

Bodo's 功率系统®

Bodo's Power Systems®

Electronics in Motion and Conversion

2026年5/6月 · May/June 2026



SwissSEM

创新研发 国际精品

IGBT、SiC 芯片及模块

应用领域：光伏、风电、储能、输配电、电动汽车、大功率马达驱动、UPS



IGBT芯片组

1050V/150A
1200V/100A、150A、200A
1200V/250A、300A
1700V/75A、100A、150A
1700V/200A、300A



ED封装IGBT模块

1200V/450A、600A
1200V/750A、900A
1700V/450A、600A、900A



ST封装IGBT模块

1200V/200A、250A、300A
1200V/450A、600A、800A
1700V/200A、300A、450A、600A



BEVD封装IGBT模块

1200V/400A、500A



EP封装IGBT模块

1700V/75A、100A
1700V/150A、200A



SiC芯片

1200V/ 12mΩ、13mΩ
1400V/ 15mΩ



HEEV封装SiC模块

1200V/ 2mΩ、3mΩ、4mΩ



EVD封装SiC、IGBT模块

1200V/ 2mΩ、3mΩ、4mΩ
1200V/ 600A



FP封装IGBT模块

1050V/650A



TF封装IGBT模块

1700V/75A、100A、150A



赛晶科技集团有限公司
地址：北京顺义区空港工业区B区裕华路空港融慧园9-A
电话：010-56301111
网址：www.sunking-tech.com

赛晶科技微信公众号

赛晶亚半导体科技(浙江)有限公司
地址：浙江省嘉善县惠民街道官吉路58号
电话：0573-84819888
网址：www.swiss-sem.com



赛晶半导体微信公众号



热情、好奇心与创造力 有什么共同之处?

答案就是: 您

无论您是学生、创客、改装达人、业余爱好者, 还是技术高手.....都拥有一种同样的创新精神——而正是这种精神, 为我们创造了一个更加美好的世界。

只要您能想的到, 我们就能帮您做的到, 一切尽在 digikey.cn

DigiKey 得捷

we get technical

DigiKey 是所有供应商合作伙伴的授权分销商。每日添加新产品。DigiKey 和 DigiKey Electronics 是 DigiKey Electronics 在美国及其他国家的注册商标。© 2026 得捷电子 (上海) 有限公司。
上海客服中心: 上海市长宁区长宁路1133号长宁来福士广场T1幢办公楼32层3202、3203、3205、3206单元 邮编: 200051



Bodo's 功率系统®

2026年5/6月 · 目录

主编寄语	05	作者: Jens Baringhaus、Steffen Beushausen、Klaus Heyers 罗伯特·博世有限公司 / Robert Bosch GmbH
新闻	06	
面对面	10	
碳化硅进入关键窗口: 一场关于效率、成本与产业重构的深度对话		作者: Frank Zhang, 应用工程师
蓝色产品	14	
1300V SiC 模块进入 205° C 时代800V 之上电驱再提密度		
绿色产品	16	
3.3kV SiC 模块直插 62mm 标准位把中压电网直接拉进 AI 机柜		
SiC	16	
2 kV SiC 功率模块重塑1500 V 系统		
作者: Semikron Danfoss 技术团队		
SiC MOSFET	19	
面向汽车应用的先进 SiC 沟槽栅 MOSFET 技术		
电源管理	22	
简单制胜——第四部分: 高效主动均衡背后的算法		作者: Frank Zhang, 应用工程师
GaN	26	
基于 GaN-on-Si 集成电路的功率变换		作者: Efficient Power Conversion / EPC, CEO 兼联合创始人 Alex Li dow
热管理	30	
下一代功率电子中的温度感知		作者: YAGEO Nexensos 公司创新与运营管理 Christoph Nick
新产品	34	
广告索引	38	

54年电量测量解决方案专家

莱姆电子新一代集成式电流传感器

GXL AN汽车级大电流、超低内阻传感器

GXM AN汽车级高隔离封装传感器

GXM AT超快的TMR技术传感器

应用领域

工业自动化

家用电器

光伏逆变器

汽车电子

www.lem.com

DigiKey 是所有供应商合作伙伴的授权分销商。每日添加新产品。DigiKey 和 DigiKey Electronics 是 DigiKey Electronics 在美国及其他国家的注册商标。© 2026 得捷电子 (上海) 有限公司。
上海客服中心: 上海市长宁区长宁路1133号长宁来福士广场T1幢办公楼32层3202、3203、3205、3206单元 邮编: 200051





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.



当电力电子进入“千兆瓦时代”



沟槽 SiC MOSFET, 导通电阻较上一代再降约 25%, 将进一步释放车用 eAxle 与新一代充电桩的潜能。

把视角拉远, 可以看到一条更清晰的演化路径: 电压等级不断抬升, 开关频率不断加快, 集成度不断加深。当 800 V HVDC 在数据中心落地、900 V 在电动汽车平台成为新标准、3.3 kV SiC 模块走向工业与电网, 功率器件不再只是系统中的一颗元件, 而成为整套架构能否成立的前提。我们也看到, 越来越多的产品不再只是“晶体管”, 而是把驱动、保护、传感、通信封装在同一颗芯片上——本期收录的《下一代电力电子中的温度感知》与 EPC 创始人 Alex Lidow 撰写的《基于 GaN-on-Si 集成电路的功率变换》, 正是这一趋势的两个鲜明注脚。

千兆瓦不再只是电厂的计量单位, 它正成为单座 AI 数据中心、一条 800 V 高速走廊、一片海上风电场的日常刻度。在这个新尺度上, 每一焦耳损耗的削减、每一立方厘米功率密度的提升, 都会以前所未有的方式被放大。

如果说三年前 AI 还只是数据中心的新一类负载, 那么 2026 年的当下, AI 已经反过来开始重塑整张电网与每一颗功率器件。

本期杂志付梓之际, PCIM Europe 2026 正在纽伦堡拉开帷幕。在这场被誉为电力电子风向标的展会上, 几乎所有头部厂商都把焦点对准了同一个关键词——800 V HVDC 数据中心架构。Navitas 现场展示了一块 20 kW 的 800 V → 6 V GaN 直驱方案, 峰值效率 97.5%, 彻底绕过了沿用十余年的 48 V 中间总线; 英飞凌、瑞萨、意法半导体、EPC 也几乎同期发布了各自的 800 V → 12 V / 800 V → 6 V DC/DC 平台。IDTechEx 在 6 月 3 日发布的最新研究中明确指出: HVDC 将让单机架的可承载功率提升一个数量级, AI 数据中心的供电范式正在被改写。

驱动这场跃迁的, 依然是宽禁带半导体的持续突破。SiC 在 800 V 母线、固态变压器 (SST) 与固态断路器 (SSCB) 中扮演主力, Wolfspeed 已经把 300 mm SiC 推向了下一代 HPC 异构封装中的中介层; GaN 则凭借更高的开关频率与功率密度, 从 AC/DC PSU、hot-swap eFuse 一路渗透到机架内 DC/DC。三菱电机于本期出样的第五代

绿色贴士:

请优先使用电子资料, 减少纸张浪费; 离开会议室时随手关灯, 并将垃圾分类投放。让我们一起为环保出一份力。



扫描二维码或搜索微信号 "dlz360" 即可添加

PCIM 2026 纽伦堡开幕 AI 与数据中心专区首登场



全球功率电子年度盛会 PCIM Europe 2026 由 Mesago Messe Frankfurt 主办，于 6 月 9—11 日在德

国纽伦堡会展中心举行，吸引来自 40 多个国家的 650 余家展商。本届大会聚焦 SiC、GaN 与高压直流配电三大主线，新设立的「AI 与数据中心电源」专题舞台成为最大亮点，反映出生成式 AI 算力扩张对功率半导体的强劲拉动。同期举办的学术会议收录 380 余篇论文，覆盖宽禁带器件封装、800V HVDC 架构、车规驱动模块、磁集成与数字控制等方向。展会还首次将「双向 GaN 开关」「3.3kV SiC 模块」「204℃ 高温电驱」三类新

品列入年度奖项评选，标志着这些技术从研发走向规模应用。中国厂商参展数量同比增加约 20%，在 SiC MOSFET、GaN HEMT 与功率模块领域形成可见的并肩之势。

<https://pcim.mesago.com>

SiC 龙头组建专项团队 全力切入数据中心电源



为抓住 AI 算力中心对高效率电源的爆发式需求，美国 SiC 头部供应

商 Wolfspeed 新设「数据中心解决方案」事业部，专门服务超大规模云厂商及 OEM 系统集成商。新团队由资深电源系统架构师领衔，负责将 Wolfspeed 1200V/1700V SiC MOSFET 与模块对接 800V HVDC 母线、固态变压器 (SST) 和机架级 DC-DC 应用，并提供从器件到拓扑、再到系统级仿真的一站式参考设计。Wolfspeed 表示，数据中心已成为其继电动汽车之后的第二大战略市场，未来三年相关营收占比有望突破 20%。这一举措也

呼应了 NVIDIA 提出的「800V 直流数据中心」愿景，预示着 SiC 在 AI 配电链条中的角色正从次级走向主干。

www.wolfspeed.com

GaN 直驱方案进入 NVIDIA AI Factory 生态



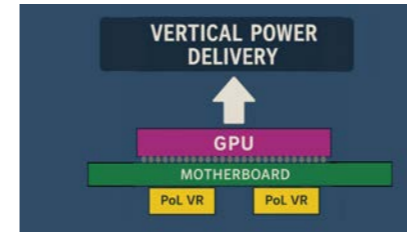
在 Computex 2026 期间，美国 GaN 厂商 Navitas Semiconductor 推

出的「800V → 6V」单级 DC-DC 演示板首次进入 NVIDIA MGX 参考平台展示区。该方案采用 GaN 高频开关与平面磁件集成，使机架内电压一步降至 GPU 输入端，省去传统 48V 中间母线，整链路效率提升约 1.5 个百分点，配电铜耗减少近 30%。NVIDIA 在主题演讲中明确将「高压直流 + 宽禁带功率级」列为下一代 AI Factory 的标配架构，并邀请多家功率半导体厂商加入 MGX 生态。业界普遍认为，800V HVDC 与 GaN 直驱组合将

在 2026—2027 年率先于训练集群落地，并向推理与边缘场景延伸，重塑数据中心供电拓扑。

www.navitassemi.com

15 亿美元收购集成稳压器企业 强化 AI 供电布局



5 月 19 日，全球模拟与混合信号巨头 Analog Devices (ADI) 宣布以约 15 亿美元现金方式收购硅谷集

成稳压器 (IVR) 创新企业 Empower Semiconductor。Empower 掌握业界领先的高密度横向电感与裸片内嵌磁件工艺，可在 AI 处理器封装基板下方直接集成 200A 级供电模块，显著缩短 PDN 路径、降低纹波与瞬态压差。交易完成后，ADI 将其纳入电源管理事业部，与已有 μ Module 产品线协同，瞄准 AI GPU、ASIC 与高端 CPU 的近核供电市场。市场分析机构指出，本次交易是 2026 年迄

今功率半导体领域规模最大的并购之一，反映出大厂正以资本手段争夺「AI 算力心脏」的核心电源 IP，竞争焦点从外置电源向封装级供电深度迁移。

www.analog.com

Tier 1 加码 SiC 供应链 锁定车规长周期产能



面对全球电动车 SiC 主驱模块需求持续放量，美系大型汽车 Tier 1 供应商 BorgWarner 宣布对其北美 SiC 衬

底与外延合作伙伴 Wolfspeed 进行新一轮股权投资，并签署延伸至 2030 年的长期供货协议。投资资金将用于扩产 8 英寸 SiC 衬底，并支持新一代低缺陷外延工艺研发，以满足 800V 平台对低 RDSon、强短路耐量器件的严苛要求。这是 BorgWarner 近两年第三次在 SiC 价值链上游布局，公司将其定位为「电动化转型期最具战略意义的物料锁定动作」。业界普遍解读为：在 SiC 衬底价格短期承压、长期紧缺并存的背景下，掌

握源头产能比单纯采购器件更具竞争壁垒，车企与 Tier 1 的「垂直整合」趋势将进一步深化。

www.murata.com.cn

HITACHI

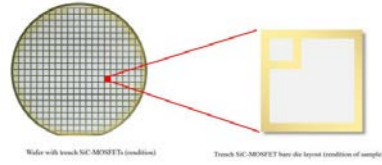
碳化硅RoadPak™ - 功率密度的新高度

无论是乘用车高扭矩的需求，电动大巴和电动卡车高效充电的需求，还是机车变频器小的封装体积的需求，日立能源新一代碳化硅功率半导体模块都是最佳选择。

hitachienergy.com/semiconductors



第五代 SiC MOSFET 裸片量产 直击 xEV 主驱



6 月 4 日，日本功率半导体厂商 Mitsubishi Electric (三菱电机) 宣布

其第五代 SiC MOSFET 裸片正式向车企与模块封装伙伴开始样品交付，并将于 2026 财年内进入量产。新一代芯片在 1200V 与 750V 两个电压平台同步推出，导通电阻较上一代下降约 25%，开关损耗同步降低 20%，并采用强化型栅氧工艺将栅极阈值漂移寿命延长一倍以上。器件配套定义了主驱专用的 17V 推荐栅压窗口与短路 3μs 耐量，满足 800V 平台与 ASIL-D 安全等级要求。

Mitsubishi Electric 同步公布了与多家欧系与日系车企的长期框架协议，目标是在 2027 年实现新一代芯片在自家车规模块出货量的过半占比。

www.mitsubishielectric.com

欧盟批准 6600 万欧元援助 建超纯 SiC 源材料基地



5 月下旬，欧盟委员会依据《关键原材料法案》框架，批准德国向超纯 SiC 源

材料初创企业 PSC (Pallidus / 类似定位的德国 SiC 源材料厂商) 提供约 6600 万欧元的国家援助，用于在德国中部建设新一代 SiC 粉体与衬底前驱物工厂。新工厂计划 2027 年投产，年产能可支撑欧洲约 30 万片 8 英寸 SiC 衬底的源材料需求，将显著降低本土 SiC 产业链对北美与亚洲粉体供应的依赖。该项目同时获得欧洲投资银行贷款配套，被视为欧盟「芯片法案」

与「关键原材料法案」首批落地案例之一。业内人士指出，源材料纯度是 SiC 衬底缺陷率与外延良率的核心瓶颈，欧洲此举意在补足产业链最上游短板，为车规与工业级 SiC 模块的本地化供应奠定基础。

www.commission.europa.eu

AI 数据中心测试需求拉动 GaN 测试设备订单破 500 万美元



全球半导体测试设备供应商 Cohu 近日披露，已获多家功率器件厂商超过 500 万美元的 GaN 功率器件批量测试系统订单，全部用于 AI 数据中心相关产品的量产前后段测试。订单覆盖 100V、650V 与新一代 1250V 高压 GaN HEMT，配套测试方案包含动态导通电阻、热阻、雪崩耐量与可靠性筛选等关键项目。客户反馈称，AI 服务器电源对 GaN 器件参数一致性与失效率要求显著高于消费电子，需要在量产线全面引入高速参数化测试与老化筛选。Cohu 表示，这是公司 GaN 测

试业务首次出现单季度订单破纪录的增长，预示宽禁带功率器件正进入「严苛量产质量」新阶段。

www.cohu.com

印度首批本土 GaN 功率器件上市 借力第二货源策略

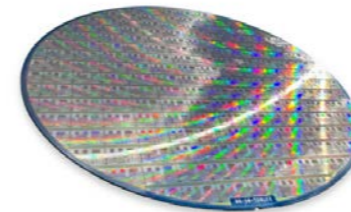


印度本土系统级方案厂商 Cyient Semiconductor 推出印度首款本土品牌 GaN 功率器件家族，覆盖 100V 与 650V 两个电压档，目标应用于快充、电信电源与工业 DC-DC。器件设计与晶圆制造由美国 GaN 头部企业 Navitas Semiconductor 作为「第二货源」合作支持，封装与测试落地印度本地厂房。这一安排既帮助印度构建宽禁带功率器件的本土供应能力，也为 Navitas 提供了对冲产能与地缘风险的弹性能。印度政府将该项目列入「半导体使命」重点扶持名单，并在补贴、税收与采购方面给予倾

斜支持。业内认为，此举有望使印度在 GaN 功率器件领域跳过传统 IDM 重资产路径，依托 fabless + 合作代工模式实现快速起步。

www.cyient.com

韩系巨头调整 GaN 战略 从自研器件转向代工服务



据多家行业媒体报道，韩国半导体巨头 Samsung Electronics (三星电子) 已对其 GaN 功率器件业务进

行战略调整，宣布暂缓自有品牌 GaN HEMT 产品的对外销售，将相关 6/8 英寸 GaN-on-Si 产线转型为面向第三方设计公司的代工服务。Samsung 内部评估认为，GaN 功率器件下游应用碎片化、定义周期长，自营销售难以快速形成规模效益；而其强大的硅基 CMOS 制造经验与产能调度能力，更适合切入 fabless GaN 设计公司的代工需求。新战略已与多家欧美 GaN 设计企业达成初步合作意向，

覆盖消费快充、数据中心与工业电源等方向。此举被视为 GaN 产业链分工进一步细化的标志性事件，「设计—代工」模式有望在功率半导体领域加速复制。

www.semiconductor.samsung.com

欧美厂商联手开发 AI 数据中心专用功率器件



瑞典宽禁带技术公司 Silvers Semiconductors 与美国大型半导体代

工厂 GlobalFoundries (GF) 签署战略合作，双方将基于 200mm GaN-on-Si 平台共同开发面向 AI 数据中心 800V HVDC 架构的中高压 GaN 功率器件。合作内容涵盖工艺定义、器件可靠性验证以及与下游电源系统厂商的联合参考设计。Sivers 提供器件结构与可靠性工程能力，GF 提供成熟的硅基制造平台与汽车级品质体系，双方计划在 12—18 个月内完成首批样品交付。市场研究机构预测，AI 数

据中心 GaN 功率器件市场到 2030 年将突破 25 亿美元规模，本次合作意在抢占该窗口。业界普遍认为，宽禁带器件正在从「快充明星」转向「算力基础设施核心元件」，欧美产业链协同将进一步加深。

www.sivers-semiconductors.com

碳化硅进入关键窗口： 一场关于效率、成本与产业重构 的深度对话

当电动汽车、AI 基础设施与新型电力系统同时迈入高效率、高功率密度和高可靠性的竞争阶段，碳化硅正在从少数高端应用中的技术选项，转变为支撑能源转型的关键底层能力。

中国市场以全球领先的电动汽车规模、快速扩张的可再生能源部署，以及加速建设的数字基础设施，成为这场产业演进中最具代表性的观察窗口。

在本次专访中，Wolfspeed 大中华区总裁于代辉围绕全球战略、本地化布局、SiC 产业趋势、系统级设计挑战以及 Si、SiC、GaN 的技术分工展开分享。与其说这是一场关于单一企业战略的对话，不如说它呈现了碳化硅产业进入新周期后，技术、市场和供应链正在共同发生的结构性变化。

作者：Bodo's 功率系统杂志编辑部



图一：于代辉，Wolfspeed 大中华区总裁

于代辉在采访中强调，大中华区是 Wolfspeed 全球战略最重要的重心区域之一。支撑这一判断的，不只是市场规模本身，更包括公司在本地建立专职领导团队、赋予完整商业责任，并以长期伙伴关系替代短期交易关系的组织投入。这样的表述背后，反映出—

大中华区正在从增长市场走向战略重心

在全球功率半导体竞争格局中，大中华区的角色正在发生变化。它不再只是终端需求快速扩张的区域市场，而是集合了电动汽车、可再生能源、电网升级、工业自动化和 AI 基础设施等多重应用场景的产业交汇点。对于 SiC 企业而言，这意味着市场判断不能停留在“销售区域”的层面，而必须上升到技术验证、客户共创和长期生态建设的层面。

个更现实的趋势：在中国市场，供应商与客户之间的关系正在从“器件采购”走向“系统级协同”。

“未来不应是交易型的供应商 - 客户关系，而应是与中国领先的 OEM 厂、器件制造商、系统集成商和电网运营商建立深入的、多年的合作伙伴关系。”

这一判断对于当前的 SiC 产业尤为关键。随着应用场景进入 800V+、中高压电网、AI 数据中心供电等更复杂的系统环境，客户需要的不只是单颗器件参数，而是对热管理、电磁兼容、可靠性、设计周期和系统成本的综合支持。谁能够更早、更深地进入客户设计流程，谁就更有可能在下一轮技术平台切换中占据主动。

供应链重构下，本地化成为长期信任的一部分

全球供应链重构和地缘政治不确定性，正在改变半导体企业的全球布局逻辑。对于功率半导体企业而言，全球化能力仍然重要，但本地化响应速度、供应链韧性和客户协同效率正在变得同样重要。于代辉提到，公司将秉持“在中国，为中国”的理念推进本土供应链相关行动，这一表态释放的信号十分明确：本地化并不是简单的市场口号，而是穿越行业周期、建立客户信任的基础设施。

在一个高度竞争且快速变化的市场中，信任往往不是由单次合作建立的，而是在每一次供需波动、价格变化、技术迭代和商业危机中被持续检验。对于中国客户而言，可靠交付、快速响应和长期承诺，正在与技术领先共同构成供应商选择标准。

三波应用浪潮同时推进，中国市场成为 SiC 需求密度最高的关键市场

如果说过去 SiC 的规模化应用主要由电动汽车牵引，那么未来 5 到 10 年，产业增长将呈现更加多元的结构。于代辉将其概括为三波浪潮：电动汽车已经具备规模基础，工业与 AI 基础设施正在加速，电网与能源则代表最大的长期机遇。值得注意的是，在许多市场，这三类需求可能依次出现；但在中国，它们正在同时发生。



图二：电动汽车高压平台推动 SiC 在主驱逆变器、车载充电等场景加速渗透

第一波浪潮来自电动汽车。随着 800V 高压平台持续推进，SiC 在主驱逆变器、车载充电和高功率快充等场景中的价值进一步凸显。它带来的不仅是更高效率，也包括更低热损耗、更小系统体积和更优整车能耗表现。对于中国这样拥有庞大电动汽车产业链和终端市场的地区而言，SiC 的规模化采用具备天然的应用基础。

第二波浪潮来自工业与 AI 基础设施。AI 数据中心的能耗与供电架构正在快速演进，高压直流母线、功率转换效率和系统可靠性成为新的关键议题。SiC 在更高电压、更高功率密度场景中的优势，使其有机会从传统新能源和汽车领域进一步进入数字基础设施底层。



图三：电网现代化、可再生能源和储能系统为 SiC 打开长期应用空间

第三波浪潮则来自电网与能源系统。随着地面电站太阳能、储能、电网现代化和高压直流输电需求上升，功率器件正在面对更高的电压等级、更复杂的并网环境和更严格的长期可靠性要求。SiC 的价值在这里不再局限于局部效率提升，而可能进一步影响电力系统的架构选择。

真正的竞争焦点，不是器件价格，而是系统价值

当前 SiC 行业不可避免的现实，是价格竞争正在加剧。随着更多厂商进入市场，客户对成本下降的期待不断提高，一些讨论也开始将 SiC 从“性能驱动”转向“成本驱动”来理解。但于代辉并不认同这种简单划分。他认为，SiC 本质上仍将是性能驱动的市场，变化的不是技术的核心驱动力，而是性能的可持续性。

这一观点提供了理解 SiC 商业化的关键视角：真正重要的成本，不是单颗器件的 BOM 成本，而是系统层面的总拥有成本。当 SiC 能够显著降低开关损耗、减少散热需求、缩小冷却硬件、提升系统寿命时，性能优势最终会以财务语言体现出来。换句话说，客户购买的不是“更便宜的替代品”，而是能够改变系统设计边界的技术能力。

“一个技术导向的客户选择 SiC，是因为它能做不同的事，而不是因为花不同的钱做同样的事。”

这也解释了为什么单纯价格战可能会伤害行业长期发展。如果极端价格竞争削弱企业持续创新和规模降本能力，需求放量反而可能被推迟。对于 SiC 产业而言，更健康的增长路径应当建立在性能提升、系统验证、客户价值和规模化制造之间的正向循环之上。

800V+ 时代，系统级能力成为技术领导力的新定义

随着 800V+ 架构进入更多电动汽车、工业和能源应用场景，SiC 面临的挑战已经不只是器件本身的性能指标，而是整个电源系统如何被重新设计、集成和验证。于代辉将这一问题归纳为三个关键词：耐久性、效率和系统成本。

更高耐久性意味着更少的现场故障、更低保修成本和更长系统寿命；更高效率意味着更少热量、更小冷却系统和更高续航或能源利用率；更低系统成本则决定 SiC 能否进入更广泛的应用场景。三者并不是简单取舍，而是在高压 SiC 系统中相互强化。

这也意味着，未来 SiC 企业的竞争将不再只是材料、芯片或封装单点能力的竞争，而是平台化技术、应用工程、本地客户支持和可靠性验证能力的综合竞争。谁能够将器件性能转化为系统优势，谁才真正拥有面向客户的技术领导力。

Si、GaN 与 SiC：不是替代关系，而是技术分工

在宽禁带半导体快速发展的背景下，Si、GaN 与 SiC 的关系常常被简化为“竞争”或“替代”。但从产业应用角度看，更准确

的理解是技术分工。Si 仍将继续服务于大量成熟、成本敏感且不需要极限性能的场景；GaN 在 30V 到 650V 的中低压高频应用中具备突出优势；SiC 则更适合高功率、高电压和高可靠性要求的场景。

这种分工并不削弱 SiC 的价值，反而使其定位更加清晰。随着电动汽车、电网、储能、工业和 AI 基础设施对效率与可靠性的要求持续上升，SiC 的“高端场景”正在不断扩大。它不必覆盖所有功率电子应用，但在高压、高功率、低损耗和长寿命要求最严苛的场景中，SiC 的技术价值将越来越难以被替代。

“我没有看到竞争。我看到的是一个结构优美的分工，每种技术服务于它为之而生的应用。”

SiC 的下一阶段，是系统价值的竞争

从大中华区定位到三大应用浪潮，从供应链本地化到系统总拥有成本，再到 Si、GaN 与 SiC 的技术分工，于代辉的观点指向同一个结论：SiC 的未来并不只是单一器件的成本竞争，而是围绕效率、可靠性、系统架构和长期伙伴关系展开的综合能力竞争。

对于中国市场而言，这一趋势尤其明显。这里既有全球最大的电动汽车市场，也有快速增长的可再生能源、电网升级、储能和 AI 基础设施需求。高密度的应用场景会带来更激烈的竞争，也会倒逼技术、制造和服务能力持续升级。能够把技术创新、本地响应与长期信任真正结合起来的企业，将更有机会在下一轮电力电子产业周期中占据主动。

www.wolfspeed.com

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、工程技术人员诚证稿件。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。

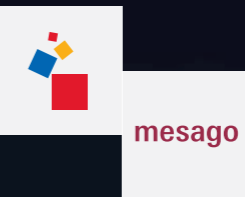
投稿作者请提供详细的作者联系信息，如工作单位名称、电话、通讯地址、邮箱等，以方便联系。

投稿邮箱 BPSC@i2i-m.com.cn，
投稿时，请在邮件主题栏注明“投稿”字样！

pcim
ASIA SHENZHEN

26 – 28.8.2026

Shenzhen World Exhibition and
Convention Center, Shenzhen, China
中国·深圳
深圳国际会展中心（宝安新馆）



欢迎来到PCIM Asia Shenzhen 2026

PCIM Asia Shenzhen — 深圳国际电力元件、可再生能源管理展览会暨研讨会是PCIM Expo & Conference 在亚洲地区的姐妹展。自2002年在中国首办以来，迄今仍是中国市场少有的专注于电力电子领域及该技术在国家电网、工业、轨道交通、智能运动及电动车技术应用解决方案的专业商贸平台。

会议与展览会的完美结合，从而成为连接业界与科研成果的纽带，而这也正是PCIM Asia Shenzhen 的特色所在。行业及学术界专业人士将于展会上首发最新研究成果，分享行业发展趋势，使其成为一个涵盖组件、驱动控制、散热管理及终端智能系统的全方位展示平台，向业界人士呈现一条完整的产业价值链。

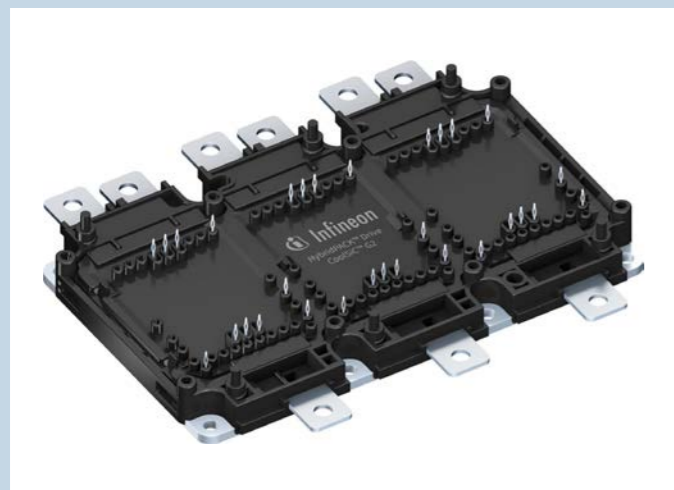
今年8月，我们期待与您在深圳相见



messe frankfurt

1300V SiC 模块进入 205°C 时代 800V 之上电驱再提密度

电驱加速向 900V 以上母线迁移，主驱逆变器对功率器件提出两条同时变严的要求：更高阻断电压裕量与更高持续结温能力。英飞凌科技新发布的 SiC 模块在沿用 HybridPACK Drive G2 标准外形的前提下，把阻断电压提升至 1300V，并把持续工作结温拉到 205°C。



低冷却复杂度——更小水道、更薄鳍片、更少冷却液流量，对应整车更轻、BOM 更低、能效更高。

三、Drop-in 兼容，跳过重新认证。新模块保持系列既有外形、底板、爬电、PressFIT 端子与温度反馈接口。OEM 与 Tier 1 可在原有逆变器机械结构、母排、驱动板与控制策略基本不变的前提下完成升级，避免重走 AQG324 与系统级认证，是已量产平台延寿升级的现实路径。

关键技术细节

- 芯片：第二代 CoolSiC 沟槽栅 MOSFET，1300V，低 RDS(on)、低开关损耗；
- 封装：HybridPACK Drive G2 标准外形，PinFin 直接液冷底板，PressFIT 端子；
- 可靠性：4.2kV DC 1s 隔离、AQG324 车规、温度循环能力提升；
- 集成度：内置二极管温度传感器，便于实时结温估算与过温保护；
- 路线图：205°C 能力将逐步外延至同家族现有 1200V SiC 模块，是平台化升级而非单点产品。

对行业的信号

1300V SiC + 205°C 在主驱模块层级跑通，把 "800V 平台的下一步" 从单纯比 RDS(on) 推回到系统层面——拼裕度、拼热设计、拼平台复用速度，是 2026 下半年主驱选型需重点跟踪的器件级动向。

www.infineon.com

产品定位

新品为 Sixpack (B6 桥) 结构，采用第二代 CoolSiC 沟槽栅 MOSFET 芯片，阻断电压 1300V，主芯片连续工作结温 $T_{vj,op} = 205^\circ\text{C}$ ，配 PinFin 直接液冷底板与 PressFIT 端子，模块自带二极管温度传感器与 4.2kV DC 1 秒隔离能力。首发型号面向 390A 级乘用车主驱以及中高功率商用车、工程机械、农机电驱平台，已投入量产。

三大设计意义

一、800V → 900V+ 母线的 "上一级电压裕度"。800V 平台在重载、回馈与瞬态过冲下，对器件实际阻断电压的要求已逼近 1200V SiC 的安全边界。1300V SiC 重新拉开降额裕度，使主驱在 900V 甚至 1000V 母线下仍有充分冗余，对应商用车长爬坡、快充直驱、双电机协同等场景。

二、175°C → 205°C 的结温红利。同样冷却条件下，结温上限提升 30°C，输出电流可较现有方案再提升最多 15%，直接转化为功率密度上升。在新平台中，205°C 能力也可反过来用于降

3.3kV SiC 模块直插 62mm 标准位 把中压电网直接拉进 AI 机柜

AI 算力扩张正在改写数据中心供电结构。传统 "中压交流 → 工频变压器 → 低压交流 → 整流 → 直流配电" 的多级链路，正在被 "中压交流 → 固态变压器 (SST) → 直流母线 → 机柜" 取代。要让 SST 进入主流，关键缺口正是 3.3kV 级、可直接装入 62mm 标准模块位的 SiC 功率模块。一款 5 月底量产的新品恰好补上这一缺口。



三、热设计与隔离同时拉满。采用氮化硅 (Si_3N_4) 陶瓷基板，热阻低、功率循环能力强；封装支持 6kV 隔离、CTI 600 等级材料并扩展爬电距离，允许中压系统中安全做器件串联。配合温度稳定的 RDS(on)，硬开关与软开关都能保持均衡损耗。

关键技术细节

- 工艺：mSiC MOSFET，3.3kV，RDS(on) 温度稳定性强；
- 封装：62mm (D3) 工业标准模块，半桥 / 共源两种结构，可选反并联肖特基二极管；
- 电流：覆盖 100 - 300A 主流应用段；
- 隔离与材料：6kV 隔离、CTI 600 外壳、扩展爬电距离、 Si_3N_4 基板；
- 设计支持：提供应用笔记、设计指南与仿真模型，加速 SST、中压电驱与高压电源的样机迭代。

对行业的信号

3.3kV SiC + 62mm 标准位是一个具体信号：AI 数据中心供电正在从 "机柜下游优化" 走向 "中压上游重构"，SST 不再只是论文里的拓扑，而是已有商用器件可以堆出来的工程方案。叠加同封装平台跨 700V 至 3.3kV，下一阶段 SST、兆瓦级充电与轨道辅助电源很可能出现 "同款 62mm 模块跨电压等级复用" 的趋势。

www.microchip.com

产品定位

Microchip 的 3.3kV mSiC 功率模块系列，集成 SiC MOSFET 与肖特基二极管，采用业界通用的 62mm (D3) 封装，提供半桥与共源两种拓扑，可选带或不带反并联肖特基二极管，覆盖 100 - 300A，已可量产订购。同一封装平台向下兼容 700V 至 1700V，便于多电压等级共平台设计。

三大设计意义

一、把 "中压直驱机柜" 做成现实。在 13.8kV / 34.5kV 配电网上做 SST，过去往往需把更低电压 SiC 模块多级串联，级数多、均压复杂、控制延迟与器件数量都成倍上升。3.3kV 模块把串联级数大致减半，SST 一次侧的拓扑、隔离与控制策略被显著简化，更易在数据中心层级落地。

二、补 100 - 300A 中段空白。这一电流段过去处在分立 SiC 与大功率模块之间的 "无人区"，客户要么并联多颗分立件、要么被迫使用尺寸过大的大模块。新品在 62mm 标准封装中直接提供 100 - 300A 选择，给中压电驱、兆瓦级重型车充电、轨道与重型运输辅助电源、工业与国防电源等场景一个 "可即插即用" 的中等功率台阶。

2 kV SiC 功率模块 重塑 1500 V 系统

最新 SiC 电压等级如何推动 1500 V 级逆变器的拓扑变革

凭借可靠性、成本与系统级价值的持续改善，阻断电压达 1700 V 的碳化硅 (SiC) 器件已在工业电力变换领域被广泛采用。如今，最新一代 SiC 芯片将阻断电压进一步推升至 2000 V，开启了新的可能性——以往需借助中压器件或多电平拓扑才能处理的直流母线电压，如今可被更轻松地驾驭。

最新一代 SiC 电压等级正在引领 1500 V 级逆变器的拓扑变革。凭借成熟的芯片技术、低开关损耗与标准化封装，2 kV SiC 功率模块将为可再生能源等众多应用注入新活力。

作者：Semikron Danfoss 技术团队

面向 1500 V 逆变器的器件需求

为降低直流电流并减小导体截面，许多应用纷纷提升直流母线电压。研究表明，在公用事业级光伏电站中，母线电压每提升 500 V 可将直流损耗降低约 0.4%，在电站全生命周期内可累计节省可观成本。与之密切相关的储能系统 (ESS) 也得益于新一代电池技术，可支持更高的工作电压。在欧洲与北美，受 EU/IEC/UL 标准约束，这一上限为 1500 V。

要构建可靠的 2 电平逆变器以支持该母线电压，所需器件的阻断电压必须高于当前常见的 1700 V。中压等级的硅基 IGBT (如 $V_{CES} = 3300\text{ V}$) 虽已商用多年，但现代可再生能源应用对效率有极为严苛的要求。此类中压硅基器件由于需要较厚的芯片以维持高阻断电压，开关损耗相对较高。这也是当前主流方案普遍采用 950 V 至 1200 V 阻断电压的硅 IGBT 构建 3 电平逆变器的原因。

相比之下，SiC 凭借更高的临界击穿电场强度，使 MOSFET 可比同等额定电压的硅 IGBT 制造得更薄。这正是众所周知的 "SiC 器件开关损耗远低于硅器件" 这一结论的物理基础。SiC MOSFET 的开关瞬态极快，将阻断电压从 1200 V 提升至 2000 V 仅带来开关损耗的边际增加。

这一特性至关重要：因为 3 电平逆变器输出电流中的等效纹波频率可高达半导体开关频率的两倍，所以采用 2 kV SiC 的 2 电平方案必须以 3 电平方案中 1200 V 硅器件开关频率的两倍运行 (见图 1)。

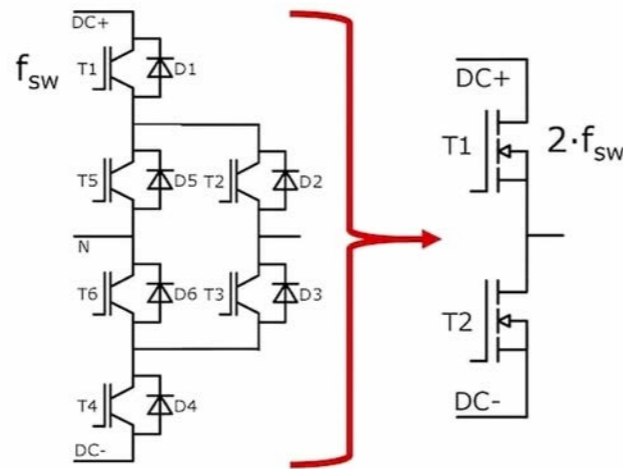


图 1: 1200 V Si 三电平与 2000 V SiC 二电平相桥臂方案对比

2 kV SiC 带来的系统级收益

以 1 MW 变换器为例，可清晰看到 2 kV SiC 功率模块所带来的占地面积削减。一台 1 MW、1500 V 直流、690 V 交流的三相 ANPC 逆变器，可由 9 颗 1400 A / 1200 V IGBT 半桥模块 (例如 SEMITRANS 20) 构成；在液冷方案与 2.5 kHz 开关频率下，散热器总占地约 2000 cm² (见图 2)。



图 2: 采用 2 kV SiC 功率模块带来的占地面积削减效果

同一台变换器若改用 3 颗 2 kV SiC 半桥模块、以 5 kHz 开关频率运行，输出端纹波频率可与原 3 电平方案保持一致。模块数量从 9 颗减至 3 颗，占地面积削减 66%。这不仅意味着更低的运输重量与更少的物料消耗，还带来效率的同步提升——半导体总损耗降低 40%。在本算例中，半导体效率较 3 电平方案提升 0.4%，在充电与放电模式下均超过 99%。

尽管 3 电平逆变器在现场应用中已被证明具备良好可靠性，但回归 2 电平方案后，由于电气元件数量减少，系统的计算失效率 (FIT) 也会得到改善——尤其是栅极驱动通道从 3 电平的 18 路减少至 2 电平的 6 路。同时控制策略也得以简化，无需再实施母线电压均衡算法。

新应用领域

除了替代独立式 ESS 中现有的 1500 V 拓扑外，2 kV 功率模块还为大功率电动汽车充电场景打开了新的应用空间。卡车与非道路车辆已率先迈入电池电压 1000 V 以上的时代。为缩短充电时长，所需功率往往超过电网可即时供给的水平——此时集成一套 1500 V 储能系统成为合理选择：ESS 充当能量缓冲池，通过 DC/DC 变换器将能量快速注入车辆电池。

当 DC/DC 拓扑需要电气隔离时，由于变压器需要较高工作频率，再叠加高电压要求，现有方案在初级侧通常采用 3 电平 SiC 拓扑。而 2 kV SiC 功率模块可将初级侧简化为 2 电平 H 桥 (见图 3)。为兼顾电动汽车充电中 "高压" 或 "大电流" 的多样化需求，输出侧仍可沿用经典的双 H 桥配置。

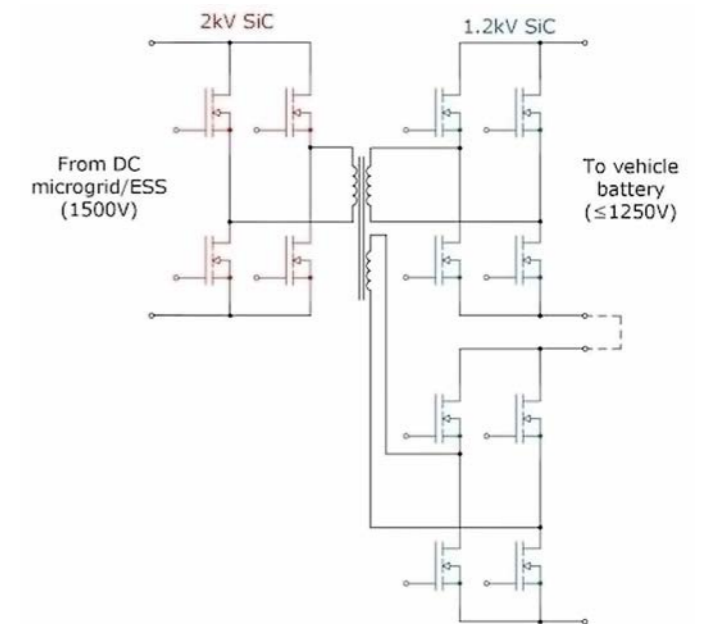


图 3: 隔离型双有源桥 (Isolated Dual Active Bridge) 拓扑

产品方案

Semikron Danfoss 已基于罗姆 (ROHM) 最新一代 Gen. 4 2 kV 碳化硅芯片，构建了完整的功率模块产品线 (见图 4)。该新一代芯片继承了此前 1200 V Gen. 4 SiC 的高可靠性与易驱动特性，同时将阻断电压提升至 2 kV。

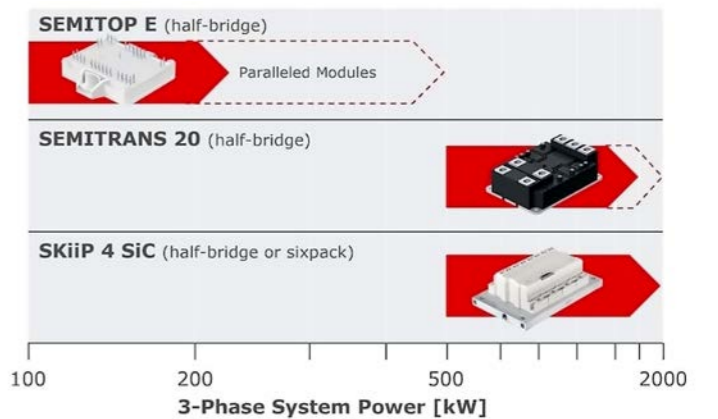


图 4: Semikron Danfoss 2 kV SiC 模块产品线

无基板 (baseplate-less) 的 SEMITOP E2 封装内置半桥电路，R_DS(on)_25C 提供 6.5 mΩ 与 4.3 mΩ 两种规格。后者在液冷条件下可 "每相一颗模块" 构建 200 kW 以上的三相变换器；即便在风冷方案下，每相单颗模块也可接近 150 kW。其 DC 与 AC 端子分置两侧的引脚布局便于并联——通过硬并联 (或交错并联) 方式，液冷三相变换器可拓展至 500 kW。PCB 安装

型 SEMITOP E2 尤其适合 UPS 系统、模块化 ESS 等模块化设计场景；其针栅布局可显著缩小回路面积，使换流电感低至仅 6 nH。所有模块均在产线末端经过 3800 V AC / 1s 的绝缘电压测试。

对于 500 kW 以上、直至数兆瓦级别的设计，全新工业标准 SEMITRANS 20 是首选方案。仅需四颗安装螺钉，模块内部即可容纳大尺寸芯片区——单颗 SEMITRANS 20 封装内集成了 2 kV MOSFET 半桥， $R_{DS(on)}_{25C}$ 低至 1 mΩ。尽管封装尺寸较大，得益于对称的内部布局，其典型换流电感仍仅有 10 nH。Semikron Danfoss 凭借多年的银烧结工艺经验，在芯片与基板之间提供了无焊连接方案，对功率循环寿命提升大有帮助。

SiC 器件的设计需要专门的工艺知识。独特的栅极驱动电压要求与高速开关特性要求驱动电路必须经过精心设计，方可避免振荡、EMI 乃至器件直接损坏；在数千安培级别的大功率场景下，这一要求尤为严苛。Semikron Danfoss 为此提供详尽的应用笔记与参考设计方案。

而对于追求最快上市时间的客户，集成驱动器、SiC MOSFET 与散热器的认证级智能功率模块——SKiiP 4 SiC IPM——可大幅缩短设计周期。它与成熟的硅 IGBT 版 SKiiP 4 IPM 在外形与功能集上完全一致，但内部已换装为最新的 2 kV SiC MOSFET，使用户可在不经历陡峭学习曲线的前提下，迅速享受新一代芯片技术带来的全部红利。该 IPM 支持半桥配置 1800 A 以上、六合一（sixpack）配置 900 A，足以构建紧凑高效的大功率变换器。

更为重要的是，SKiiP 4 SiC IPM 兼容多家厂商提供的 2 kV 芯片组——其数字驱动器可适配不同 SiC 芯片所需的多样化栅驱电压，从而为客户提供供应链层面的双重保障。借助烧结芯片连接与铝铜键合线，SKiiP 继续延续其作为“功率循环能力标杆”的传统。

www.semikron-danfoss.com

面向汽车应用的 先进 SiC 沟槽栅 MOSFET 技术

高性能与高可靠性的统一

SiC 沟槽栅 MOSFET 在开关损耗与导通损耗两方面均展现出卓越性能，但其器件设计需经过精细考量。博世推出的双沟道 SiC 沟槽栅 MOSFET 即是这一理念的典型范例。

作者：Jens Baringhaus、Steffen Beushausen、Klaus Heyers
罗伯特·博世有限公司 / Robert Bosch GmbH

沟槽（trench）架构的引入标志着 SiC 器件技术的一次重大跃迁。SiC 沟槽栅 MOSFET 凭借低开关损耗与低比导通电阻的优势，迅速成为牵引逆变器、车载充电机（OBC）以及 DC-DC 变换器等汽车级电力变换应用的理想选择。然而在早期阶段，由于平面型（planar）MOSFET 在栅氧可靠性方面更具优势，且制造工艺相对简单，业界一度认为其更适合车规应用。

时至今日，得益于器件设计与制造工艺的持续突破，SiC 沟槽栅结构在保持高性能的同时，其可靠性与良率已可与平面型器件比肩。因此，SiC 沟槽栅功率 MOSFET 已成为电动汽车各类高压系统的优选方案。

SiC 沟槽栅 MOSFET 的核心优势

随着更先进架构的逐步落地，SiC 沟槽栅 MOSFET 在性能和可靠性两方面都将超越平面型架构。其更小的元胞间距（cell pitch）能够带来更低的导通损耗与开关损耗，使沟槽栅架构更具竞争力。

博世是目前为数不多的能够在 SiC 沟槽栅 MOSFET 上同时实现高性能与高可靠性的厂商之一。

如图 1 所示，SiC 功率器件架构经历了从传统平面型到沟槽型，再到先进沟槽型的演进。博世自主研发的双沟道（dual-channel）沟槽设计可在每个元胞内形成两条电子沟道，相较单沟道架构，可将沟道电阻在总导通电阻中的贡献近乎减半。

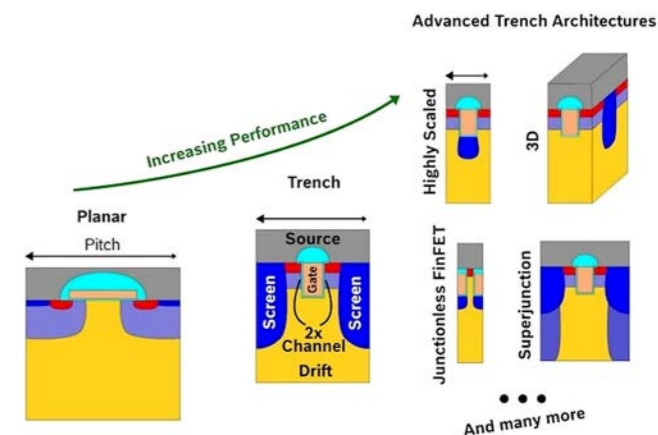


图 1: SiC MOSFET 器件架构的发展演进

在电动汽车常用的 750 V 与 1200 V 电压等级下，沟道电阻是导通电阻中最关键的组成部分之一，因此充分利用沟道面积可带来显著的性能收益。

未来，先进沟槽架构将通过进一步缩小元胞间距、提高沟道密度来继续降低沟道电阻，同时针对 JFET 区与漂移区电阻进行优化。关键技术趋势包括：超窄间距设计、通过将 P 型接触区与屏蔽区拓展至三维方向所形成的立体结构、无结型 FinFET 架构以及沟槽型超结器件。

可以预见，今天的沟槽设计仅是新一代 MOSFET 演进的起点，最终目标是实现最低的导通损耗，并进一步提升 SiC 功率器件的可靠性。

Bodo's 功率系统

《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、工程技术人员征集稿件。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。

投稿作者需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。

投稿邮箱 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

双沟道 SiC 沟槽 MOSFET 的可靠性：更多设计自由度

在车规级 SiC 沟槽栅架构中，提升可靠性的核心要素包括栅氧质量及其对宇宙射线冲击的耐受能力。图 2（上）展示了博世第二代（Gen2）双沟道沟槽 MOSFET 在关断（off-state）状态下的电场仿真结果。博世第一代至第三代器件均采用深 P 型离子注入工艺，将电场推入半导体深部。

这一额外的设计自由度是平面型 SiC MOSFET 所不具备的。通过调整注入参数（掺杂浓度、注入能量、注入角度），可对深 P 型屏蔽区以及构成 JFET 区域的电流扩展区进行精细优化。由此可对电场分布进行整形，削弱电场峰值，从而同时降低栅氧中的电场以及 SiC 体内的电场。

确保栅氧长期可靠性的首要因素，是对反向偏置电场的有效屏蔽——后者是空穴注入的主要来源。与硅基器件相比，SiC MOSFET 的栅氧本身更易受损：SiC/SiO₂ 界面缺陷密度较高，由此产生的外在缺陷（extrinsic defects）也较多，使得应用电压与筛选电压之间必须保持充足的裕度。

加厚栅氧可显著扩大这一裕度。由于沟槽栅 MOSFET 的元间距远小于平面型（功率密度更高），因此可以仅牺牲少量导电性能来提升更厚的栅氧层，从而进一步增强屏蔽效率。

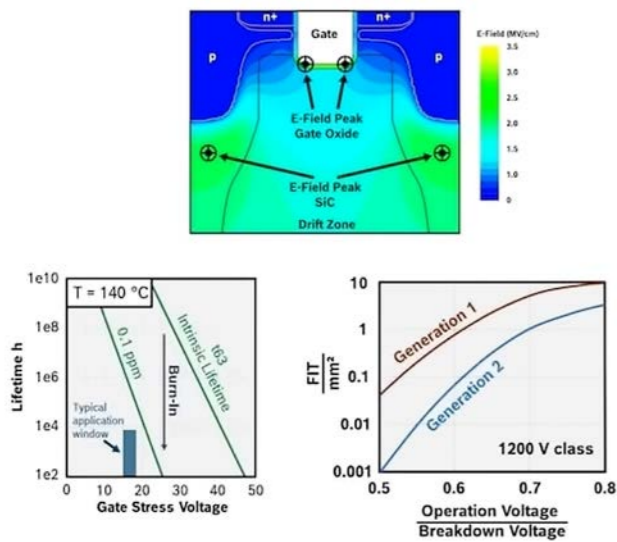


图 2：（上）双沟道沟槽栅 MOSFET 在关断状态下的电场仿真；（左）博世 SiC 沟槽 MOSFET 栅氧本征寿命曲线；（右）第一代与第二代 SiC MOSFET 的 FIT 值与阻断电压关系

图 2（左）展示了博世某款 SiC 沟槽栅 MOSFET 的栅氧本征寿命（t63），以及经筛选后可达到的 0.1 ppm 寿命曲线。无论本征寿命还是 0.1 ppm 曲线均显著高于典型工作区域，充分证明该沟槽架构栅氧的优异可靠性。

随着先进沟槽架构的引入，精密屏蔽结构所带来的收益将进一步放大。结构越紧凑，屏蔽越有效，栅氧也将更加坚固——预计沟槽型器件的栅氧可靠性在不远的将来即可超越平面型 SiC MOSFET。

尽管 SiC 沟槽栅 MOSFET 的本征可靠性可达到极高水平，但宇宙射线冲击的影响仍不可忽视。由于关断状态下存在高电场，SiC 器件本质上对单粒子烧毁（SEB）较为敏感。宇宙射线无法被完全屏蔽，只能通过设计将其影响降至足够低的水平，以保证较低的失效率（FIT 值）。

因此，必须同时优化电场分布形态与击穿电压的定义方式。在这方面，沟槽架构再次显现出优势：沟槽下方的 JFET 区域可被精细调节，从而在阻断模式下削弱电场峰值，以极小的 R_{on} · A 代价显著提升抗宇宙射线能力。

图 2（右）展示了博世第一代与第二代 1200 V SiC 沟槽栅 MOSFET 的 FIT 值随施加电压的变化关系。通过优化电场分布形态并将击穿电压提高 60 V，在器件工作于 50% 击穿电压条件下，FIT 值实现了 40 倍的优化。此外，高宇宙射线耐受能力也为利用超额瞬态电压实现更快开关速度、降低开关损耗提供了空间。

面向下一代的设计考量

将平面型升级至沟槽型乃至先进沟槽栅 MOSFET，是大功率应用的最佳路径；但与此同时，这些新设计对功率模块中并联工作的影响也必须被审慎评估。一般而言，必须避免功率模块中的器件在承担换流伙伴角色时发生寄生开通。

因此，较高的米勒电容比（C_{GS} / C_{GD}）通常较为有利。沟槽栅及先进沟槽栅 SiC 设计天然便于实现这一点——更窄的间距与更紧凑的结构会进一步降低 C_{GD}。

图 3 所示为博世下一代 SiC MOSFET 功率模块设计样品的主动开通/关断以及被动关断特性。在四颗 40 mm² 芯片并联的模块中、于 920 V 母线电压下开关 1000 A 电流，结果显示寄生开通已被完全抑制。

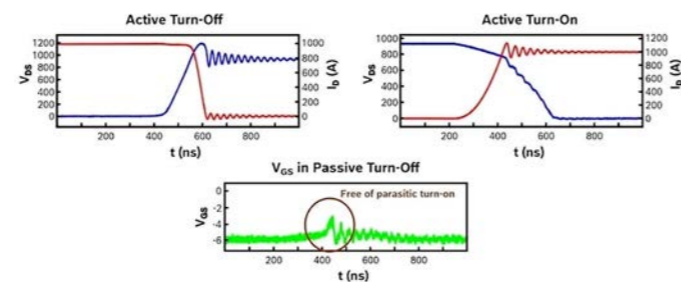


图 3：博世第三代 SiC MOSFET 工程样品在功率模块中的开关特性（920 V / 1000 A）

然而，过度降低 C_{GD} 在某些模块条件下可能引发自激振荡——当并联芯片之间的寄生电感不够低、且静态与动态电流分布存在一定不对称时，功率器件与模块电感会形成 LCR 回路，并以 MOSFET 作为放大器引发振荡。提升每颗芯片的内部栅极电阻虽能抑制该振荡，但会带来系统级负面影响，例如开关损耗上升。

因此，应当在 SiC MOSFET 设计层面就规避此类振荡。途径之一是降低 C_{DS} / C_{GD} 比值——但这又会形成一个设计权衡：较高的 C_{GD} 有助于阻尼振荡，而较低的 C_{GD} 则有助于抑制寄生开通。

新型 SiC 沟槽栅 MOSFET 的全部功率密度优势，需要借助基于先进装配与互连技术（AIT）的新一代功率模块架构才能充分释放。图 4（上）展示了一颗 C_{GS}/C_{GD} 比为 25、内部栅极电阻 R_{G,int} 仅为 2 Ω 的 SiC MOSFET 在标准键合线模块中的开关波形：栅源电压、漏源电压与漏极电流上均可清晰观察到自激振荡。在此条件下，即便 SiC MOSFET 仍远低于其额定电压和电流能力，任何进一步提高的母线电压或开关电流都可能导致灾难性失效。

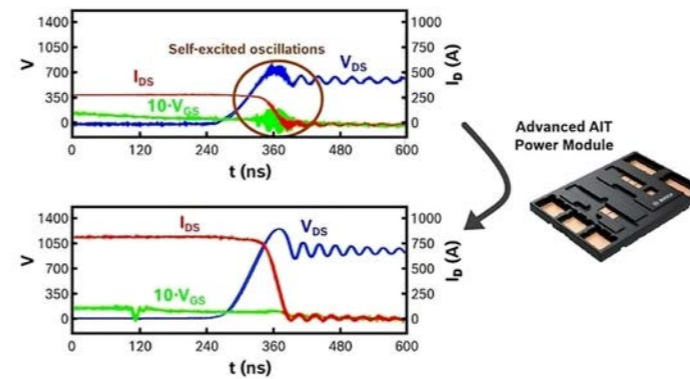


图 4：标准键合线模块与先进 AIT 功率模块的关断开关特性对比（采用高 C_{DS}/C_{GD} 比值的 SiC 功率器件，以诱发标准键合线模块中的自激振荡）

而当采用博世第六代（Gen6）AIT 功率模块时（图 4 右），上述振荡可被完全抑制，从而能够在更高电流与母线电压下实现稳定开关（图 4 下）。

结论

SiC 沟槽栅 MOSFET 在汽车及非汽车应用中均具备显著优势——它将卓越的静态、动态性能与高可靠性结合于一身，在 SiC 功率器件家族中独树一帜。当今的沟槽架构已在功率密度上树立了行业标杆，而基于先进沟槽栅的下一代 SiC 架构将进一步推升这一指标，使沟槽栅 MOSFET 成为 SiC 器件中的最优选择。

关于作者

Jens Baringhaus、Steffen Beushausen、Klaus Heyers，均供职于罗伯特·博世有限公司（Robert Bosch GmbH）。

www.bosch.de

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、工程技术人员诚证稿件。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。

投稿作者需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，
投稿时，请在邮件主题栏注明“投稿”字样！

简单制胜——第四部分： 高效主动均衡背后的算法

一般而言，主动均衡算法的设计取决于所支持的硬件架构。因此，在简化均衡硬件设计的同时降低算法设计的复杂度，仍然是一个必须解决的关键挑战。本文将深入剖析电池管理系统 (BMS) 高效主动均衡设计背后的算法。需要注意的是，由于均衡算法与硬件架构通常深度集成且需协同优化，本文所讨论的算法主要针对本系列文章中介绍的架构。即便如此，文中提出的诸多设计原则、权衡考量及实现思路，仍可为工程师开发其他主动均衡架构的均衡算法提供灵感。

作者：Frank Zhang，应用工程师

引言

在本系列文章的前几部分中，讨论重点主要集中在如何选择合适的集成电路 (IC) 与元器件，以构建主动均衡电路或架构。由于均衡算法在主动均衡系统中举足轻重，因此有必要对其进行深入探讨。

因此，本文旨在尝试开发一种专门针对本系列所介绍的均衡架构的算法。目标是提供一套高效、简洁且易于部署和评估的主动均衡算法参考设计，帮助工程师及从业者快速实现、测试，并直接观察 ADI 解决方案在电池包中的实际均衡性能。

话虽如此，有一点值得反复强调：尽管本文所提出的均衡算法强调简洁性与高效性，但在实际应用中，不存在任何一种单一算法能一劳永逸地应对所有电芯不一致场景。任何均衡策略在投入实际电池系统使用前，都必须经过全面的评估与验证。

主动均衡图形用户界面软件

基于本系列之前文章中介绍的主动均衡概念，主动均衡系统的控制代码主要部署在两个位置：嵌入式微控制器 (MCU) 和基于个人电脑 (PC) 的主动均衡图形用户界面 (GUI)。MCU 的作用与功能已在之前的文章中讨论过，本部分将重点介绍 PC 端评估软件，即主动均衡 GUI。

图 1 和图 2 展示了本设计架构中所用 GUI 界面的截图。为避免视觉混乱，仅对功能不直观的部分进行了标注，以确保清晰明了。

该 GUI 既是 MCU 与电脑之间的通信桥梁，也提供实时数据可视化功能，可显示电芯电压、指示每个电芯的均衡状态，并捕获

和记录系统故障或异常运行情况。最重要的是，该 GUI 集成了自动化主动均衡算法，因而不仅是一款监控工具，更是执行均衡过程的关键驱动程序。

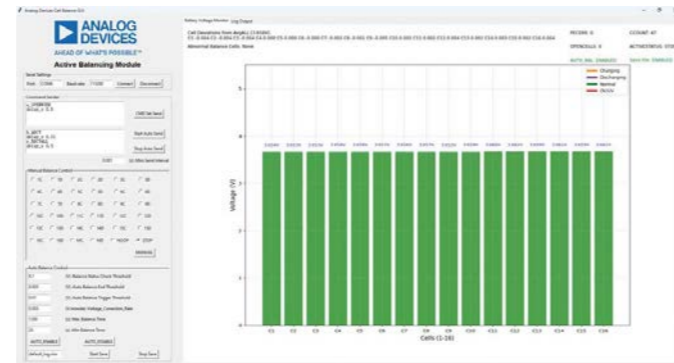


图 1: 主动均衡 GUI: 显示电芯电压、均衡状态和错误警报的图形界面。

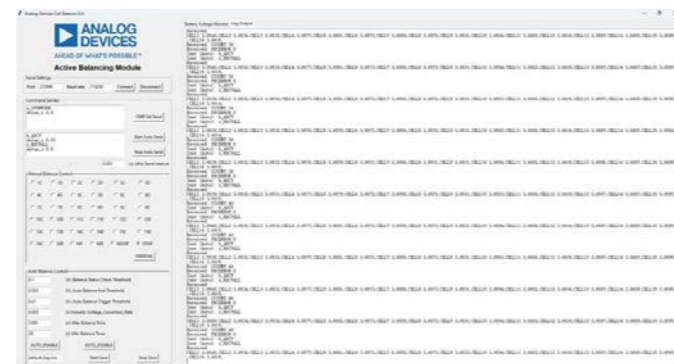


图 2: 主动均衡 GUI: 调试期间用于监控 MCU 与 GUI 数据交互的日志窗口。

主动均衡算法下的性能表现

本设计架构支持主动均衡过程的两种控制模式：手动均衡控制和全自动算法控制。

1. 手动均衡控制

在手动模式下，用户可直接发送指令，对单个电芯进行充电、放电或禁用均衡操作。该模式适用于诊断测试，或针对特定电芯执行定向均衡干预与微调。

2. 自动化主动均衡算法

在自动模式下，操作流程经过简化以提升易用性：将电池包连接至系统、启动 GUI 软件、建立与 MCU 的串行通信，然后点击 AUTO_ENABLE 按钮。此后，系统将自动使所有 16 个电芯达到相同电压水平，无需用户进一步干预。

图 3 至图 5 展示了在启用自动化均衡功能的情况下，三种不同运行状态（充电、放电、空闲）下电芯电压的收敛过程。测试所用的电池包中包含 16 个镍锰钴 (NMC) 锂离子电池，每个电芯的额定容量为 40 Ah。

- 充电状态：使用最大电流为 10 A 的充电器为电池包充电，电芯电压从约 3.65 V 升至接近 4.1 V。
- 放电状态：将电池组连接至 10 Ω 的大功率电阻负载，电芯电压从约 3.85 V 降至约 3.65 V。
- 空闲状态：电池包处于空闲状态，未连接充电器或负载。

在所有这三种情况下，测试开始时均有意使电芯电压处于不均衡状态，以更好地展示主动均衡电路的收敛效果。当所有电芯的电压偏差收敛到阈值范围内（定义为与平均电压的差值在 ±3 mV 以内）时，自动均衡停止条件被触发，实验随即终止。

如图 3 至图 5 所示，启用自动化算法后，16 个电芯的电压收敛到了较窄的容差范围内。由此证明，所提出的架构与算法不仅在空闲状态下，在充电和放电阶段均能实现稳定且有效的均衡。

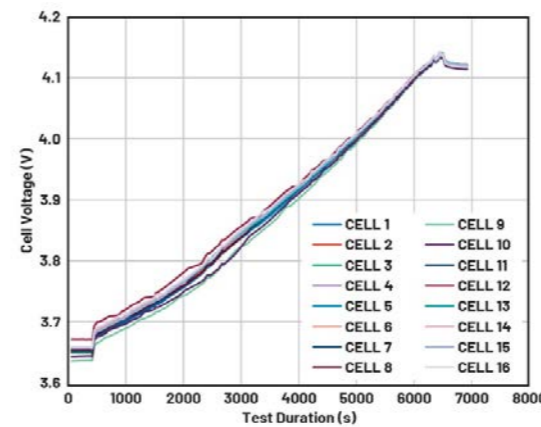


图 3: 电池包以最大电流 10 A 充电，启用自动化主动均衡算法。

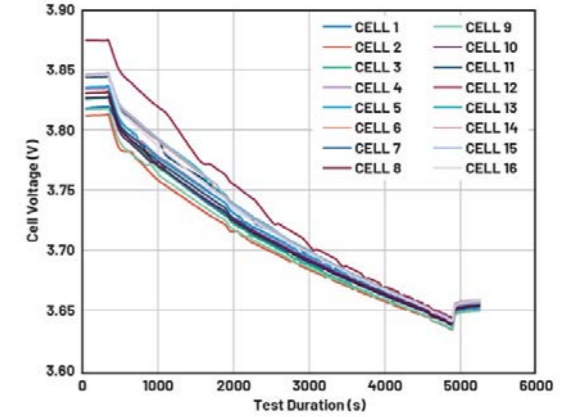


图 4: 电池包通过 10 Ω 大功率电阻放电，启用自动化主动均衡算法。

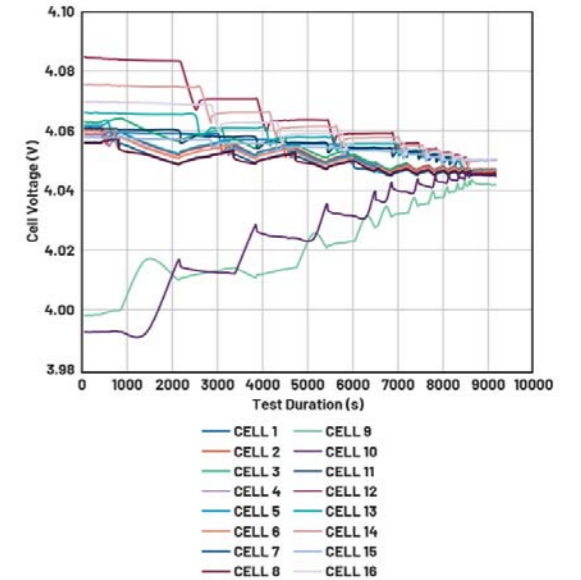


图 5: 电池包处于空闲状态，启用自动化主动均衡算法。

自动化均衡算法的执行逻辑

自动化均衡算法以循环、顺序的方式运行：依次对 16 个电芯进行均衡，之后重复该过程。它不会尝试在一次循环中完全平衡单个电芯，而是采用轮询策略，执行多次短时间的均衡周期。这种方式可避免单个电芯的均衡停留时间过长，因为停留过长会降低整体均衡效率，还可能影响电池包安全性。持续聚焦单个电芯的均衡，还可能致使其长时间空闲的电芯面临过充或过放风险。通过在所有电芯间分配均衡任务，电芯电压偏差能高效收敛至预设的停止阈值。

算法根据电芯分组，采用两种互补的均衡方法：

1. 缓冲区均衡 (2-9 号电芯) —— 相对均衡

- 计算缓冲区组 (2-9 号电芯) 的平均电压，记为 Avg(2-9)。
- 每个缓冲区电芯 (2-9 号) 均以 Avg(2-9) 为基准进行均衡，而非以电池包整体平均电压 (AvgALL) 为基准。

2. 独立电芯均衡 (1 号、10-16 号电芯) ——绝对均衡

- 计算全部 16 个电芯的电池包整体平均电压, 记为 AvgALL。
- 每个独立电芯 (1 号、10-16 号) 均以 AvgALL 为基准进行均衡, 向该电压值靠拢。

无论是缓冲区电芯还是独立电芯, 其均衡方向 (充电或放电) 与均衡时长, 均由各个电芯电压偏差的正负符号和偏差幅度决定。尽管均衡时长大致与偏差幅度成正比, 但不会出现单个电芯主导整个均衡过程的情况。算法通过短时间、迭代式的循环遍历所有电芯, 确保电压偏差快速、稳定地收敛。

均衡过程的最终目标是让电池包内所有电芯的电压尽可能接近 AvgALL。将算法划分为“缓冲区组相对均衡”与“独立电芯绝对均衡”, 原因是为了提升效率: 如果缓冲区电芯直接以 AvgALL 为基准均衡, 它们在作为其他电芯的能量储备库时, 会反复经历充放电循环, 导致均衡收敛效率低下。通过相对均衡, 先让缓冲区电芯电压与 Avg(2-9) 对齐, 再以缓冲区整体为独立电芯充放电, 系统能实现更快的整体收敛。在一个完整均衡周期结束时, Avg(2-9) 与 AvgALL 可能并非完全一致, 但会非常接近, 从而确保整个电池包达到良好的均衡状态。

为进一步提升效率与可靠性, 倘若某一电芯的电压偏差已在容差范围内, 或检测到异常情况, 算法会跳过这一电芯, 继续处理下一个符合条件的电芯。

架构设计原理与基于缓冲区的均衡机制

细心的读者或许会发现, 上述均衡策略与理想的全双向电芯间均衡拓扑存在差异。原因一目了然: 若不引入极高的架构复杂度, 要在电池包内任意两个电芯之间实现真正的直接双向能量传输, 在实际应用中并不可行。

为解决这一难题, 该算法借助中间充电缓冲区实现间接均衡。具体而言, 电池包内 n 个相邻的电芯被指定为缓冲区。这一配置在均衡架构图 (图 6) 中也有体现, 图中缓冲区被描绘为由这 n 个连续电芯组成的模块。

传统设计依赖独立的外部电源 (如大容量 12 V 或 24 V 电池) 作为缓冲区, 而本架构则完全利用电池包内部已存储的能量运行。这种方式不仅提高了系统整体效率, 还降低了软硬件的设计复杂度。

本架构与算法中的均衡过程通过两步式能量传输实现。

1. 电芯到缓冲区放电: 将过充电芯的能量转移至缓冲区电芯中。
2. 缓冲区到电池充电: 而后将缓冲区的能量重新分配给欠充电芯。

这种两步式流程, 在功能上等效于实现了双向电芯间均衡, 同时避开了直接一对一传输拓扑的工程复杂度。这种拓扑虽被视为理想的均衡形式, 但因其电路复杂度高、成本高, 在大型电池包中往往难以落地。在这种方法中, 当某个电芯需要充电时, 所需能量会从缓冲区电芯中统一获取; 反之, 当某个电芯需要放电时, 其多余能量会被均匀重新分配回缓冲区电芯。

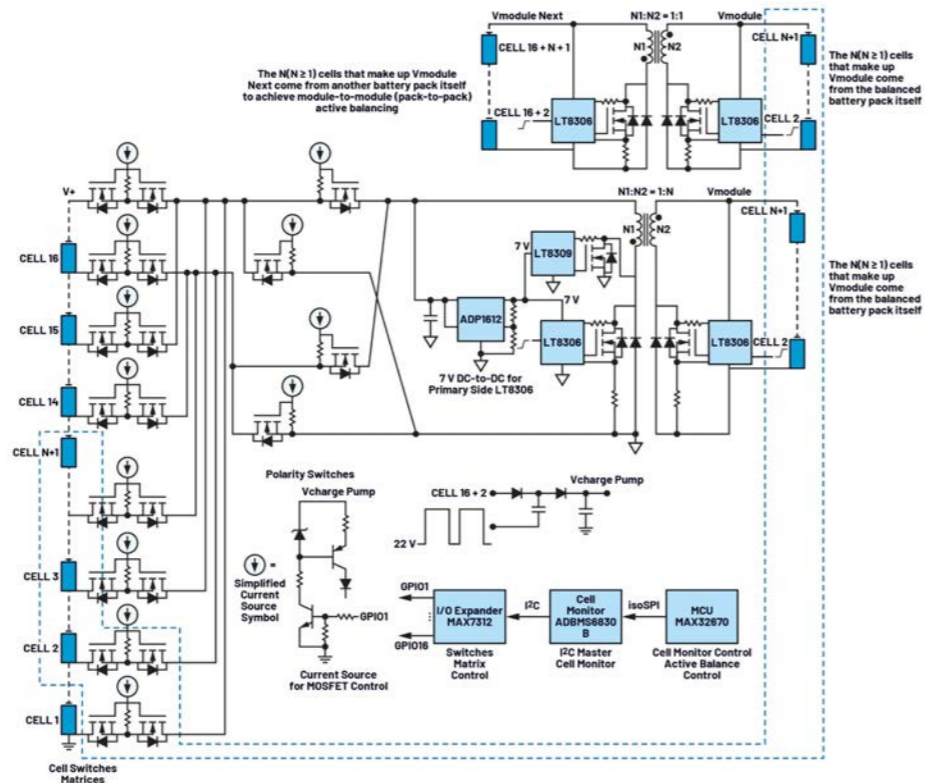


图 6: 基于 LT8306、LT8309、ADP1612、MAX7312、ADBMS6830 和 MAX32670 的主动均衡电路架构图。

临时暂停和重新激活自动均衡的条件

当 2 到 9 号电芯相对 Avg(2-9) 的电压偏差降至设定阈值 (例如 ±3 mV) 以下, 且 1 号、10 到 16 号电芯相对 AvgALL 的电压偏差也处于同一阈值内时, 自动化均衡过程会临时暂停。此时, Avg(2-9) 与 AvgALL 可能并非完全一致, 但会十分接近。满足这些条件后, 算法将转入待机状态, 等待下一次均衡触发。

自动化均衡算法在激活状态下, 会持续轮询电池系统, 判断是否需要启动均衡。触发条件可由用户配置, 默认触发逻辑为: 当 16 个电芯中最高电芯电压与最低电芯电压的差值超过 10 mV 时, 启动均衡。

算法激活后, 会持续运行直至满足暂停条件, 随后停止并等待下一次触发事件。如前所述, 暂停条件保持不变, 此处不再赘述。

为避免均衡过程过度循环及不必要的能量损耗, 在触发阈值 (10 mV) 与暂停阈值 (±3 mV) 之间设置了“滞回带”。这可确保仅当电芯出现显著电压偏差时, 均衡才会重新激活, 从而同时提升系统效率与使用寿命。

特殊注意事项

由于电芯电压采样线束与主动均衡线束共用同一布线, 且受本系列之前文章提及的线路电阻 (Rroute) 及大均衡电流的共同影响, 主动均衡过程中会出现电压降。如图 7 至 10 所示, 该电压降会影响电芯电压测量的准确性。因此, 必须定期暂停主动均衡, 以获取准确的电压读数。

- 如果暂停过于频繁, 会降低均衡效率。
- 如果暂停间隔过长, 可能导致过度均衡。

在本架构中, 算法会根据观测到的电压偏差估算所需均衡时长, 例如每 5 mV 偏差对应约 1 分钟均衡时间。达到计算出的时长后, 均衡会自动暂停以进行准确的电压测量, 随后算法将决定下一步操作。

这种自适应时序策略相比固定间隔方式提升了效率, 但它依赖于“充放电电流接近恒定”这一前提。在本设计中, 电流稳定性通过直接从电池包获取缓冲区电压而非依赖外部电源来实现, 即便电芯电压在 3.0 V 至 4.2 V 之间变化, 也能确保电流接近恒定。

尽管组合使用采样线束与均衡线束会在均衡期间引入测量误差, 但也带来了显著优势:

- 减少线束数量, 简化布线, 节省印刷电路板 (PCB) 空间。
- 均衡期间观测到的电压降可作为运行状态指示器, 帮助确认主动均衡电路是否正常工作。

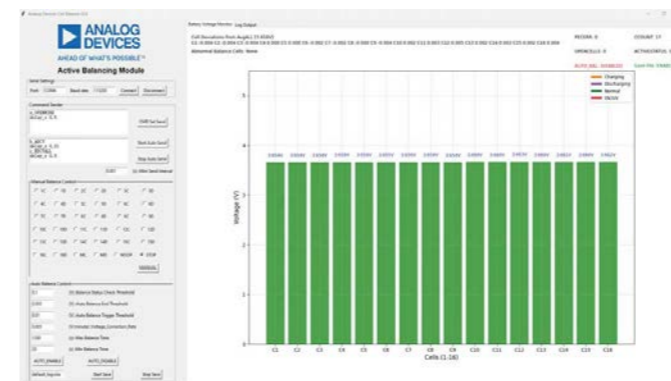


图 7: 主动均衡功能未激活时, 电芯电压测量值保持稳定。

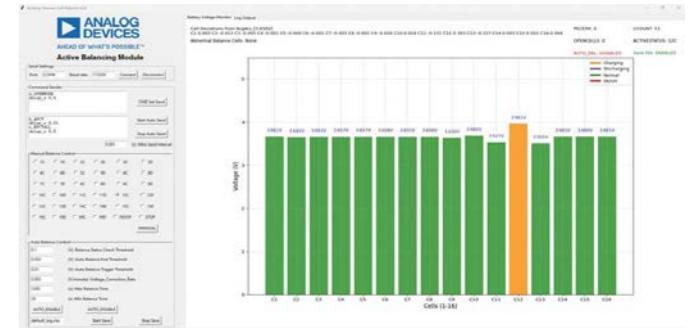


图 8: 主动均衡运行期间, 为特定电芯充电时对电压测量的影响。

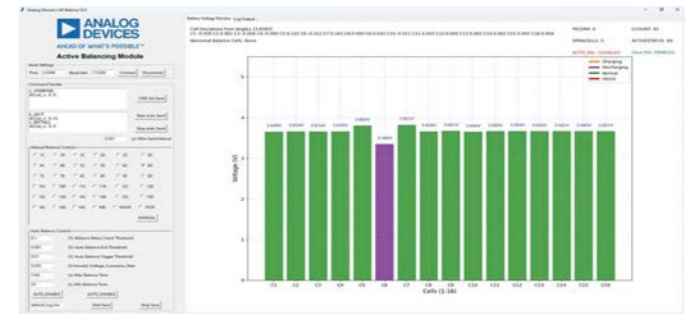


图 9: 主动均衡运行期间, 为特定电芯放电时对电压测量的影响。

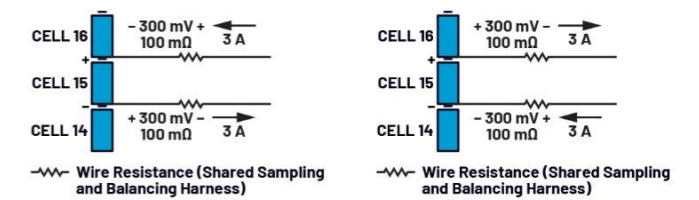


图 10: 主动均衡运行期间, 均衡电流对电芯电压测量的影响: 左侧为电芯充电, 右侧为电芯放电。

结语

至此, 本系列关于主动均衡的文章已画上圆满句号。显然, 即便我们力求详尽阐述, 要在有限篇幅内将这类系统性设计的所有细节囊括无遗, 仍是不小的挑战。许多错综复杂的设计要素, 尤其是本主动均衡方案中涉及的完整软件编程内容, 终究无法在此一一铺陈。

本系列文章的核心目标, 在于点燃对电池主动均衡技术感兴趣的工程师及电子爱好者的探索热情与创新灵感。我们诚挚鼓励读者, 或是直接采纳文中介绍的设计方案, 或是以此为基石进一步深耕拓展, 通过持续创新, 打造出兼具简洁性与高效性的主动均衡解决方案。

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。

基于 GaN-on-Si 集成电路的功率变换

氮化镓的崛起正在重新定义功率变换

分立式功率晶体管，无论是硅基还是 GaN-on-Si 器件，正逐步走向其历史的终章。

GaN-on-Si 集成电路 (IC) 以更小的占板面积实现更高性能，同时显著降低成本与工程难度。

本文将系统梳理“氮化镓崛起”如何重塑功率变换格局。

作者：Efficient Power Conversion / EPC, CEO 兼联合创始人 Alex Lidow

历史回顾

1977年，我与同事 Tom Herman 加入 International Rectifier (国际整流器公司, IR)，开启了功率变换领域的职业生涯。我们的首个项目是研制一款性能优于当时主流双极型功率器件的新型功率晶体管。经过反复评估与讨论，我们决定以金属氧化物 (MOS) 栅作为新晶体管的核心。第一代铝栅器件于 1978 年 11 月推出，第二代多晶硅栅器件于 1979 年 6 月面世。第二代器件由于采用六边形元胞结构，被命名为“HEXFET”——它彻底改写了功率变换领域的格局。



国际整流器 (IR) 的 Eric 与 Alex Lidow: 他们相信自己在技术上领先了两年

HEXFET 比双极型前辈更快、更小，最终也更便宜、更可靠。设计工程师需要进一步打磨技能，才能充分发挥其更高的开关速

度所带来的优势。当时主流的 AC/DC 变换器与电机驱动等功率变换系统因此变得更紧凑、更可靠、成本更低。

我和 Tom 也清楚地意识到：要充分发挥这些新一代分立高性能器件的潜力，需要可观的设计投入——而设计周期本身正是限制其推广速度的关键瓶颈。我们的思路看似简单：开发能够把整套系统集成于单芯片之上的“片上系统”(SoC)。

我们最初尝试的 SoC 方案是基于一种新发明器件——TRIMOS [1]——构建单片可控硅。这一尝试让我们认识到几条关于硅基功率器件集成的基本规律：若试图将垂直导电的功率器件集成在同一颗芯片上，成本会显著上升，难以商用；若将其改为横向器件以解决导电方向的冲突，则因芯片面积过大而同样无法商用。在弄清楚这一矛盾后，Tom 与 Dan Kinzer、David Tam 等更大的团队转向开发用于驱动半桥功率器件的驱动 IC——其中第一款产品就是 IR2110。直至今日，分立功率 MOSFET (或其表亲 IGBT) 配合驱动 IC，仍是全球功率变换的主流方案。

氮化镓 (GaN) 功率晶体管

当我得知日本一支研究团队成功开发出在硅晶圆上生长器件级氮化镓 (GaN) 薄膜的方法时 [2]，我意识到：硅基功率变换系统的集成瓶颈，可借助这一新技术得到突破。GaN 本身是天然绝缘的，最佳的 GaN 晶体管结构是将栅、漏、源三个端子全部置于器件顶面。在 GaN 中几乎没有显著的少数载流子导电过程，因此也不存在横向功率 MOSFET 在二极管导通时常见的“一颗器件用空穴或电子‘污染’另一颗器件”的问题。

基于这一判断，我与 Joe Cao、Bob Beach 两位同事于 2007 年秋共同创立了 Efficient Power Conversion (EPC)。我们从一开始就明确：目标是打造性能优于硅、成本低于硅的功率器件。最初我们瞄准的是分立器件，但我们深知，唯有集成化才能像数字电子的集成革命、以及当年 HEXFET 的崛起那样真正重新定义功率变换。

2009 年，我们交付了首批 100 V 分立 GaN-on-Si 功率晶体管的原型；2010 年 3 月正式投产，同时推出 40 V 和 200 V 系列。由于均为增强型 (enhancement-mode) 器件，我们将其命名为 eGaN® FET。图 1 给出了一颗早期 eGaN FET 的扫描电子显微镜 (SEM) 图。

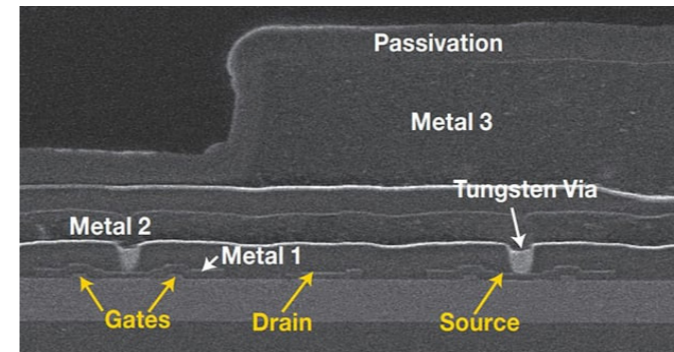


图 1: 2009 年左右一颗 eGaN FET 的扫描电子显微镜 (SEM) 图

这些器件极快——在同等电压与导通电阻下，开关速度约为硅器件的 5 至 10 倍。如此之高的开关速度意味着设计工程师必须更加严谨地优化 PCB 布局，因为任何额外的寄生电感都会引发电压与电流过冲。这些过冲不仅会增加功率损耗、加剧 EMI/EMC 辐射，还经常导致器件栅极或漏极过压。早期阶段，使用这些器件的设计难度，几乎与其速度成反比关系——设计越快越难，普及节奏因此受限。

在不到一年的时间里，我们推出了第二代产品，长期稳定性大幅提升，应用范围也覆盖到激光雷达 (LiDAR)、包络跟踪、汽车前照灯、DC-DC 变换器等更广领域。这段经历给了我们一个清晰的启示：必须想办法让设计工程师能够更轻松驾驭这些前沿器件的全部潜能。

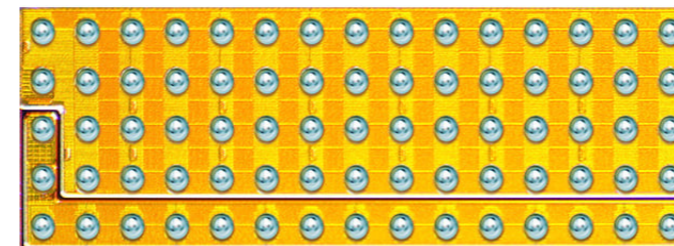


图 2: EPC 于 2014 年 9 月首次推出的单片半桥器件，图示为 EPC2100

GaN 集成电路

在单芯片集成的方向上，我们迈出的第一步是 2014 年 9 月：EPC 发布了一系列单片半桥器件。把两颗 FET 集成在同一颗芯片上、配置成半桥结构，可同时带来以下三方面收益：(a) 大幅节省板面面积；(b) 功率回路电感减半；(c) 显著抑制由过冲引发的 EMI/EMC。图 2 展示了一颗早期半桥 IC (EPC2100)，该器件面向降压 (buck) 型 DC-DC 变换器场景设计。其中高压侧晶体管被刻意设计得比低压侧更小，并使两颗功率器件之间的回路电感接近于零。

与此同时，我们也启动了将驱动电路与功率 FET 集成于同一芯片的工作。单片集成驱动器后，外部硅基驱动 IC 可被省去，栅极回路电感也被彻底消除。这一方向的首款商用产品于 2018 年发布，图 3 是其中一例。

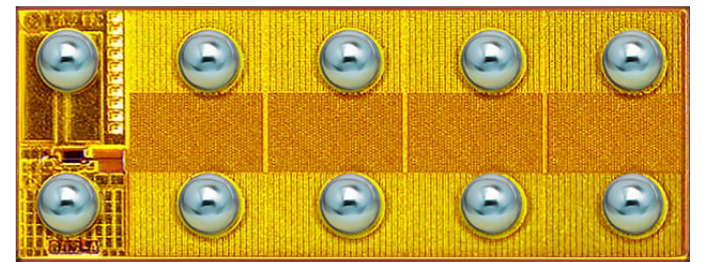


图 3: EPC2112——首款将驱动与功率 FET 集成于一体的 GaN-on-Si 器件

然而，我们的终极目标是：将完整功率变换方案所需的全部功能集成于单颗芯片之上。功率变换拓扑种类繁多，因此可能的集成方案也千差万别——但在所有拓扑中，半桥 (half bridge) 无疑是最通用的基础积木：buck 变换器、boost 变换器、LLC 谐振变换器、母线变换器、电机驱动等等无不基于半桥构建。因此，围绕半桥进行深度集成具有极高的价值。图 4 展示了实现这一目标所需的全部模块如何彼此衔接。

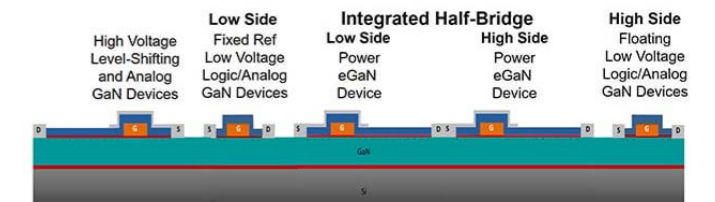


图 4: 单片半桥所需全部功能在同一颗 GaN-on-Si 芯片上的集成示意

由于 GaN 本身绝缘，高压侧与低压侧 FET 可以直接相邻布置。通过缩短栅极与漏极之间的距离，微小的低压 FET 可与高压 FET 紧密排布在一起——这些小信号器件既可用于模拟功能，也

可用于数字逻辑。高压侧与低压侧之间则通过图 4 最左侧所示的高压电平移位器件实现互联。

EPC 第一代 eGaN® IC (如图 3 所示)在很大程度上仍依赖经验"手工打造"。要实现最佳且最可靠的性能,技术平台必须配套一套丰富、可缩放的器件模型——这些模型需覆盖寄生交互、在全温度/电压/电流范围内得到充分表征,并能反映工艺波动。这是一项极为庞大的工程,并且天然与"分立 FET 性能持续快速演进"的趋势构成张力:一方面,全面表征一个技术平台需要时间与精力;另一方面,如果平台演进速度快于表征流程,则集成 IC 在性能与成本上反而落后于其分立的同代器件。

这一更为系统化方法的首项成果于 2020 年 3 月发布——一颗全单片集成的半桥器件,将驱动、电平移位、自举(bootstrap)功能全部集成于一身。图 5 给出了这颗功率级所有基础功能的简化电路示意,图 6 则是器件实物图。

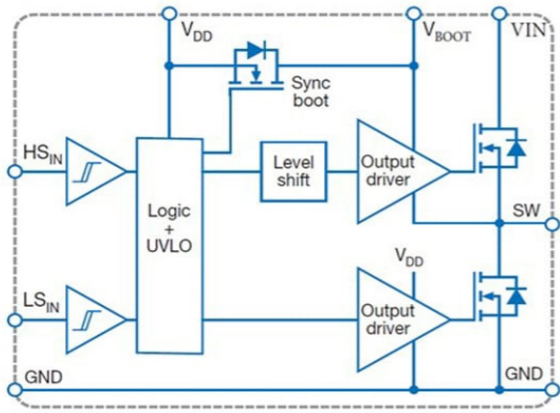


图 5: 功率级所有基础功能的简化电路图——包括输出 FET、驱动器、高压侧电平移位、输入逻辑与保护、自举电路

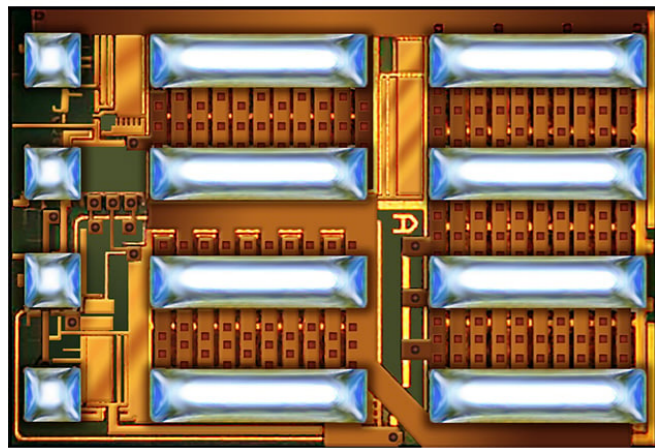


图 6: EPC2152——图 5 电路图的单片实现,可作为 buck 变换器(最高 2 MHz / 输入 80 V / 输出 10 A)或三相 BLDC 电机驱动级(100 kHz 及以上)使用,芯片面积仅 10 mm²

尽管与现代数字处理器相比仍显简单,这颗单芯片功率级首次证实了多种关键基础功能的集成:包括用于决策的比较器、输出动作控制的反馈电路、输入输出隔离的锁存、提升装配鲁棒性的 ESD 防护,以及同一基板上高压侧与低压侧之间的电压隔离。

事实上,几乎任何 IC 都可基于这一组基础积木构建。虽然设计的精进与改良仍将以极快的节奏推进,但这次首发已充分展示了 GaN IC 创造空间的巨大潜力——以及氮化镓在重新定义功率变换方面的光明前景。该产品(EPC2152)面向 buck 变换器与电机驱动两类典型拓扑设计。

图 7 展示了这颗单片功率级(绿色曲线)在以 buck 变换器模式工作时的系统效率:1 MHz 开关频率、48 V 输入、12 V 输出、10 A 负载。图中黑色"X"代表 1 MHz 下当代最优硅方案的性能。结果显示:GaN 单片功率级相比硅方案,功率损耗降低 50%。

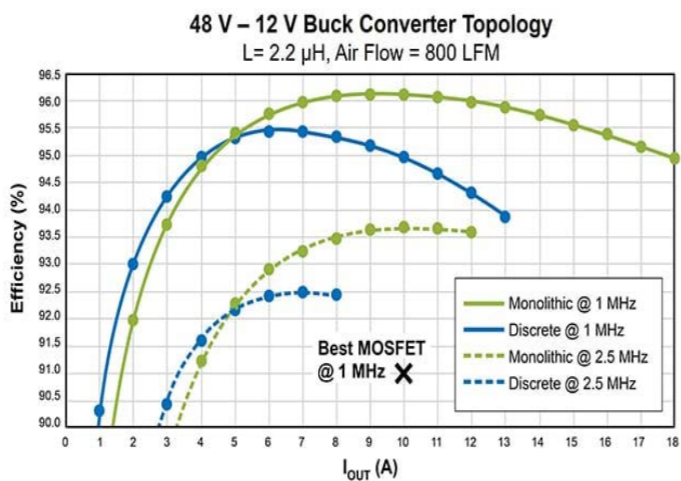


图 7: EPC2152 (绿色)在 48 V → 12 V、10 A、1 MHz 下相比最优硅 MOSFET 方案(黑色 X)功率损耗降低 50%;蓝色为分立 GaN FET + 硅驱动方案

图 7 同时揭示了"将驱动与功率 FET 集成于同一芯片"所带来的额外收益。图中蓝色曲线对应一个完全相同的半桥拓扑,但采用分立 GaN FET 配合独立硅基 IC 驱动器构成。绿色(单片)与蓝色(分立)方案之间的效率差距主要源于两点:(1)驱动器与功率器件在同一颗芯片上紧密接触,栅极回路电感显著降低;(2)两颗功率 FET 的单片集成将整个功率回路电感减半。

除 buck 变换器外,EPC2152 也可作为隔离型 DC-DC 变换器的原边器件,或用于无刷直流(BLDC)电机驱动,见图 8。



图 8: 基于 EPC2152 单片功率级构建的三相 BLDC 电机驱动

GaN 集成的未来

有了基于最新 GaN 技术平台、且可缩放的丰富模型库后,进一步集成的挑战——也即"氮化镓的崛起"——将转向在单芯片上集成更多功能[4]。终极目标是:打造一颗只需接收来自微控制器的简单数字输入、即可向负载输出所需功率的单芯片 IC——它须在所有工况下高效、可靠、占用尽可能小的空间,并且经济性突出。

要达到这一目标,需要将电流与温度传感器进一步集成入芯片;与此同时,更丰富的数字控制功能将提升性能、降低成本,并大幅减少功率系统设计工程师的工程量。这些新功能将在未来数年内陆续推出。

分立功率晶体管——无论硅基还是 GaN-on-Si——都正在步入其历史的最后一章。集成式 GaN-on-Si 可以以更小的占板面积、显著更低的成本、更少的工程投入实现更高性能。图 9 描绘了通向全单片上系统(SoC)的发展路径:从 2014 年的首款单片半桥起步,逐步扩展为面向各类功率变换应用的多级、多相 IC。

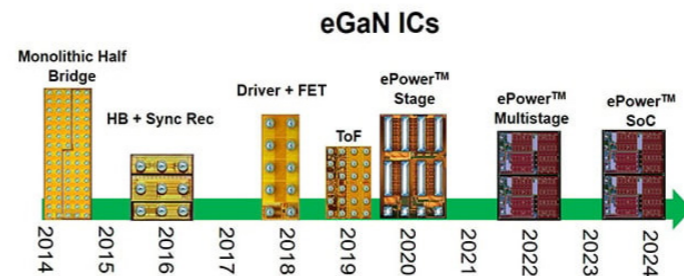


图 9: EPC 通向全单片上系统(SoC)的发展路径

关于作者

Alex Lidow, Efficient Power Conversion (EPC) 首席执行官、联合创始人,前 International Rectifier 首席执行官,HEXFET 功率 MOSFET 联合发明人。他在功率半导体领域发表了大量同行评审论文,并因推动高效率功率器件的商业化于 2015 年荣获 SEMI 北美奖。Lidow 曾作为美国半导体行业协会(SIA)的代表之一,参与促成 1986 年《美日贸易协定》的相关谈判,并多次代表行业出席美国国会作证。

参考文献

- [1] B. Scharff, J. D. Plummer, "A MOS-controlled TRIAC Device", IEEE International Solid State Circuits Conference Digest of Technical Papers, 1978.
- [2] Nakamura, S., "GaN growth using GaN buffer layer," Jpn. J. Appl. Phys., 30 (10A) L1705-L1707 (1991).
- [3] A. Lidow, M. de Rooij, J. Strydom, D. Reusch, J. Glaser, GaN Transistors for Efficient Power Conversion, 3rd Edition, J. Wiley, 2020.
- [4] A. Lidow, "Gallium Nitride Integration: Going Where Silicon Power Can't Go [Expert View]," IEEE Power Electronics Magazine, Vol. 5, Issue 3, Sept 2018, pp. 70-72.

<https://epc-co.com/epc/>

下一代功率电子中的温度感知

更近、更快、更准的烧结式铂温度传感器

基于碳化硅 (SiC) 的功率半导体可承受比硅基器件更高的工作温度, 但这也对模块温度的监测与测量提出了全新挑战。本文聚焦于温度传感器在功率模块中的位置对测量精度与响应速度的影响, 并通过仿真证明: 将温度传感器布置在尽可能贴近功率芯片的位置, 可显著提升性能。

作者: YAGEO Nexensos 公司创新与运营管理 Christoph Nick

烧结 (sintering) 连接相较焊接而言具备更高的电气与热学性能, 已成为功率电子中用于将半导体芯片以及传感器等无源元件直接固定到基板上的极具吸引力的替代方案。该技术与碳化硅 (SiC) 等宽禁带半导体材料相结合, 使功率电子的工作温度可突破 200 °C; 而焊接的硅基器件的峰值工作温度通常被限制在 150 °C 以内 [1]。

随着工作温度的提升, 整个功率模块的过热风险愈发突出, 对温度的高精度、低延时检测变得至关重要。本文研究了温度传感器位置对功率模块测量结果的影响: 通过对不同布局的仿真分析, 验证了将温度传感器贴近功率芯片所带来的实际收益。

这种 "贴近布置" 在工艺上是可实现的——采用一种基于铂金属、可烧结且电气绝缘的 SMD 封装温度传感器, 无需在 PCB 上专门为传感器设计独立的接触区。由于省去了原本不可或缺的蚀刻沟槽 (etched trench), 传感器信号的精度与响应时间均得到显著改善, 从而支撑更紧凑的模块设计。

背景与动机

功率电子可谓任何电动汽车的 "心脏": 整车的性能、加速能力与效率, 归根结底取决于电压变换器与逆变器单元的布局与能力。更高的开关频率、更高的功率等级以及由此带来的更高工作温度, 将进一步延长续航里程, 并支持更具动态响应的驾驶模式。除电动汽车外, 风电机组与通信基础设施等应用同样得益于工作在高频条件下的功率元件。

更高的工作温度需要新材料与新连接技术的支撑。其中, 银烧结 (silver-sinter) 工艺正逐步成为主流连接技术 [2]。若能采用单

一安装工艺一次性完成所有元件的贴装, 工艺流程将得到大幅简化; 进一步, 若各类元件均可通过同一种生产技术装配, 则可形成统一的生产平台。

在所有应用中, 过热问题始终是关注焦点: 它会加速电子元件老化、显著缩短使用寿命; 严重过热甚至可直接导致器件失效与灾难性故障 [3]。为防止过热, 系统通常对温度进行实时控制——但出于安全考虑, 温度读数的精度与延迟均需预留一定裕度。这一安全裕度的代价, 是模块无法发挥其全部性能潜力 [4]。要进一步提升性能, 热管理系统就必须获得尽可能准确、尽可能实时的温度信号。

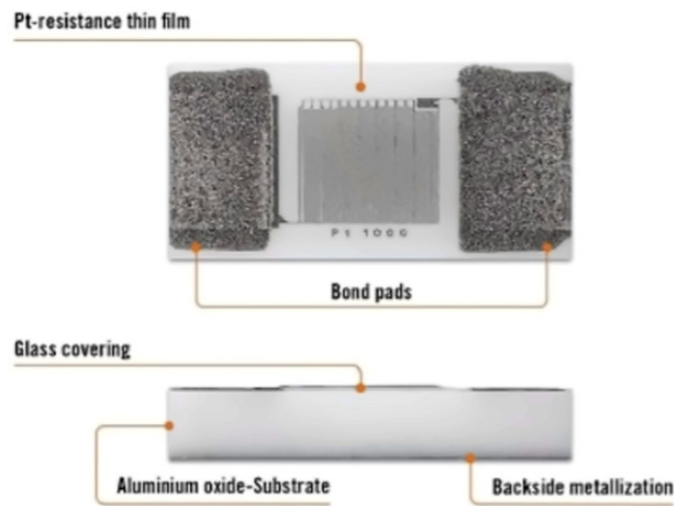


图 1: Nexensos 可烧结铂基温度传感器; 顶面 AgPt 键合区针对细/粗线键合优化, 背面 AgPd 金属化层针对银烧结工艺优化

方法与思路

将温度传感器布置在尽可能贴近热源的位置, 是实现快速响应与高精度测量的关键途径之一。Nexensos 推出的可烧结 SMD 封装温度传感器 (Pt1000 SMD-SC) 正是为应对这一挑战、并兼顾功率模块多重优化需求而设计。如图 1 所示, 该传感器顶面感测层与背面金属化层之间天然电气隔离, 使其可被自由地放置在贴近热源的位置。

测量更快、更准; 模块设计更简

由于感测区与背面金属化层之间已实现电气隔离, 传感器与其他元件可放置在同一电气电位、同一基板之上。无需再为传感器单独保留一块 "绝缘岛"——而后者在传统采用可烧结 NTC 等温度传感器时是必不可少的 (见图 2)。

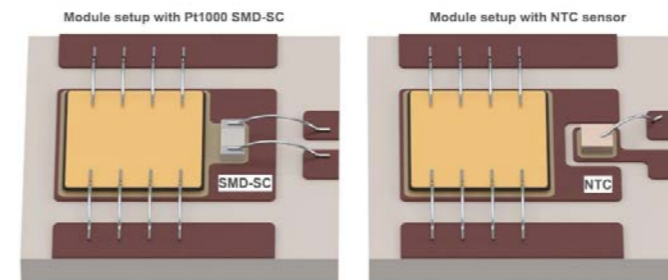


图 2: 模块设计对比——左: 采用电气绝缘 SMD-SC 传感器; 右: 采用顶/底双向接触型 NTC 传感器

为深入研究传感器在 PCB 上的位置对测量结果的影响, 研究人员构建了一套简化仿真模型, 以分析当代硅 (Si) 基功率模块与下一代碳化硅 (SiC) 基方案的热分布与响应时间。所选取的几何结构与材料体系无关, 仅通过调整材料属性与工作温度来分别表征 Si 与 SiC 设计。

仿真建模使用 Comsol CFD 流体力学套件完成; 材料参数与边界条件均按照温度传感器的实际配置选取。键合线散热、不同灌封材料的影响等次要因素未纳入考虑——研究的焦点是传感器与热源之间的距离, 以及基板布局 (特别是是否存在额外的蚀刻沟槽) 对结果的影响。

结温 (junction temperature) 按器件类型分别设定: 硅基功率模块为 150 °C, 下一代宽禁带 (WBG) 材料如 SiC 或氮化镓 (GaN) 则为 200 °C。仿真中通过设定结温来引入热源——功率芯片本身与温度传感器均未通电, 从而排除自加热效应。

图 3 展示了不同几何方案下传感器与热源之间距离的对比。得益于该传感器灵活的封装设计, 传感器可被直接放置于功率芯片旁 (图 3a); 通过调整间距, 可对应模拟当前主流布局方案。作为对照, 图 3b 重点展示了蚀刻沟槽对测量精度与响应时间的影响:

对于 NTC 这类需要从背面取电的传感器而言, 必须在基板上额外刻蚀一条沟槽以确保传感器与功率电子基板之间的电气隔离。而采用两个电极均位于顶面的可烧结铂基 SMD 传感器, 则可彻底省去这一绝缘沟槽, 大幅简化 PCB 设计与制造工艺。

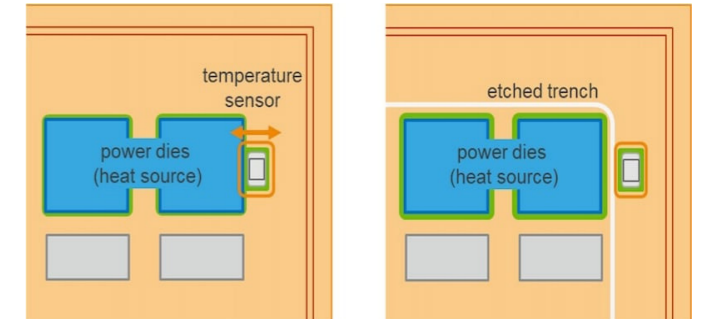


图 3: 基板几何结构与传感器位置——(a) 距离变化; (b) 设置额外蚀刻沟槽以实现绝缘安装

结果: 测量精度

传感器位置对温度测量精度具有显著影响。在所考察的多种配置中, 无论 150 °C 还是 200 °C 工况, 结温与检测温度之间的差距都强烈依赖于传感器与功率芯片之间的距离。尽管简化模型并未引入任何具体灌封材料、且整个表面均可发生散热, 但整体趋势是一致的: 在 150 °C 工作条件下, 温度跌落与传感器距离呈近线性关系, 如图 4 所示。

随着距离增大, 温度跌落越发明显, 检测温度与真实结温之间的偏差也越来越大, 最终拉低测量精度。

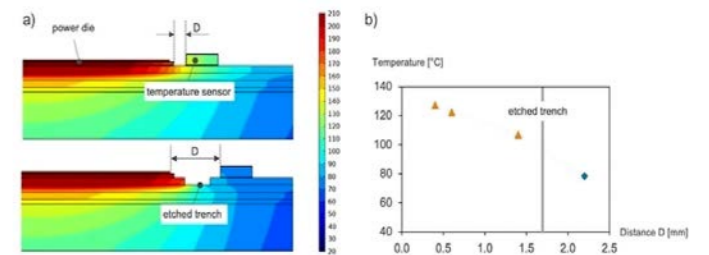


图 4: (a) 150 °C 结温下功率模块的温度分布(上: 无蚀刻沟槽; 下: 含蚀刻沟槽); (b) 测得温度随功率芯片到传感器距离的变化关系, 灰色双虚线标示蚀刻沟槽位置

对于依赖整个传感器横截面体电阻进行测量的 "通孔接触式" (through-contacted) 温度传感器, 必须借助额外的蚀刻沟槽来实现电位隔离安装。这一额外结构进一步加大了传感器与热源之间的距离, 从而进一步降低精度——功率芯片与传感器芯片之间的温度跌落更加显著, 在选定的距离下出现非线性的快速下降。图 5 给出了 200 °C 工作条件下的温度分布, 进一步印证了上述结论。

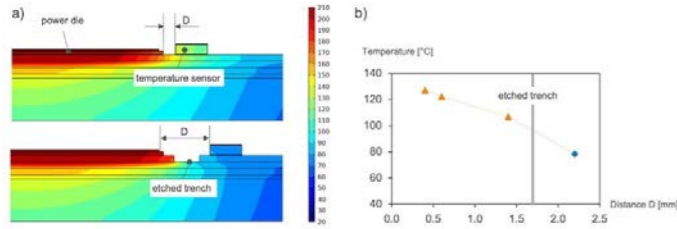


图 5: (a) 200 °C 结温 (SiC 配置) 下功率模块的温度分布 (上: 无蚀刻沟槽; 下: 含蚀刻沟槽); (b) 测得温度随距离的变化关系

由温度跌落曲线的非线性特征可见: 传感器布置位置对测量精度的影响极为关键, 而最大限度地缩短传感器与热源之间的距离, 正是性能提升的核心。

结果: 动态响应

除测量精度外, 将传感器布置在距功率芯片更近的位置, 还可显著缩短响应时间。图 6 展示了在两种不同传感器位置下, 功率芯片上电后温度信号的动态响应。

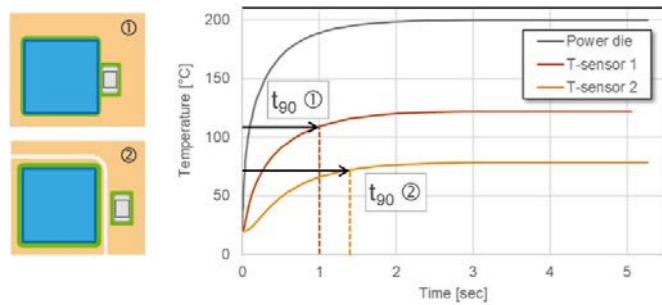


图 6: 温度感知动态特性——(a) 传感器紧贴功率芯片; (b) 传感器被蚀刻沟槽与芯片隔开

可以看到, 功率芯片自身的温升曲线与紧邻芯片布置的传感器温升曲线斜率几乎一致——将传感器贴近热源, 可显著缩短测量响应时间 (图 6a)。一旦如前所述增设蚀刻沟槽, 传感器距离功率芯片就会变远 (图 6b), 上电瞬间后的响应明显变慢, 延迟也显著增加。

衡量系统达到稳态所需时间的常用指标是 t_{90} , 即温度上升至平衡值 90% 所需的时间。在本对比中, 紧贴芯片布置时 t_{90} 为 1.0 秒, 加上蚀刻沟槽后 t_{90} 增至 1.3 秒——前者的动态响应快 30%。作为参考, 功率芯片本身达到 90% 最终结温约需 0.72 秒。由于仿真中考虑了背面的散热作用, 无论哪一种传感器位置, 最终测量值都无法完全等于真实结温。

综上: 将 Pt SMD 型温度传感器布置在贴近热源的位置, 不仅可提升测量精度, 也可大幅缩短达到有用阈值所需的时间。

这一改善有助于规避过热与温度尖峰, 从而显著延长功率模块的整体使用寿命。

结论

烧结式铂基温度传感器 (SMD-SC) 为当代乃至下一代功率模块的温度感知挑战提供了多重价值。该传感器在感测层与接触层之间天然存在的电气隔离结构, 为新型模块布局打开了新的设计空间 (如图 1 所示)。

得益于感测区与背面金属化层 (针对烧结工艺优化) 之间的电气隔离, 传感器可被放置在功率模块板上的任何可用位置。热源与传感器之间距离的缩短, 可带来更高的测量精度, 并将温度信号响应时间提速最高达 30%。

传感器顶面可采用标准的细 / 粗键合线工艺进行电气连接; 而到 PCB 的固定则通过标准银烧结工艺完成, 可无缝集成于现有产线。烧结连接是实现高温工作的关键, 它可将工作窗口推升至远超 200 °C。当前, Pt1000 传感器的额定工作上限为 200 °C, 但相关研发活动正进一步将其推向更高温度区间, 以充分挖掘烧结连接的潜力。

参考文献

- [1] Yan, H., Liang, P., Mei, Y., & Feng, Z. (2020). Brief review of silver sinter-bonding processing for packaging high-temperature power devices. Chinese Journal of Electrical Engineering, 6(3), 25-34.
- [2] Schaal, M., Klingler, M., & Wunderle, B. (2018, September). Silver sintering in power electronics: the state of the art in material characterization and reliability testing. In 2018 7th Electronic system-integration technology conference (ESTC) (pp. 1-18). IEEE.
- [3] Wu, R., Blaabjerg, F., Wang, H., Liserre, M., & Iannuzzo, F. (2013). Catastrophic failure and fault-tolerant design of IGBT power electronic converters - an overview. IECON 2013, pp. 507-513.
- [4] Baker, N., Liserre, M., Dupont, L., & Avenas, Y. (2014). Improved reliability of power modules: A review of online junction temperature measurement methods. IEEE Industrial Electronics Magazine, 8(3), 17-27. <https://yageogroup.com/>

<https://yageogroup.com/>

EP Shanghai EP电力展

2026 | 12.3-5

中国·上海新国际博览中心 (浦东N1-N5/W4-W5)
Shanghai New International Expo Centre, Shanghai, PR China (N1-N5/W4-W5)

主办单位
Host



2,200+
展商/品牌 Exhibitors/Brands

86,000
平方米 Square meters

致力打造
全球化电力产业
生态圈

Building a Global
Power Industry Ecosystem

电网筑基
Power Grid
电网侧

N+ Scenarios
场景深耕N+
Power Generation/
Vertical User
发电侧/用户侧

海外拓界
Overseas
出海不出国

40
1966-2026
见证40年蝶变
赋能全球能源转型
Witnessing 40 Years of Development,
Empowering Global Energy Transition

覆盖5大领域

Focus on Five Sectors

构建 新型电力系统
[新] [电] [力] [系] [统] 新生态

一站式输配电
One Stop Power Transmission & Distribution

新能源·储能/氢能
New Energy · Energy Storage / Hydrogen Energy

能源数字化
Energy Digitalization

电力自动化
Electric Power Automation

电力智能制造
Intelligent Manufacturing

同期展会 Concurrent Expos

ES Shanghai 2026
上海国际储能展

CDCE 国际数据中心展 2026
CHINA DATA CENTER EXPO



EP电力展公众号



EP电力展云平台

承办单位 Organizers

中国国际贸易促进委员会电力行业委员会
China Council for the Promotion of International Trade,
Electric Power Industry Office

雅式展览服务有限公司
Adsale Exhibition Services Ltd.

EPChina_Show

@ep.china

@epchinashow

www.EPChinaShow.com

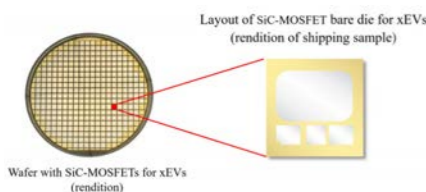
1.2kV IGBT 模块新世代 损耗再降 19%



面向工业变频器、UPS 与新能源逆变器，Infineon（英飞凌）于 5 月发布新一代 1.2kV EconoDUAL 3 IGBT 模块平台，采用 TRENCHSTOP IGBT7 沟槽场截止芯片与新型 EC7 二极管组合。在相同电流等级下，模块整体损耗较上一代 IGBT4 降低约 19%，结到外壳热阻下降 12%，使开关频率上限提升至 20kHz 区间。模块沿用业内通用的 EconoDUAL 3 与 62mm 封装，覆盖 300—900A 多档电流，便于客户在现有平台直接升级。

www.infineon.com

第五代 SiC MOSFET 裸片直供模块厂



Mitsubishi Electric（三菱电机）新一代 SiC MOSFET 裸片于 6 月初开始向汽车功率模块厂商批量送样，电

压平台覆盖 750V 与 1200V，重点服务 400V 与 800V 电驱系统。芯片采用第五代沟槽栅结构，导通电阻较上一代下降约 25%，关断损耗减少 20%，并在栅氧化层可靠性上引入新的强化工艺，将 BTI 漂移寿命提升一倍以上。器件支持 17V 推荐栅压，并将短路耐量提升至 3 μ s，方便客户在 800V 平台与 ASIL-D 安全架构中直接使用。Mitsubishi Electric 同步发布配套

产品同步通过 AQG 324 部分项与 IEC 60747-9 标准验证，可在 175 $^{\circ}$ C 结温下连续工作。Infineon 强调，该模块兼顾「易替换」与「高效率」，特别适合存量工业平台的能效升级，以及面向风、光、储一体化系统的高密度功率级设计。

SiC 驱动专用隔离 DC-DC 转换器 提供 $\pm 20V$ 双路供电



面向 SiC 与 GaN 高速开关栅极驱动场景，日本电子元件大厂 Murata（村田制作所）于 5 月发布全新 MGJ1T 系

列 1W 隔离 DC-DC 转换器。器件采用 Murata 自有的块式线圈变压器（block-coil transformer）工艺在英国本地量产，提供 $\pm 20V$ 双极性输出与高达 5.7kVDC 隔离电压，正负偏置可独立配置，满足 SiC MOSFET 推荐的 +18V / -3V 驱动窗口。转换器在 SOIC-16 表贴封装内集成隔离屏蔽与共模噪声抑制结构，可承受 dv/dt 高达 100kV/ μ s 的快速开关瞬态，特别适用于储能 PCS、电机驱动与工业变频器中的 SiC 半桥栅极驱动级。配套提

供详细 EMC 与隔离爬电设计指南，缩短客户系统认证周期。

www.murata.com

electronica China

慕尼黑上海电子展



MESSE
MÜNCHEN

智赋全电，智驱未来



扫码注册观展

2026年7月1-3日

上海新国际博览中心

近12万m²

1800+ 展商

7万+ 观众

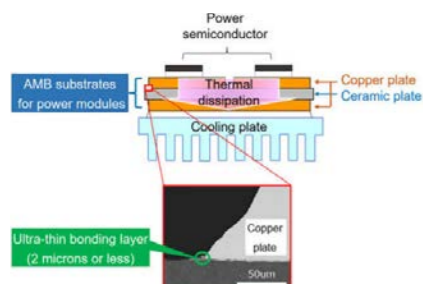
展会咨询：

邱小姐

021-2020 5522

chloe.qiu@mm-sh.com

氮化硅陶瓷基板新材料 强化功率模块可靠性



德国高性能陶瓷材料厂商 CeramTec 于 PCIM 2026 推出面向功率模块的新一代氮化硅 (Si₃N₄)

AMB 陶瓷基板, 重点服务车规 SiC、高压 IGBT 与轨交模块。新材料弯曲强度突破 800MPa, 断裂韧性较氧化铝基板提升一倍以上, 可在 -40℃ 至 175℃ 大温差工况下承受 5 万次以上功率循环不开裂, 显著延长模块寿命。CeramTec 同步发布 Rubalit 710 C 氧化铝高频基板, 表面粗糙度 ≤ 0.1 μm, 可用于高频驱动板与电流传感器载板。公司宣布在欧洲新增一条 AMB 产线, 将本地交期缩短至 4 周以

内。新基板已与多家欧洲与亚洲模块厂展开联合验证, 目标 2026 年下半年进入主驱模块量产配套, 强化欧洲本土功率模块供应链韧性。

www.ceramtec.com

车规 SiC RoadPak 模块拓展至 1150A 高电流档



面向高端电动车主驱市场, Hitachi Energy (日立能源) 一款 1200V 车规

SiC RoadPak 模块系列新增 780A、960A 与 1150A 三档高电流型号, 构建从入门到旗舰的完整主驱解决方案。模块采用双面散热结构、银烧结芯片连接与铜针 Pin-Fin 直接液冷设计, 连续电流密度业界领先, 可支撑 250—400kW 单电机输出。器件通过 AQC 324、AEC-Q101 等车规认证, 并提供与主流栅驱动 IC 配套的设计参考。RoadPak 封装具备良好的 NTC、电流传感与栅压反馈集成, 便于实现功能安全闭环。Hitachi Energy 将该系列定

位为 800V 平台旗舰主驱标准件, 目标 2027 年起在多家欧系与亚洲车企新平台上规模搭载。

www.hitachienergy.com

1250V GaN-on-Sapphire 器件直指 800V 数据中心

Delivers Highest Efficiency



Power Integrations 推出基于蓝宝石衬底的 PowiGaN 1250V/1700V GaN 功率器件平台, 目标应用于 800V

HVDC AI 数据中心配电与机架级 DC-DC。新工艺利用蓝宝石衬底优异的绝缘与机械稳定性, 实现高电压下的低漏电与高动态性能; 器件比导通电阻较硅基方案下降约 50%, 开关损耗降低 60% 以上, 并可在 200kHz 以上频率稳定工作。Power Integrations

同步发布参考设计, 将 800V 母线进一步降压至 48V 与 12V, 单级效率达 98%, 功率密度突破 2kW/in³。该平台还规划了向电动车 OBC、储能 PCS 与工业电源延伸的 1200V—1700V 系列产品, 目标在未来 3 年内成为高压 GaN 在数据中心场景的核心方案之一。

www.power.com



驱动电子制造迈向智能与可持续新纪元

Powering the Future of Smart & Sustainable Electronics Manufacturing

2026年6月2-4日
上海世博展览馆

June 2-4, 2026

Shanghai World Expo Exhibition & Convention Center



能源管理
Energy Management

工厂环境
Factory Environment

工厂运维
Factory Operations

碳足迹
Carbon Footprint

ESG

绿色
Sustainable

柔性
Flexible

SMT
Surface Mounted Technology

智能工厂
Smart Factory



微信公众号

同期展会
Held In Conjunction



主办单位
Organized By

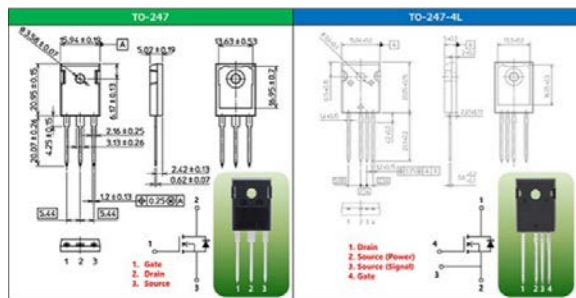


联系我们
Contact Us

孙梅女士 | Ms. Summer Sun
400 650 5611 / +86 182 3187 0376
mei.sun@rxglobal.com

官方网址: www.factec.com.cn

600V 四引脚 MOSFET 上新 适配高频高效拓扑



柱 PFC 对低开关损耗与稳定栅控的需求, Toshiba (东芝) 在 PCIM 2026 发布 6 款 600V N 沟道 MOSFET 新品, 采用 TO-247-4L(X) 四引脚封装, 将栅极回路与功率回路独立引出。相较传统三引脚封装, 四引脚方案显著降低共源电感影响, 使

针对服务器电源、储能 PCS 与图腾 开关损耗下降约 25%, 并改善并联一

致性。新器件覆盖 35mΩ—120mΩ RDSon 区间, 最高工作结温 175℃, Toshiba 同步提供低杂感栅极驱动参考方案。该系列特别适合 100kHz 以上高频拓扑, 可帮助服务器与储能厂商在不增加散热面积的前提下, 将整机效率推升 0.3—0.5 个百分点。

<https://toshiba.semicon-storage.com>

HiPak IGBT 升级沟槽软穿通 损耗与可靠性双提升



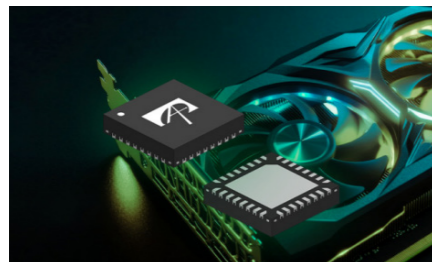
PCIM 2026 期间, 欧洲电力电

子巨头 Hitachi Energy (日立能源) 发布新一代 HiPak IGBT 模块, 采用沟槽软穿通 (TSPT+) IGBT 芯片与场效应控制 (FCE) 二极管组合。在 3300V/2100A 典型规格下, 模块导通压降下降约 0.4V, 开关能量降低 20%, 并通过更平滑的关断 di/dt 控制大幅降低过电压尖峰。新平台引入增强型陶瓷基板与硅胶填充工艺, 将功率循

环寿命提升一倍以上, 可满足轨交牵引与 HVDC 输电的长寿命要求。模块仍沿用 HiPak 通用机械接口, 便于既有平台直接升级。Hitachi Energy 强调, 新一代 IGBT 与 SiC 模块共同构成其「双材料」中高压战略, 在不同电压、电流与开关频率场景下提供差异化选择。

www.hitachienergy.com

AI Core 电源新一代控制器 + 双面散热 MOSFET



PCIM 2026 期间, 美系功率



半导体厂商 Alpha and Omega Semiconductor (AOS) 发布面向 AI GPU/ASIC 的新一代多相 Buck 控制器与配套高密度 MOSFET 平台。控制器集成 16 相高速电流均衡环路与数字遥测, 可支撑 1000A 以上单核供电需求; 配套 MOSFET 采用双面散热 α-SiC 与 GaN 工艺, 封装内置驱动器与温度传感, 使 PCB 上电源面积减少

约 30%。整体方案在典型 12V 输入、0.8V 输出工况下效率达 92%, 瞬态响应较上一代提升一倍, 可满足下一代 GPU 在数百安培纳秒级负载跳变下的供电要求。AOS 提供完整的 PMBus 设计套件与 PDN 仿真模型, 便于服务器 OEM 快速完成主板设计验证。

www.aosmd.com

广告索引

DigiKey 得捷电子	封二	FAS TEC CHINA 电子工厂设施展	36	Mitsubishi Electric 三菱电机	封底
EP Shanghai EP 电力展	33	Hitachi Energy 日立能源	07	Pcim ASIA SHENZHEN 深圳国际电力元件、 可再生能源管理展览会暨研讨会	13
Electronica China 慕尼黑上海电子展	35	LEM electronics 莱姆电子 (中国) 有限公司	目录	SwissSEM 赛晶亚太半导体	封面+封三

创新研发 国际精品

IGBT、SiC 芯片及模块

应用领域：光伏、风电、储能、输配电、电动汽车、大功率马达驱动、UPS

 <p>IGBT芯片组</p> <p>1050V/150A 1200V/100A、150A、200A 1200V/250A、300A 1700V/75A、100A、150A 1700V/200A、300A</p>	 <p>ED封装IGBT模块</p> <p>1200V/450A、600A 1200V/750A、900A 1700V/450A、600A、900A</p>	 <p>ST封装IGBT模块</p> <p>1200V/200A、250A、300A 1200V/450A、600A、800A 1700V/200A、300A、450A、600A</p>	 <p>BEVD封装IGBT模块</p> <p>1200V/400A、500A</p>	 <p>EP封装IGBT模块</p> <p>1700V/75A、100A 1700V/150A、200A</p>
 <p>SiC芯片</p> <p>1200V/12mΩ、13mΩ 1400V/15mΩ</p>	 <p>HEEV封装SiC模块</p> <p>1200V/2mΩ、3mΩ、4mΩ</p>	 <p>EVD封装SiC、IGBT模块</p> <p>1200V/2mΩ、3mΩ、4mΩ 1200V/600A</p>	 <p>FP封装IGBT模块</p> <p>1050V/650A</p>	 <p>TF封装IGBT模块</p> <p>1700V/75A、100A、150A</p>



赛晶科技集团有限公司
地址：北京顺义区空港工业区B区裕华路空港融慧园9-A
电话：010-56301111
网址：www.sunking-tech.com

赛晶亚太半导体科技 (浙江) 有限公司
地址：浙江省嘉善县惠民街道晋吉路58号
电话：0573-84819888
网址：www.swiss-sem.com



赛晶半导体微信公众号



第7/8代IGBT模块 (LV100封装)

性能特点

- 采用第7/8代IGBT硅片和RFC二极管硅片，降低损耗
- 涵盖耐压1200/1700/2000/2500V，额定电流800A至1800A
- 提高产品热循环寿命
- 紧凑封装，功率密度提升
- 易于并联应用，系统扩容
- 可选预涂热界面材料(PC-TIM)，接触热阻比传统硅脂降低50%

应用领域：

- 大功率变频器
- 光伏发电
- 风力发电

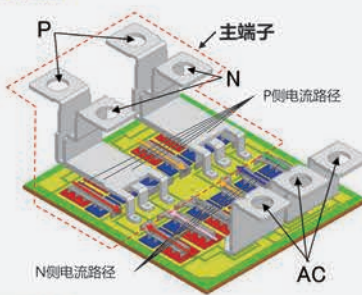


扫码获取更多资讯

型号	额定电压	额定电流	芯片技术	拓扑	绝缘耐压
CM800DW-24T	1200V	800A	第7代	半桥	4kVrms/1min
CM1200DW-24T		1200A			
CM1800DW-24ME		1800A	第8代		
CM800DW-34T	1700V	800A	第7代		
CM800DW-34TA		800A(FWD 增强)			
CM1200DW-34T		1200A			
CM1200DW-40T	2000V	1200A			
1200A/2500V 开发中	2500V	1200A			

并联使用中的封装优势

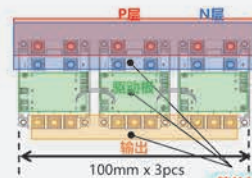
① 内部结构



- 对称的布线布局
- 叠层端子结构
- > P-N之间低杂散电感 (L=9nH @CM1200DW-34T)

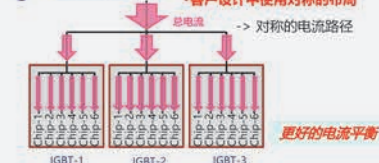
更少的缓冲电容

② 外部结构：3并联



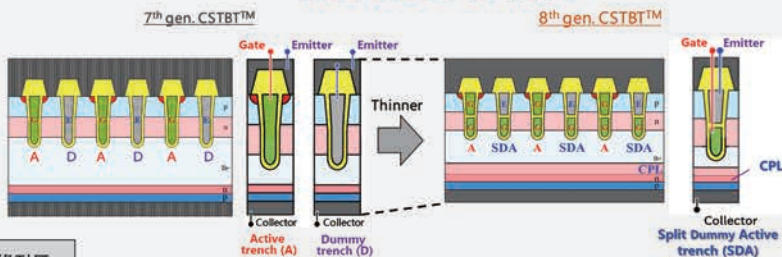
简单并可扩展的布局

③ 电流路径

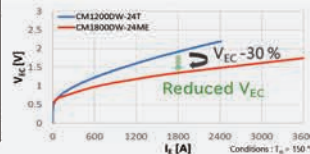
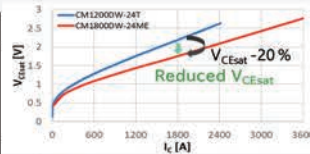


更好的电流平衡

第8代IGBT芯片技术



	1200V	7th Gen.	8th Gen.
IGBT			+39%
IGBT $R_{th(j-c)}$		1.0	-25% 0.75
Diode			+18%
Diode $R_{th(j-c)}$		1.0	-14% 0.86



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

www.MitsubishiElectric-mesh.com

关注微信公众号或网页了解更多产品资讯



三菱电机半导体官方微信