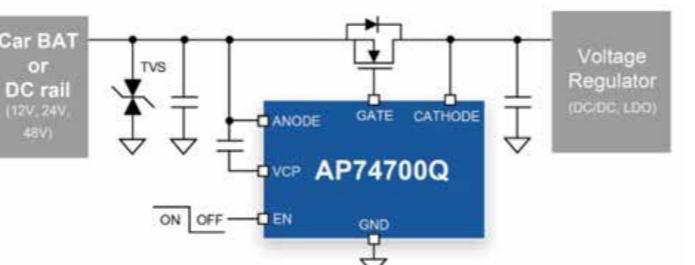


图 5：AP74700AQ 理想二极管控制器的典型电路图

### 电压额定值

MOSFET 的漏源极电压 ( $V_{DS}$ ) 额定值是一个关键初始参数，不仅必须承受正常电池电压，还要承受反极性情况下可能出现的电压倍增（例如，+12V 的满电负载电容和 -12V 的输入电压会导致 MOSFET 两端出现 24V 的压差）。此外，汽车系统必须符合 ISO7637-2 和 ISO16750-2 等标准，这些标准规定了各种脉冲和尖峰，因此需要更高的电压额定值。

针对汽车应用的一般建议是：对于 12V 标称电轨，通常选择 40V MOSFET；对于 24V 系统，选择 60V MOSFET；对于

48V 系统，选择 80V 或 100V MOSFET。AP74700AQ 理想二极管控制器额定电压为 65V（最大值），可承受 -65V 的电轨电压，这意味着即使对于 12V 标称电轨，也可以选择 60V MOSFET 以提高稳健性。

### 电流处理和 $R_{DS(ON)}$ ：权衡成本和性能

下一个关键参数是 MOSFET 的  $R_{DS(ON)}$ ，这与负载电流支持能力和功率耗散直接相关。

理解工作模式：AP74700AQ 理想二极管控制器有两种 N 沟道 MOSFET 工作模式：

1. 调节模式：在小负载电流下，控制器主动将 MOSFET 上的电压降维持在最低 20mV。

2.  $R_{DS(ON)}$  限制模式：在较大电流下，MOSFET 上的电压降由其固有的  $R_{DS(ON)}$  决定，相当于有效电阻 ( $V = I_{Load} * R_{DS(ON)}$ )。此模式下的功率损耗计算如下： $I_{Load}^2 * R_{DS(ON)}$ 。

小电流下的成本效益：成本效益设计的关键点在于较小的 RDS(ON) 通常意味着更大的芯片尺寸和封装，因此成本也更高。在小电流条件下，当理想二极管控制器主动将电压降调节至 20mV 时，使用极小的  $R_{DS(ON)}$  器件并不会带来显著的性能优势。

电压降主要由 AP74700AQ 控制，而非由 MOSFET 的固有电阻控制。因此，在此区域选择不必要的小  $R_{DS(ON)}$  MOSFET 只会增加成本，却无法带来相应的性能提升。

设计人员可以选择充分满足要求但不过度规格化的 MOSFET，从而最佳化成本。例如，如果 15mΩ 器件大部分时间都调节为 20mV，而只在电流尖峰时才略微超过这个值，那么 10mΩ 器件虽然能小幅提升性能，但对于该电流等级来说可能并不具有成本效益。

大电流下的性能和效率：相反地，在大电流应用中（例如，现代汽车信息娱乐系统或电动车中的 20A、30A、40A 或更大电流），MOSFET 通常会在  $R_{DS(ON)}$  限制模式下工作。在这些情况下，选用最小的  $R_{DS(ON)}$  至关重要。

大电流下的  $I^2R$  功率损耗会变得相当大，较小的  $R_{DS(ON)}$  能直接减少损耗，进而显著提高效率并降低热应力。大幅减少损耗对于极大增加电动车续航里程，以及提升高功率汽车应用的整体性能至关重要。

较低的功率耗散也表示 MOSFET 的温升幅度会小得多，也就有可能减少对大面积散热铜片的需求，或允许采用更小的封装尺寸。虽然这些 MOSFET 的元件成本可能较高，但在热管理、PCB 空

间和提高系统可靠性方面能间接节省成本，因此成为能满足高功率需求且最具成本效益的解决方案。

选择理想  $R_{DS(ON)}$  需要在提高效率和管理成本之间认真权衡。

例如，相较于传统二极管，25mΩ MOSFET 可大幅提升效率。设计人员必须根据应用的特定电流特性和设计目标，权衡采用更小  $R_{DS(ON)}$  器件所带来的效率提升是否值得额外的成本。

### 封装和散热考虑

除了电气特性之外，MOSFET 的封装类型和 PCB 上的铜片面积也会极大影响散热性能。计算功率耗散（在调节模式下使用  $VI$ ，在  $R_{DS(ON)}$  限制模式下使用  $I^2R$ ）对于确定所需的热阻抗 ( $R_{\theta JA}$ ) 和选择最合适的封装至关重要。Diodes 公司的 PowerD®3333 和 PowerDI®5060 封装具有高效 PCB 配置，能与 AP74700AQ 等理想二极管控制器搭配，从而备受关注。在计算过程中，也必须考虑  $R_{DS(ON)}$  的热系数，这个系数通常会随着温度上升而增加。

### 结论

输入反向电压保护至关重要，可保护敏感的汽车电子设备免受电池反接的影响。虽然简易二极管能为小电流应用提供低成本、小尺寸的解决方案，但在大电流下会耗散大量功率，因此效率不高。采用 MOSFET 的解决方案（尤其是采用 N 沟道 MOSFET 的理想二极管控制器解决方案），功率耗散显著降低，效率明显提升，非常适合高功率汽车系统和电动车。

选择 MOSFET  $R_{DS(ON)}$  是一个关键的设计选择，直接影响性能和成本效益。对于小电流应用，当理想二极管控制器主动调节电压降时，设计人员可避免选用不必要的小  $R_{DS(ON)}$  器件，从而在不影响性能的情况下节省成本。

相反地，对于大电流应用，优先考虑尽可能小的  $R_{DS(ON)}$ ，这对于大幅提高效率、显著减少功率损耗和热管理而言至关重要。这一切最终都有助于提升整体系统性能，并可通过减少散热管理需求，带来间接的成本效益。

针对任何特定应用，选择最佳的 RVP 解决方案都需要考虑多个方面，要在成本、解决方案尺寸、效率、功率耗散需求、电路复杂度和所需功能等因素之间取得整体平衡。

<https://www.diodes.com/zh>

# 简单制胜——第一部分：深入探讨 BMS 中的主动均衡

简单高效，即便不是所有设计人员的共同追求，也是大多数人的目标。

本着“简单制胜”的原则，本文针对电池管理系统(BMS)，深入探讨了一种简单而高效的主动均衡系统的设计原型。

作者：ADI公司应用工程师 Frank Zhang

## 引言

您是否依然认为电芯的主动均衡方案要么复杂昂贵，要么简单经济但效率低下？其实，这种看法并不全然源于评估者的主观偏见，而更多是基于对市面上各类主动均衡方案所做的客观且公正的分析所得出的判断。

本系列文章分为三个部分：

- 第一部分探讨电芯容量不匹配和阻抗不匹配对电池管理系统(BMS)电池包的影响。

- 第二部分介绍市面上几种传统的主动均衡解决方案，并分析为什么过去的设计未能实现简单高效。文中还会讨论为什么电池包之间的均衡与电芯之间的均衡同样重要。

- 第三部分深入评估一个简单高效的主动均衡原型，包括电路设计、算法、GUI 和均衡性能。

随着讨论从基础概念逐步进入细致分析，无论是BMS和主动均衡领域的专业人士和工程师，还是仅仅因标题而产生兴趣的普通读者，都能从中获得有价值的见解和启示。

## 电芯不匹配对 BMS 电池包的影响

在BMS中，多个电芯通常串联连接，形成高压电池包。这种高压电池包能够为多种系统供电，包括电动汽车、高压储能系统和不间断电源。对于这些串联连接的电芯，理想的工作条件是所有电芯具有一致的参数，例如一致的电芯电压、内阻、荷电状态(SoC)、健康状态(SoH)和工作温度。

实际上，当一批全新电芯刚刚由制造商生产出来时，它们的性能和指标通常是一致的。但在投入实际使用后，随着电芯的老化，负载、环境温度和湿度、充电循环次数等因素会导致电芯性能不可避免地出现差异。

当电芯之间的性能差异较小时，一般不会对电池包的正常运行造成影响，也无需予以特别关注。但一旦电芯之间的性能差异变得

足够显著，威胁到电池包的正常运作，就必须解决此问题。在以下章节中，电芯之间的显著性能差异将被称为电芯不匹配。

## 电芯容量不匹配

如图1所示，如果电池包中有几个电芯的容量明显低于其他电芯，则称这几个电芯为弱电芯。在充电和放电过程中，弱电芯都会带来问题。在充电过程中，弱电芯会更快达到满电压，先于其他电芯充满电。然而，电池包由多个电芯串联而成，当弱电芯充满电时，充电电流并不会自动停止。因此，一旦弱电芯充满电，整个电池包的充电过程必须立即停止，以避免过充风险，防止危及弱电芯和整个电池包。

类似地，在放电过程中，弱电芯的电压会更快下降，先于其他电芯更早达到完全放电状态。同样，一旦弱电芯完全放电，整个电池包的放电过程必须立即停止，否则就会有过放电风险，也会带来安全隐患。细心的读者可能很快就意识到，在包含弱电芯的电池包中，整体容量利用率显著降低。若没有电芯均衡，健康的电芯在每次循环中将无法完全充电或完全放电。随着时间推移，电芯经历反复充放电循环，其中弱电芯由于经历更多的循环，往往会出现更快的容量衰减，从而加剧与其他健康电芯之间的不匹配。

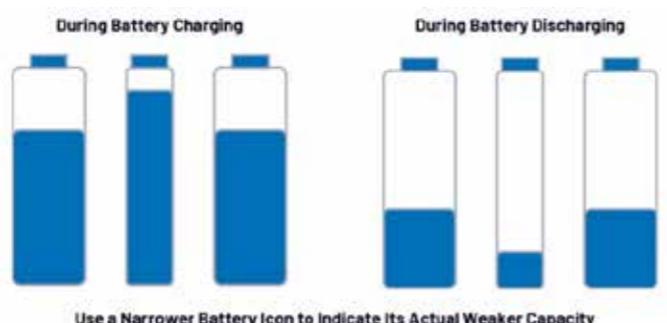


图1. 电池包充电和放电过程中电芯容量不匹配的影响

## 电芯阻抗不匹配

除了电芯容量，另一个需要高度关注的重要参数是电芯阻抗。与容量不匹配类似，阻抗不匹配是指电池包中一个电芯的阻抗与其他电芯的阻抗明显不同。一些工程师使用电化学阻抗谱分析(EIS)方法来测量每个电芯的阻抗，并评估它们的健康状态。健康或相对较新的电芯通常具有较低的阻抗，而老化或不健康的电芯往往具有较高的阻抗。通过以下图示，可以更直观地理解阻抗不匹配对电池包性能的影响。

为了便于讨论，我们将电池包中阻抗明显较高的电芯称为不健康电芯。图2直观地展示了这一现象，将电芯在充放电时的行为简化为一个由电容和电阻串联构成的等效电路模型。需要注意的是，这种抽象是为本文的讨论而作出的必要简化。尽管它有助于说明阻抗不匹配的影响，但并不反映真实电芯的实际物理和电气特性。

在充电过程中，内阻较高的不健康电芯在给定的充电电流下，会经历更大的电压降。在这种情况下，如果所有电芯都表现出相同的电压值，不健康电芯存储的电能实际上更少。如图所示，不健康电芯在充电过程中具有较小的Vcell\_actual值。此外，由于其阻抗造成的功率损耗更高，不健康的功率电芯通常会经受更高的充电温度。

在放电过程中，更高的阻抗导致在给定的放电电流下，电压降更大，功耗更高。因此，不健康电芯的电压和容量下降速度更快，放电温度通常也更高。随着时间推移，经过反复充放电循环，更高的温度和老化效应会进一步加速不健康电芯的阻抗增加，从而加剧电池包内的阻抗不匹配问题。

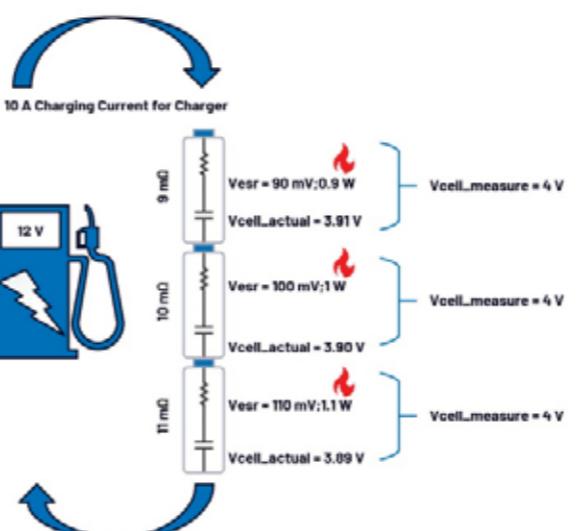


图2. 电池包充电和放电过程中电芯阻抗不匹配的影响

通过分析容量不匹配和阻抗不匹配，细心的读者可能注意到，尽管这两种不匹配代表了电芯不均衡的不同方面，但它们最终产生的影响非常相似。无论是容量较低的弱电芯，还是阻抗较高的不健康电芯，它们主要影响的都是电池包的可用容量和工作电压。含有

弱电芯或不健康电芯的电池包，其整体容量利用率和安全工作时间会显著减少。此外，这些不匹配的电芯会对电池包内表现良好的电芯的安全性和正常运行构成持续威胁。

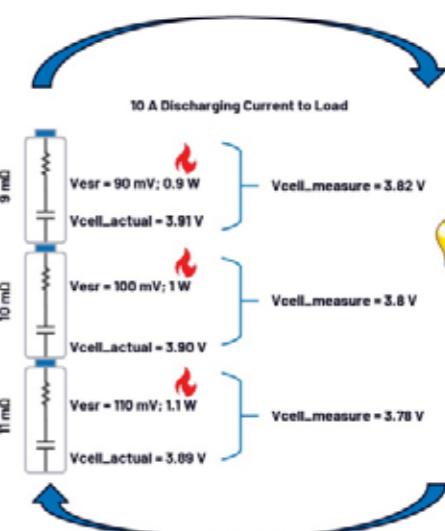
## BMS 中的被动 / 主动均衡至关重要

基于上文关于电芯不匹配问题的讨论，理解BMS中被动和主动均衡的应用就会容易得多。

被动均衡是一种耗散性方法，通常在充电周期中进行。弱电芯的容量较低，因此在相同的充电电流下，其电压上升得更快。当弱电芯首先达到或接近满电时，多余的电能必须立即耗散掉。虽然这种电能耗散会导致热量产生和热管理挑战，但可以延长健康电芯的充电时间，最终会提升电池包的整体运行时间。被动均衡在BMS中广泛采用，大多数电芯监测IC都集成了这一功能。

主动均衡则是通过变压器、电容和电感在电芯之间转移电能。这种方法在充电和放电周期中均有效，能够高效地重新分配电荷。虽然被动均衡和主动均衡各有优缺点（如表1所总结），但在实际BMS设计中，选择哪种均衡方法并非简单地基于优缺点的直接比较，而是取决于电池系统的容量和规模。

通常，均衡电流设为电芯容量的约1%到5%。例如，在一个4 Ah锂电芯中，如果均衡电荷是容量的5%，则需要进行200 mA的均衡。这种情形非常适合被动均衡，BMS设计人员可实现一个200 mA被动均衡电路，在大约一小时内完成电荷耗散，或实现一个100 mA电路，在两小时内完成电荷耗散。最终，设计人员可以根据所选的电芯监测IC的被动均衡电流能力和电芯容量，制定具有针对性的被动均衡策略。



作为对比，考虑一个300 Ah高容量储能电芯，5%的均衡电荷相当于15 Ah。即使使用300 mA的被动均衡电流（已经相当高），也需要50多个小时才能完成均衡。实际的均衡时间会更长，因为在单个电芯通道上长时间地持续进行被动均衡会导致过热，并可能损坏BMS芯片。因此，主动均衡对于高容量电芯是必不可少的。

例如，如果一个主动均衡电路可以处理15 A的电荷转移电流，则15 Ah的不均衡可在大约一小时内得到纠正。如果容量为7.5 A，则可能需要大约两小时，依此类推。与被动均衡不同，主动均衡不会浪费电能，而是将电能重新分配到其他电芯或电池包，因此能够提升整体能效，同时减轻BMS的热管理负担。

表 1. 被动和主动电池均衡的优缺点

	被动均衡	主动均衡
优点	1. 尺寸小 2. 成本低 3. 复杂度低且易于控制 4. 延长电池包充电时间	1. 电池充电和放电期间均可有效应用 2. 提升电池包总运行时间和容量利用效率 3. 改善电路系统热管理 4. 实现快速均衡，支持大均衡电流
	1. 多余电能以热量形式耗散（浪费电能且不环保） 2. 均衡电流有限（通常为数十到数百毫安） 3. 在大均衡电流下产生的高热量可能会影响电池和BMS芯片 4. 均衡速度慢，放电期间不太可能使用	1. 需要更多空间，并可能需要使用变压器 2. 变压器可能需要定制 3. 需要更多IC，电路设计和控制逻辑较为复杂 4. 昂贵（并非总是如此，但通常更昂贵）

## 结语

本文介绍了电芯容量不匹配和阻抗不匹配对电池包正常运行的影响。文中还概述了 BMS 中的被动均衡和主动均衡方法，为后续文章的进一步讨论奠定了基础。

## 作者简介

Frank Zhang 是 ADI 公司中国技术支持中心的应用工程师。他的专业领域是电池管理系统(BMS)、精密信号链和嵌入式软件开发。他于 2022 年获得福州大学电子工程硕士学位，同年加入 ADI 公司。

<https://www.analog.com/cn/index.html>

# Bodo's 功率系统<sup>®</sup>

《Bodo's Power Systems》杂志是一本面向全国及海外的专业科技期刊，全面覆盖嵌入式电源、设计测量、电池、便携式电源、数字电源、设计与模拟、大功率开关、高压变换器、IGBT、热能管理等科技发展与产品应用。

为了满足广大读者的需求，为行业用户提供实用的应用案例，本刊特向业内的广大专家、教授、学者、工程技术人员诚征稿件。感谢您能在百忙之中将您的观点、应用经验与大家分享。

所投稿件内容应有较高学术水平，语言流畅、逻辑关系明确，有新意。

投稿作者请提供详细的作者联系信息，如工作单位名称、电话、通讯地址、邮箱等，以方便联系。

投稿信箱 [BPSC@i2i-m.com.cn](mailto:BPSC@i2i-m.com.cn)，

投稿时，请在邮件主题栏注明“投稿”字样！

一如既往 准时高效

# 采用先进碳化硅封装技术 有效提升系统耐久性

众多行业领域的电气化推动着对高性能功率器件的需求不断增长，应用场景日益多样，这也给电源设计工程师带来了新的挑战。宽禁带材料，如碳化硅(SiC)和氮化镓(GaN)的采用，因其在效率、功率密度和可靠性方面的显著优势，正助推着这一需求。

作者：Adam Barkley 博士，Wolfspeed 功率半导体研发副总裁

“万物电气化”也意味着碳化硅在越来越多的工作场景、气候条件和海拔高度下的应用日益广泛。一辆在佛罗里达州或在蒙特利尔行驶的电动汽车，其系统要求和性能期望是不同的。预计到 2050 年，对可再生能源的需求将飙升。波罗的海风力涡轮机的运行条件与内华达沙漠的光伏板也不同。高压应用并非千篇一律，但在苛刻环境下实现高性能和高可靠性——即真正的系统耐久性——正成为普遍的期望。可靠性关注测试结果的一致性，而耐久性则侧重于在恶劣环境下长期持续运行。碳化硅(SiC)材料的内在特性使其在材料层面比硅(Si)更具耐久性。当我们探讨电力电子技术如何影响(或制约)终端系统在苛刻环境下无需过多维修即可运行的能力时，耐久性的真正价值便得以显现。

要充分实现碳化硅(SiC)的性能和耐久性优势，需要在封装技术方面取得显著进步。本白皮书探讨了碳化硅功率器件封装的创新，重点介绍了它们在满足现代电力应用需求方面的关键作用，特别是在电动汽车、快速充电基础设施、工业及可再生能源电站领域。

## 汽车和工业应用中严格的性能期望

电动汽车转型需要稳健的快速充电基础设施，系统功率范围从 50kW 到 1MW 以上。一个典型的 50kW 充电机每天执行 20 次循环，十年内累计超过 70,000 次循环，这要求功率模块在从环境温度到高结温的广泛温度循环下具有卓越的耐久性。

碳化硅(SiC)技术通过卓越的效率、更高的工作温度、更长的使用寿命和更紧凑的设计，超越了传统的硅(Si)IGBT。碳化硅(SiC)实现了光伏逆变器和风力发电系统中的高效能量转换，可处理 1.2kV 至 3.3kV+ 的电压，同时在 150°C 以上可靠运行，减少了恶劣环境下的冷却需求。

在工业应用中，碳化硅(SiC)提高了电机驱动、机器人和自动化系统的功率密度。高开关频率使得元件设计更紧凑，而宽禁带特性则在严苛负载下最大限度地减少了能量损耗。工业环境要求元件能够抵抗机械应力、污染和极端条件。

然而，碳化硅(SiC)也带来了封装挑战。具有更高杨氏模量

的材料在热循环期间会对键合线产生更大的机械应力，可能损害电气连接。在高温下工作的元件之间的热膨胀失配进一步放大了应力效应。

先进的组装技术、专用的键合材料和增强的热管理系统对于缓解这些挑战至关重要。碳化硅(SiC)必须在性能优势与成本考量、系统兼容性、稳固的封装以及符合安全标准之间取得平衡。尽管存在挑战，碳化硅(SiC)已成为推进清洁能源系统和提高工业效率的基石技术。

## 优化碳化硅器件的功率封装

随着功率密度、效率和可靠性变得愈发关键，Wolfspeed 正在引入创新方法以增强器件性能并确保在苛刻条件下的耐久性。

在涉及频繁功率和温度循环的场景中，材料选择和连接方法在保持可靠性和性能方面起着关键作用。碳化硅(SiC)器件的高开关速度和卓越的热性能暴露了传统硅(Si)基功率封装的局限性。

传统设计中的寄生电感会导致电压过冲、振荡和可靠性降低，迫使设计人员做出妥协，例如降低开关速度或使用更高额定值的元件，这增加了复杂性和成本。此外，来自电感路径的栅极振荡可能损坏碳化硅(SiC)器件敏感的栅极氧化层。要充分实现碳化硅(SiC)的优势——例如更高的效率和紧凑性——功率封装必须针对碳化硅(SiC)进行优化，以最小化电感、优化电流路径并增强整体系统性能和耐久性。

## 先进封装解决方案

针对碳化硅(SiC)技术量身定制的现代封装解决方案有效地应对了这些挑战。通过减少功率回路、栅极回路和共源回路中的寄生电感，这些解决方案提高了效率，降低了开关损耗，并减少了电压过冲。

Wolfspeed 通过先进的封装和设计方法，采用全面综合的方法来最小化寄生电感。开尔文源极连接的实施为栅极驱动电路提供了关键的隔离；减小大功率 di/dt 回路和开关节点 dv/dt 的耦合到

栅极驱动电路。其结果是显著降低了栅极回路电感、实现了更快的开关速度、最小化了功率回路和栅极回路之间的串扰，并减轻了开关过程中的芯片间振荡。战略性的模块布局优化通过精心的元件布置和明智地应用并联电流路径，着重于最小化换流回路面积。先进的封装架构具有缩短的电流路径和对称的栅极驱动配置，共同减少了电磁耦合效应。这些设计原则在 Wolfspeed 的第四代 (Gen 4) MOSFET 平台中得到进一步完善，该平台集成了增强的耐久性和效率特性，从本质上最小化了寄生效应。这使得设计人员能够使用额定值较低的碳化硅 (SiC) 器件，从而在保持性能的同时降低成本。

大多数标准的表面贴装功率半导体器件通过器件底部散热，该底部直接焊接在印刷电路板 (PCB) 上。PCB 通常在下方配备散热器或冷却板，以管理通过 PCB 中的导热孔传导的热量。这种方法广泛应用于各种电力电子应用，尤其是在 PCB 安装的散热器没有尺寸或重量限制的情况下。

相比之下，顶部散热 (TSC) 器件通过封装顶部散热。这些器件将其内部的芯片和引线框架结构翻转，使其靠近顶面，从而实现向上的高效热传递。TSC 器件特别适合高性能应用，如汽车和电动交通系统，其中紧凑、高功率密度的设计需要先进的热管理技术。在这种情况下，TSC 器件通过降低系统的总热阻来增强冷却效率，从而实现更大的功耗能力和改善的热性能。

Wolfspeed 的 "U2" 顶部散热 (TSC) 封装在爬电槽两侧提供标准的 4.1 mm 电气间隙或沿爬电槽 4.83 mm 的爬电距离，比市场上同类兼容尺寸的解决方案提高了 10%。Wolfspeed 还特殊设计了 U2 的漏极引脚，以提高系统制造可靠性，减少系统组装过程中刺穿绝缘屏障的可能性。

TSC 设计还释放了 PCB 的底部空间以作他用，因为它不再作为散热界面。这一变化（图 1）通过将 PCB 从热路径中移除，改善了整体热阻抗。此外，TSC 器件支持自动化组装过程，提高了制造效率并降低了成本。

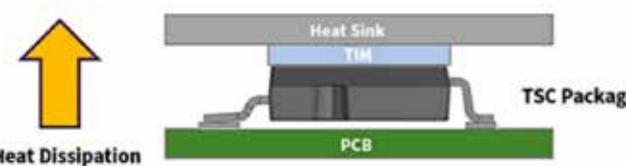


图 1: TSC 器件通过封装顶部散热

#### 革命性的互连技术

有效的芯片连接是稳健功率器件性能的基石。传统的引线键合——数十年的主要技术——正被先进的互连技术所取代，这些技术改善了热性能和机械性能。降低热阻对于实现更小的系统尺寸同时保持高功率密度至关重要。早期的设计依赖于厚铜散热片与高导热绝缘片配对，虽然有效，但装配繁琐并且在冷却性能上存在局限性。

一个值得注意的发展是顶部夹片互连的采用（见图 2），它提供了更低的电阻和电感、增强的热管理以及卓越的机械可靠性。根据应用需求，铜夹片可以通过焊接、激光焊接或烧结连接，工艺灵活。将大面积铜夹片直接焊接到芯片上，增强了模块内的电流承载能力并加强了连接。

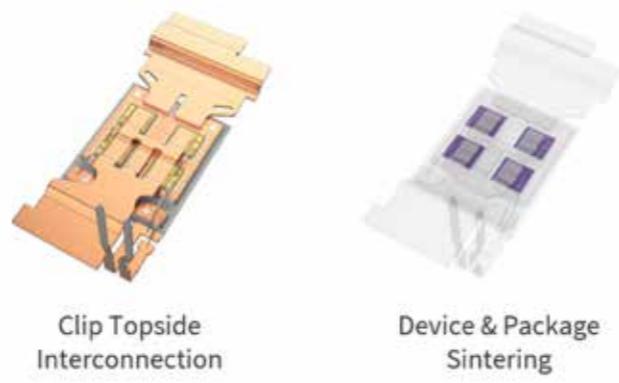


图 2: 顶部夹片互连以及器件和封装烧结

在芯片贴装操作中，银烧结已成为一项尖端技术。该方法利用热量、压力和时间，在芯片和功率基板的金属化层之间形成牢固的结合。需要高功率和耐热循环耐久性的应用极大地受益于银烧结提供的机械结合强度，同时确保了优异的导热性。

#### 冷却技术的创新

随着功率密度的增加，有效的热管理对于保持性能和可靠性变得至关重要。直接冷却技术在汽车应用中尤其具有变革性。例如，针鳍式冷却设计在模块的基板上集成鳍片，这些鳍片直接浸入逆变器系统的冷却液中。这种方法有效地耗散芯片产生的热量，确保以高温性能卓越著称的碳化硅 (SiC) 器件保持足够低温以维持连续功率输出。

新型符合车规标准的六管集成功率模块 (YM4) 代表了针对严苛的汽车和电动交通应用优化的先进封装技术。这些创新模块集成了多种先进解决方案，以满足下一代碳化硅 (SiC) 应用的关键耐久性要求，而传统封装解决方案在这方面存在不足。



图 3: 1200V 六管集成功率模块 (YM)

YM4 模块采用烧结芯片贴装技术，具有卓越的导热性和机械可靠性，结合先进的环氧树脂封装材料，提供出色的环境保护和热稳定性。铜夹片互连系统消除了传统键合线的限制，实现了更高的电流密度和改善的热管理。这种全面的封装方法在相同尺寸下，提供了比同类最佳竞争器件多三倍的功率循环次数，确保在极端热循环条件下的延长运行寿命。

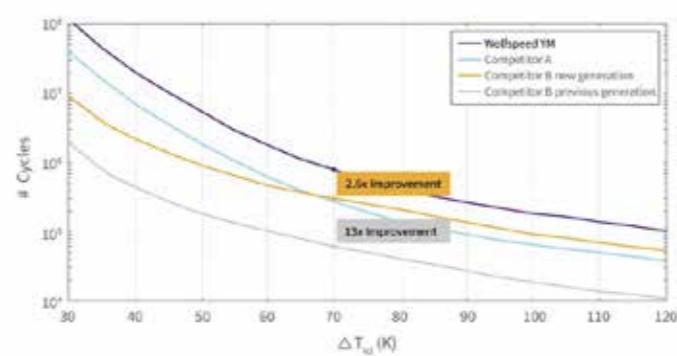


图 4: 新型 1200V 第四代 (Gen 4) 六管集成功率模块的功率循环能力是其他领先替代器件的三倍

#### 增强可靠性

可靠性是功率器件设计的基石，尤其是在必须满足 AEC-Q101 和 AQG324 等严格认证标准的汽车应用中。这些标准要求模块经过严苛的可靠性和可靠性后测试，确保它们能够承受苛刻的汽车环境。

一项显著的创新是从凝胶基封装剂向环氧树脂模塑料的转变。与可能吸收水分并导致电弧问题的凝胶不同，环氧树脂具有优异的抗湿气侵入能力，同时增强了结构完整性。这一进步加强了互连点周围的机械屏障，提高了模块的整体耐久性。

车规级单开关塑封模块 (TM4) 通过创新的封装技术展示了卓越的热工程。通过实施铜夹片键合结合银烧结封装，这些模块实现了高达 8% 的热性能提升，同时增强了功率循环能力。

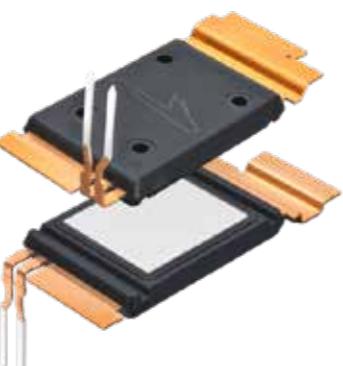


图 5: 车规级单开关塑封功率模块 (TM)

#### 压接引脚技术和低电感设计

压接引脚技术的进步使得连接到印刷电路板 (PCB) 的电流容量更高。新设计将标准引脚的典型电流处理能力提高了一倍，支持紧凑模块配置中更高的功率密度。

低电感对于实现干净高效的开关至关重要。大电感会导致大的电压尖峰摆动和振荡，从而降低效率并给元件带来应力。通过采用内部母排和夹片附件，先进设计的电感可低至 5 nH。这一改进最大限度地减少了振荡，降低了开关损耗，并提高了整体系统效率。

Wolfspeed WolfPACK™ 代表了电力电子封装的重大进步。WolfPACK 模块（图 6）设计灵活，可根据需要定制以适应各种电力电子拓扑结构，涵盖半桥、全桥、T-型和六管集成配置，并可扩展以满足不同的功率需求。

WolfPACK 创新的一个关键在于其利用压接技术。这种创新方法消除了对传统焊点的需求，从而带来几个关键优势。通过取消焊接，热阻显著降低，实现了更有效的散热，从而提高了功率密度。此外，没有焊点减轻了焊料疲劳的风险（这是传统功率模块中常见的可靠性问题来源），从而增强了长期耐久性。

此外，WolfPACK 模块经过精心设计，集成了热管理解决方案，例如内置的 NTC (Negative Temperature Coefficient, 负温度系数)。Wolfspeed 认识到有效的散热对于碳化硅器件的最佳性能至关重要，并将复杂的冷却机制融入模块设计中。这确保了器件在安全的温度限值内运行，最大限度地提高了其效率和寿命。



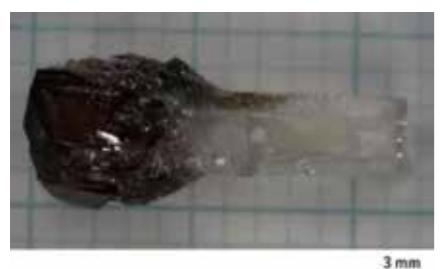
图 6: 2300V Wolfspeed WolfPACK™ 碳化硅功率模块

#### 结论

先进封装解决方案、创新互连技术和有效热管理策略的集成，扩展了碳化硅 (SiC) 功率器件的能力。这些发展不仅提高了可靠性和效率，还支持更高的功率密度，为在汽车、工业和可再生能源领域实现更紧凑、更强大和更节能的系统铺平了道路。

为满足客户关键的性能期望并实现全面的电气化，Wolfspeed 在碳化硅 (SiC) 芯片技术和先进封装解决方案两方面推动持续创新，最大限度地发挥碳化硅 (SiC) 在汽车、工业和能源应用中的变革潜力。

## 二氧化锗取得突破



二氧化锗研究开发、制造与销售的初创企业。自2022年12月成立以来，公司累计融资额已达10.59亿日元，显示出市场对二氧化锗材料的巨大兴趣和信心。

氧化锗材料制备方面的技术实力，也为后续的器件研发和应用奠定了坚实基础。

[www.patentix.co.jp/](http://www.patentix.co.jp/)

在二氧化锗的研究方面，Patentix 取得了多项重要突破。他们利用 FZ 法成功生长出金红石型二氧化锗块体晶体，尺寸达到 5 毫米，这是全球首次实现如此大尺寸的金红石型二氧化锗晶体生长。

这一突破不仅展示了 Patentix 在二

## 扩充气冷式性能与效率型AI解决方案产品组合



Instinct™ MI350 系列 GPU 优化解决方案，推出全新系统机型，提供空前的性能，以及极高的可扩充性和能源效率。Supermicro 针对同时需要 AMD Instinct MI355X GPU 的高规格性能和气冷式环境的企业和机构，量身打造了这款全新系统。

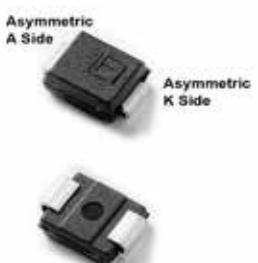
Supermicro 的 DCBBS 技术使我们能快速整合 AMD 解决方案，并通过经验的数据中心产品，将先进技术推向市场。本次推出的全新气冷 AMD Instinct MI355X GPU 系统不仅扩充并强化了我们的 AI 解决方案产品系列，也可为客户提供新一代数据中心建置构建项目提供更多选择。”

[www.supermicro.com/en/](http://www.supermicro.com/en/)

Super Micro Computer, Inc. (NASDAQ: SMCI) 作为 AI、云端、存储和 5G/ 边缘领域的全方位 IT 解决方案供应商，宣布扩充其 AMD

Supermicro 科技与 AI 资深副总裁 Vik Malyala 表示：“Supermicro 领先业界，凭借深厚的技术经验，为客户提供高性能 AI 与 HPC 解决方案。而

## 专为12 V电池防反接设计的保护器件TPSMB非对称瞬态抑制二极管



联互通和更安全的世界提供动力。公司今天宣布推出 TPSMB 非对称系列瞬态抑制二极管 (TPSMB2412CA, TPSMB2616CA, TPSMB2818CA, TPSMB3018CA)。这些市场先行器件专为 12 V 电池防反接保护而设计，相较于传统的对称双向 TVS 解决方案，具有更卓越的性能表现。

一项单组件解决方案，可保护防反接 MOSFET、二极管和 DC/DC 转换器集成电路免受正负浪涌的损害。非对称箝位特性可确保负浪涌下的钳位电压大幅降低，使工程师能够选择额定值较低的 MOSFET 或二极管。这种方法降低了传导损耗，简化了设计，并且能降低整体 BOM 成本。

[www.Littelfuse.com](http://www.Littelfuse.com)

Littelfuse 公司是一家工业技术制造公司，致力于为可持续发展、互

与通常需要多个组件的传统方法不同，TPSMB 非对称系列提供了

# Bodo's 功率系统

Bodo's Power Systems®



45 nA  
0.22 s/day, 2.5 ppm  
-40 to +125°C



### Low Freq. Oscillators

32.768 kHz  
100.000 kHz  
Lowest power, wide supply voltage



### MHz Oscillators

SPXO up to 210°C  
VCXO up to 210°C  
OCXO up to 120 MHz



### kHz TF Crystals

32.768 kHz  
Tuning fork crystal  
Miniature ceramic SMD



### MHz AT-cut Crystals

Frequency up to 250 MHz  
High temperature up to 200°C  
High-end applications



### NEW Temperature Sensor Module

Lowest power  
High accuracy  
RTC functions, embedded XTAL

160 nA  
1°C, 0.0625°C resolution  
Alarms, timestamps



**MICRO CRYSTAL SWITZERLAND**  
[www.microcrystal.com](http://www.microcrystal.com)

## 新型车规级塑封 TM4 功率模块



逆变系统设计，可根据具体需求灵活优化系统性能。

Wolfson 全新的第四代 (Gen 4) 1200V 单开关塑封功率模块旨在提供灵活性，让您能够选择合适的平衡点以满足系统要求。

为设计流程量身打造：可靠的互联技术：热性能提升高达 8%，功率循环能力更强，系统耐用性更佳行业标准 "TPAK" 封装：作为即插即用式替代模块，升级您

Wolfson 宣布推出采用其第四代 (Gen 4) 技术的新型车规级塑封碳化硅功率模块 (TM4)，专为电动汽车牵引

现有的布局，同时提供更优的性能易于并联，实现广泛的逆变器系统扩展性：提供 2 芯片、3 芯片和 4 芯片选项，以满足各种不同的逆变器功率等级需求。

为制造灵活性而构建：可烧结或可焊接背面：选择适合您生产线的组装方法可激光焊接的功率端子：连接稳固，制造流程简化通过 AQG 324 认证：值得信赖的车规级可靠性。

[www.wolfson.com](http://www.wolfson.com)

## 集成化GaN反激式转换器，简化应用设计，消除可听噪声



条件下采用意法半导体专有技术，确保电源和充电器无声运行，为用户带来出色的使用体验。

VIPerGaN50W 是新系列反激式转换器的首款产品，是在一款体积紧凑的功率封装内集成一颗 700V GaN 功率晶体管、反激式控制器和改进的栅极驱动器。其中，栅极驱动器节省了对栅极电阻和电感的微调过程，有助于加快产品上市时间，提高输出功率密度，大幅降低物料成本。

意法半导体推出一系列 GaN 反激式转换器，帮助开发者轻松研发和生产体积紧凑的高能效 USB-PD 充电器、快充和辅助电源。新系列转换器在低负载

50W 反激式控制器全负载采用零电压开关 (ZVS) 准谐振模式；在轻负载和中高负载时，频率折返和跳谷底方法可以限制开关频率，以优化能效。在跳谷底方法中，意法半导体专有的谷底锁技术可以稳定跳过的谷底数，防止开关频率在音频频率变化，确保转换器在整个负载范围内静音工作。

[www.st.com](http://www.st.com)

## SMD浪涌限流PTC热敏电阻，提高基板效率并降低成本



BCcomponents PTCES 系列器件采用紧凑封装，最高能量吸收能力达 340 J，最高电压处理能力达 1200 VDC，可提高汽车和工业应用的基板效率并降低成本。

PTC 热敏电阻的能量吸收能力比竞品器件高 260%，设计人员可减少电路中使用的元件数量，从而节省基板空间，降低总成本。此外，PTCES 系列器件的最大电压处理能力比竞品器件高 20%，可满足更广泛的设计要求。

威世科技推出新系列绝缘、表面贴装浪涌限流正温度系数 (PTC) 热敏电阻 ---PTCES。Vishay

新系列热敏电阻主要用于各种限流和过载保护，包括 AC/DC 和 DC/DC 转换器、DC-Link、抛负载、紧急放电电路、车载充电器 (OBC) 和电池充电设备以及电机驱动器。这些应用下，器件具有自我保护功能，可承受超过 100 000 次浪涌功率循环，抗冲击和抗振动能力符合 AEC-Q200 标准，无需使用强力胶固定。

[www.vishay.com](http://www.vishay.com)

## 触觉马达让宽频、紧凑型马达更易集成至各类设备



TITAN Haptics 推出 TacHammer Drake 中频 (MF) 触觉马达，这是一款紧

凑型宽频线性磁力冲击 (LMR) 执行器，可为不同类型的产品提供清晰、精准的触觉反馈。在有限空间内需要兼顾低频与高频触感的场景中，Drake MF 能通过单颗马达呈现丰富的触觉效果，包括深沉的震动感、清晰的提示反馈以及音频同步触觉。其宽频特性减少了对多颗马达或复杂调校的需求，帮助团队更快速地从原型验证推进到量产，并保持稳定的输出表现。

Drake MF 的工作频率范围为 35

Hz 至 300 Hz 以上，在 130 Hz 时能输出 3.2 Grms，在全频段范围内都能提供清晰的触觉反馈效果。它采用磁悬浮结构替代传统机械弹簧，确保马达在长时间运行下，依然能在不同应用场景保持可靠性和稳定表现。

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

## 广泛适用于直流有刷电机的通用电机驱动器IC



全球知名半导体制造商 ROHM 推出可广泛适用于直流有刷电机的通用电机驱动器 IC “BD60210FV” (20V 耐压，2 通道) 和 “BD64950EFJ” (40V 耐压，1 通道)，新产品适用于包括冰箱、空调等白色家电在内的消费电子以及工业设备领域。

两款产品均采用通用性好的封装形式，不仅易于引入新设计中，还可显著提升电路变更、衍生型号开发以及设计标准化的效率。另外，新产品还实现低待机电流 (Typ: 0.0 μA, Max: 1.0 μA)，可大幅提升应用产品待机时的节能性能。

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

## 创新栅极驱动器实现钛金级效率和极佳功率密度



Allegro MicroSystems, Inc. (以下简称“Allegro”，纳斯达克股票代码: ALGM)，与全球领先的硅基氮化镓制造商英诺赛科 (Innoscience, 港交

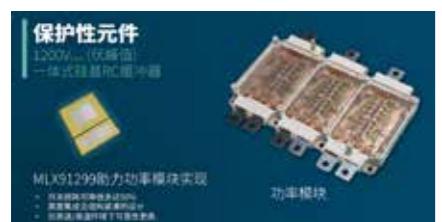
所: -2577.HK) 宣布达成战略合作，推出了一款开创性的 4.2kW 全 GaN 参考设计，该设计采用了 Allegro 的先进栅极驱动器技术和英诺赛科高性能氮化镓。这一创新解决方案有望重新定义下一代 AI 数据中心和边缘计算的电源单元 (PSU)，通过结合双方的优势，实现前所未有的效率和功率密度，并加速设计周期。

这款新型电源供应单元参考设计整合了英诺赛科 650V 和 150V 高性能

的氮化镓功率晶体管与 Allegro 创新的 Power-Thru™ AHV85110 隔离式栅极驱动器，后者具备自供电架构，并集成偏置电源。这种独特组合可实现卓越的开关性能和精简的系统设计，助力工程师达成钛金级电源效率和超过 100 W/in³ 的功率密度，极大地简化了系统设计，并显著减少了无源元件的数量。

[www.allegromicro.com/en](http://www.allegromicro.com/en)

## 全新产品线实现碳化硅功率模块领域革命性突破



依托在电机控制与电流传感领域的技术积累，精心打造了这款缓冲器，使其能够高度适配高压功率模块在新能源车和工业的各个应用场景。在实际应用中，MLX91299 可有效助力应用中对尖峰电压的抑制和消除震荡现象，进而显著提高系统的可靠性与运行效率。

全球微电子工程公司 Melexis 宣布，推出全新产品 MLX91299。这是一款新型硅基 RC 缓冲器，专为提升碳化硅 (SiC) 功率模块的性能而设计。迈来芯

迈来芯推出的 RC 缓冲器是一种硅基保护性元件，它创新性地将电阻与电容集成于一体化，以紧凑的结构设计为高压瞬

态提供可靠保护。该产品专为高压功率模块的无缝集成而精心设计，严格遵循与碳化硅器件兼容的标准集成方式。其独特的材料选用与外形设计，使其能够与现有功率模块布局实现精准适配集成，大幅提高产品的可制造性，简化组装环节的复杂度，并高度确保各装置之间性能的一致性。

[www.melexis.com/zh](http://www.melexis.com/zh)

## 集压敏电阻和气体放电管于一体的新系列浪涌保护元件



代码：B72214G 和 G20（订购代码：B72220G）两种型号可供选择，通过串联金属氧化物压敏电阻 (MOV) 与气体放电管 (GDT) 实现了一体化的混合设计，兼具这两种元件的优势。相比于单独并联使用 MOV 或 GDT 的传统解决方案，其创新配置可将漏电流降至接近零，不仅延长了整个元件的使用寿命，还提高了浪涌防护性能。

TDK 株式会社推出全新的 G 系列浪涌保护元件。新系列元件有 G14（订购

创新的串联混合设计的优势：零待机

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

漏电流：在正常工作状态下，GDT 会隔离 MOV，几乎消除了漏电流，从而最大限度提高能效。延长 MOV 的使用寿命：MOV 仅在 GDT 动作时启用，显著降低电气应力与老化速率。可靠的浪涌响应：发生浪涌时，GDT 会迅速成为低电阻，形成第一道防线；随后 MOV 会钳住残余电压，吸收剩余能量，消除续流并防止 GDT 重新触发。

## 独有双量程运动传感器赋能工业数字化转型



提供更多助力。这款高精度 IMU（智能惯性测量单元）传感器的独特之处是，在一个体积紧凑的封装内整合低加速度 ( $\pm 16g$ ) 和高加速度 ( $\pm 256g$ ) 同步检测功能与一个稳定的高性能陀螺仪，确保从细微运动或振动到剧烈冲击的所有关键事件都能无一遗漏地被捕捉到。

意法半导体 (STMicroelectronics，简称 ST) ( 纽约证券交易所代码 :STM) 发布了一款面向数据密集型工业物联网应用的三合一微型运动传感器 ISM6HG256X，为边缘人工智能的发展

工厂自动化和黑匣子事件记录。通过集成双量程加速计，测量不同的加速度无需多个传感器，简化了系统设计，降低了设计整体复杂性。其嵌入式边缘处理能力和自配置功能支持实时事件检测和场景自适应感知，这个特性对于资产长久跟踪传感器节点、穿戴式安保设备、工业设备工况连续监测和自动化工厂系统至关重要。

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

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

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

## 超高密度舌簧继电器显著提升自动测试设备通道密度



高性能舌簧继电器 全球领导者 Pickering Electronics 扩展了超高密度舌簧继电器 125 系列。该系列提供业界最小的 2 Form A 双刀单掷 (DPST) 舌簧继电器，此次新增 1 Form A、1 Form B、

1 Form C 及 1 Form A 同轴型号，进一步丰富了切换配置选项。扩展后的系列产品可在 20W 功率下，切换高达 1A 的电流，并提供 3V、5V 或 12V 线圈选项，并可在紧凑的 5mm x 5mm 间距内实现堆叠安装。得益于采用了先进的仪表级开关，125 系列继电器在混合信号环境中表现出色，具备高绝缘电阻与低接触电阻特性。

Pickering Electronics 舌簧继电器产品经理 Robert King 表示：“125 系列采用超高密度封装设计，使工程师能够

在不牺牲性能的前提下最大化 PCB 空间利用率，特别适用于需要超高密度应用场景，比如 ATE（自动测试设备）开关矩阵或多路复用器。作为全球最小的双刀舌簧继电器，扩展后的 125 系列产品现已新增 1 Form A、1 Form B、1 Form C 及 1 Form A 同轴型号，可在空间受限的 PCB 上实现业界领先的通道密度与更高的布线灵活性。”

[www.pickering.cn/zh-cn](http://www.pickering.cn/zh-cn)

## 电机控制芯片助力打造更紧凑、更高性价比方案



英飞凌科技股份公司推出面向有刷直流电机 (BDC) 和无刷直流电机 (BLDC) 的新型解决方案——TLE994x 系列与 TLE995x 系列，拓展其 MOTIX™ 32 位电机控制 SoC 芯片产品阵容。这两款新产品专为中小型汽车电机量身打造，应用场景涵盖从电动汽车电池冷却等功能，到座椅调节等提升舒适性的场景。在现代汽车（尤其是电动汽车）中，此类电机的数量持续

[www.infineon.com](http://www.infineon.com)

增长，且越来越多地被应用于关键安全领域。因此，汽车制造商亟需具备集成多种功能的可靠、紧凑、高性价比解决方案。依托英飞凌在电机控制领域的深厚积淀，新款 SoC 产品将先进集成特性与功能安全及网络安全相关功能融为一体。

## 连接器确保电动和混合动力汽车安全、可靠和高效连接



全球电子领导者和连接创新者 Molex 莫仕推出了其 eHV 高压连接器和端子系列产品组合中的首款产品，该产品组合旨在为纯电动汽车 (BEV) 和插电式混合动

力汽车 (PHEV) 的辅助和主要系统中的高压电源电路提供安全可靠的高性能电气连接。该系列的首款产品是 eHV60 高压汽车连接器，它非常适合连接辅助高压电路，例如直流 / 直流转换器、车载充电器、电动压缩机和 e-axle 电驱动桥。

Molex 莫仕汽车与创新解决方案事业部总裁兼公司高级副总裁 Scott Whicker 表示：“新款 eHV60 与 Molex 莫仕范围更广泛的汽车产品组合保持一致，旨在增

[www.molexces.com](http://www.molexces.com)

## 业界首款电源配置工具



全球领先的电子元器件和自动化产品分销商 DigiKey 日前推出了业界首

款电源配置工具，简化了电源解决方案的设计过程。

使用 DigiKey 全新的在线电源配置工具，帮助工程师、设计师和系统集成商节省时间，加快设计过程。

这款直观的在线工具专为工程师、设计师和系统集成商开发，通过快速选择输出、电压、电流等关键属性，即可定制

生成满足用户需求的电源解决方案。配置一经完成，所定制电源便可在数日内完成组装并直接发货。这款配置工具是 DigiKey 高性能、可靠的网站上提供的—项重要服务，支持快速、准确地筛选和采购电源解决方案，让设计、定制和订购合适的电源解决方案比以往更加轻松。

[www.digikey.cn](http://www.digikey.cn)

## 新型散热封装技术提升高功耗应用能效



安森美宣布推出采用行业标准

T2PAK 顶部冷却封装的 EliteSiC MOSFET，为汽车和工业应用的电源封装技术带来突破。这款新品为电动汽车、太阳能基础设施及储能系统等市场的高功率、高电压应用提供增强的散热性能、可靠性和设计灵活性。

安森美采用 T2PAK 封装的 650V 和 950V 最新 EliteSiC MOSFET 系列，

将公司业界领先的碳化硅技术与极具创新性的顶部冷却封装相结合。首批器件已向主要客户发货，安森美计划于 2025 年第四季度及之后推出更多产品。通过在 EliteSiC 系列全面采用 T2PAK 封装，安森美为汽车与工业客户提供了强有力的新选择，满足其在严苛高压应用中对效率、紧凑性和耐用性的需求。

[www.onsemi.cn](http://www.onsemi.cn)

## 数字功率监测器实现便携式设备测量功耗减半



安森美宣布推出采用行业标准电池供电设备和能源受限的应用必须在其自身不造成额外电能浪费的前提下，准确跟踪和

监测功耗。为解决这一难题，Microchip Technology（微芯科技公司）宣布推出两款数字功率监测器——PAC1711 和 16 位 PAC1811 功率监测器分别采用 8 引脚和 10 引脚的极薄双扁平无引线（VDFN）封装，其引脚和封装尺寸与广受欢迎的小外形晶体管 SOT23-8 封装兼容。这种兼容性不仅为开发人员简化了第二供货源（second-sourcing）选择，还有助于简化现有系统的升级和集成。

[www.microchip.com](http://www.microchip.com)

## 广告索引

Hitachi Energy  
日立能源

07

Mitsubishi Electric  
三菱电机

封二

SwissSEM  
赛晶亚太半导体

封三

LEM electronics  
莱姆电子（中国）有限公司

09

PwrDriver  
落木源电子

目录

WeEn Semi  
瑞能半导体

11

Micro Crystal  
瑞士微晶

33

Semikron Danfoss  
赛米控丹佛斯

封底

**创新研发 国际精品**

# IGBT、SiC 芯片及模块



IGBT 芯片

1200V/100A, 150A, 200A  
1200V/250A, 300A  
1200V/750A, 100A, 150A, 200A



IGBT 模块

1200V/450A, 600A  
1200V/750A, 900A  
1200V/450A, 600A, 800A



ST 侧板 IGBT 模块

1200V/200A, 250A, 300A  
1200V/400A, 600A, 800A  
1200V/300A, 300A, 450A, 600A



BEVD 侧板 IGBT 模块

1200V/400A, 500A  
1200V/750A, 1000A



EP 侧板 IGBT 模块

1700V/75A, 100A  
1700V/250A, 350A



SiC 芯片

1200V/12mΩ, 13mΩ  
1400V/15mΩ



HEV 侧板 IGBT 模块

1200V/2mΩ, 3mΩ, 4mΩ



EVD 侧板 IGBT 模块

1200V/2mΩ, 3mΩ, 4mΩ  
1200V/600A



FP 侧板 IGBT 模块

1050V/750A



TF 侧板 IGBT 模块

1700V/75A, 100A, 150A



赛晶科技股份有限公司  
地址：北京市海淀区文光庄工业区6号院6号楼B座6层  
电话：010-68301111  
网址：[www.sunking-tech.com](http://www.sunking-tech.com)

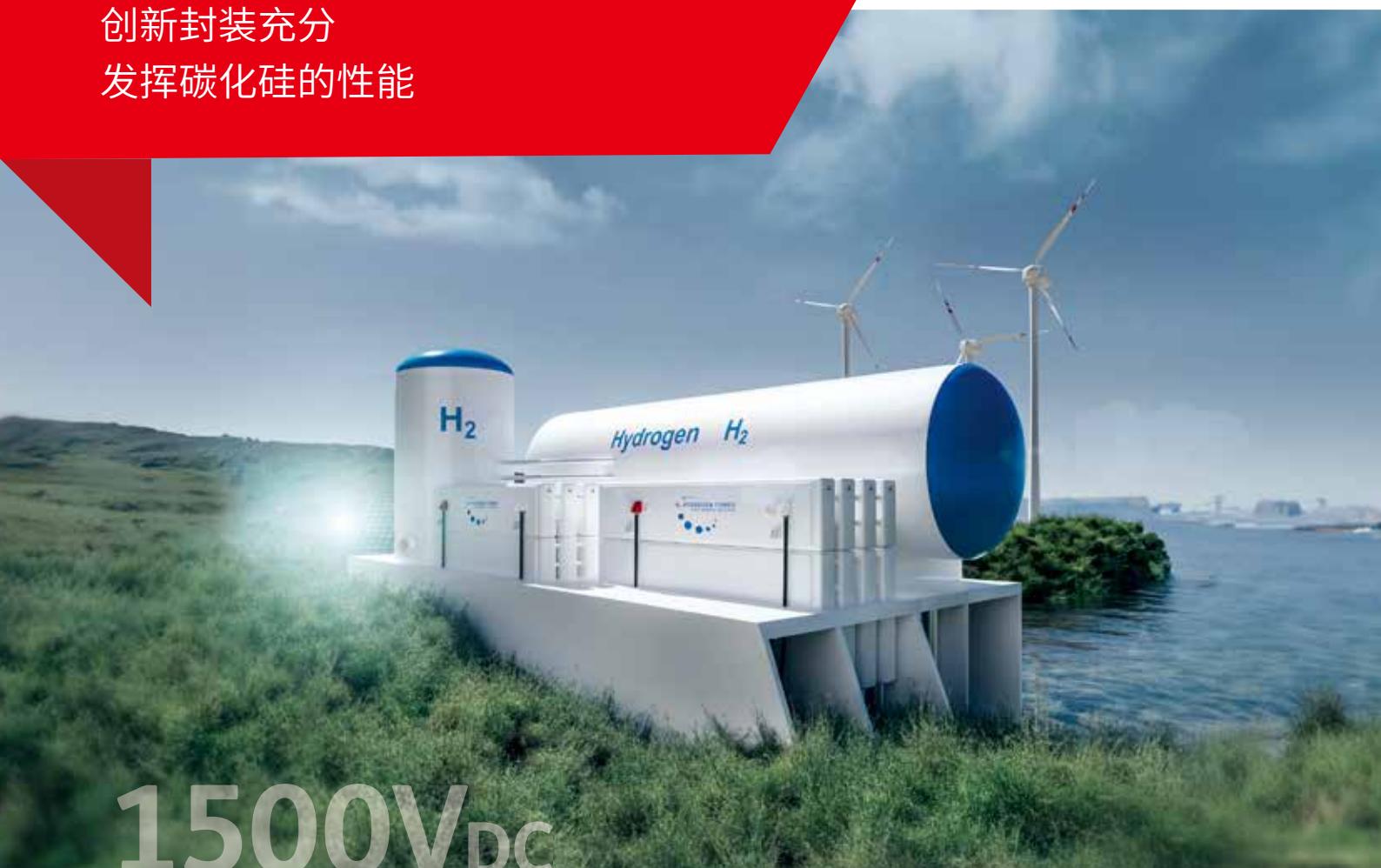
赛晶亚太半导体科技(浙江)有限公司  
地址：浙江省海盐县西塘工业区南环路333号  
电话：0572-66181000  
网址：[www.apsemic-zj.com](http://www.apsemic-zj.com)



赛晶科技(苏州)有限公司

# 覆盖您的需求

创新封装充分  
发挥碳化硅的性能



# 1500V<sub>DC</sub>

赛米控丹佛斯推出了一系列功率模块和智能功率模块，采用了最新的2kV SiC。SEMITOP E2、SEMITRANS 3和SEMITRANS 20助您灵活开发变换器。SKiiP 4 SiC集成了功率模块、驱动电路、电流传感器和散热器。无论您选择哪种解决方案，都能覆盖您的需求。

超越标准封装的  
卓越性能

## SEMITOP® E2

2kV SiC  
100kW至215kW



最新技术结合  
经典封装

## SEMITRANS® 3

2kV SiC  
200kW至400kW



工业标准功率模块  
高功率密度

## SEMITRANS® 20

2kV SiC  
500kW至2MW



缩短上市时间  
智能功率模块

## SKiiP® 4 SiC

配备2kV SiC芯片  
500kW至2MW



Silicon Carbide

