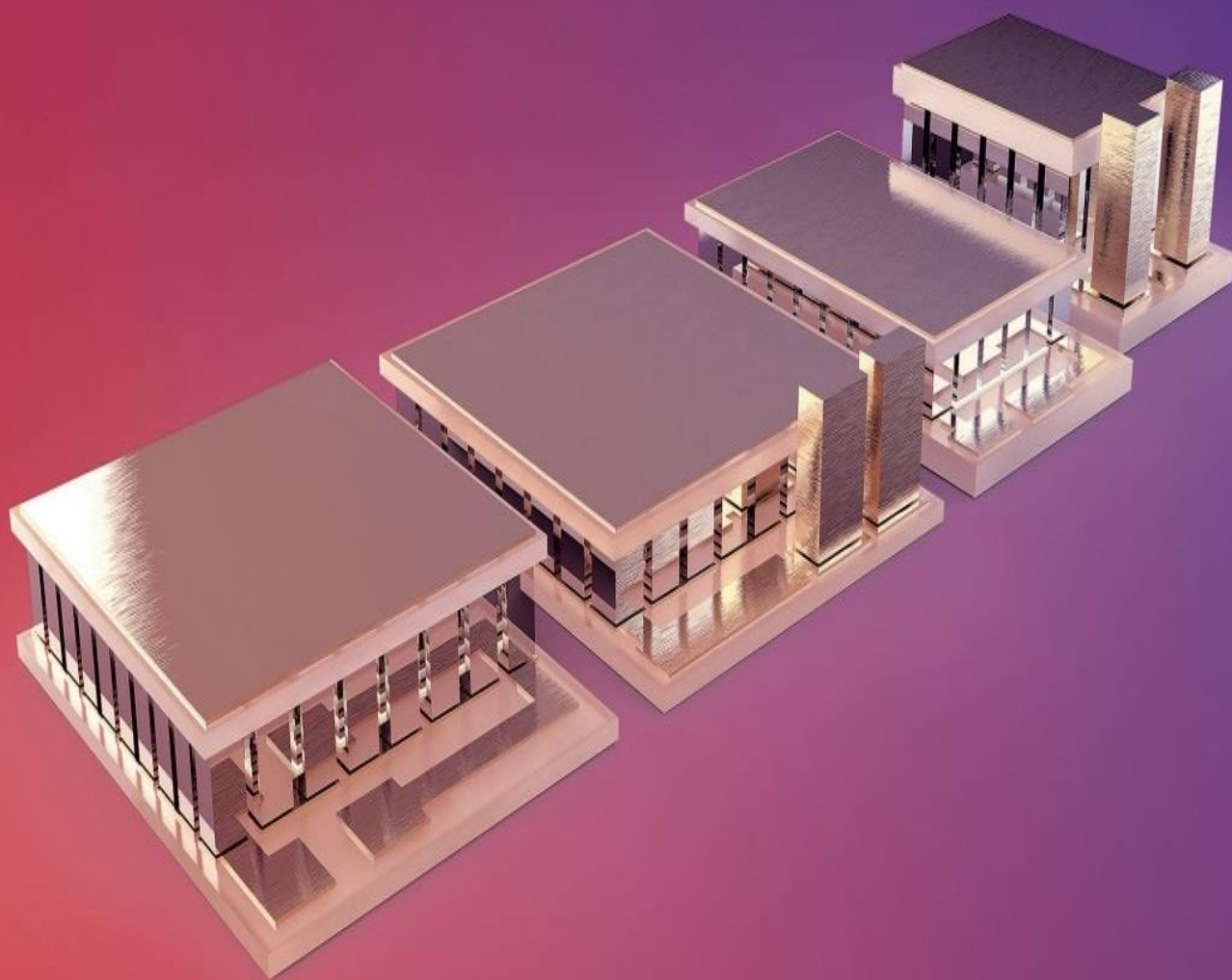




满足成本和性能需求的 TEC 设计



////////// PG.

03

Phononic 的差异优势

////////// PG.

04

针对特定应用的 Phononic
设计流程

////////// PG.

05

TEC 设计阶段的性能考量

////////// PG.

11

TEC 设计阶段的成本考量

Phononic 的差异优势

Phononic 缘何与众不同

着眼未来，推动现阶段 TEC 技术的革新

Phononic 当前致力于优化现阶段的热电冷却器（TEC）技术，但这只是我们宏伟蓝图的开端。我们深知，在前进的道路上，我们需要在性能、效率、可靠性和制造工艺方面不断改进，因此我们不断投资于材料科学，旨在实现更高的机械强度和更低的功耗。

为了实现这一目标，我们已经部署我们的现场应用工程（FAE）团队与行业领先专家凝聚成为一支深耕团队。他们数十年的丰富经验和渊博知识使我们的 TEC 产品处于当今技术的绝对前沿，确保客户能够满足当前市场的数据需求。此外，我们密切关注即将到来的庞大带宽需求，并不断扩大下一代 TEC 研发的投资，从而协助客户为不久的将来数据消费的指数级增长做好准备。当您使用 Phononic 的产品时，我们具备深厚知识储备的现场应用工程团队将助力您在当今的数据需求市场遥遥领先，并将协助您做好充分准备，满足并超越未来飞速增长的带宽需求。



PHONONIC 是谁？

Phononic 是一家开创性半导体冷却技术的全球供应商，但我们能做到的远不止如此。我们为食品工业提供强大的解决方案，助力高效、全渠道的增长。我们为供暖通风与空气调节（HVAC）领域带来创新，推动净零排放，并以较低的总体购置成本实现全电动化的商业供暖与制冷。作为光电子领域的专家，我们开发和制造的尖端热电冷却应用在性能、可靠性和质量方面均处于行业领先地位。Phononic 相信我们的未来必将更加美好、更可持续，我们的革新型固态冷却技术正在推动全球这一领域朝着正确方向稳步迈进。

大规模制造和分销的 强大合作伙伴关系

Phononic 对光电市场的过去、现在和未来有着深刻的洞察。我们密切关注推动光电产业发展的趋势和技术。在此过程中，我们敏锐地洞悉，高功率收发器的需求将很快出现爆发式增长，用于优化收发器的创新型 TEC 的需求也将随之不断扩大。我们需要更贴近客户需求的值得信赖的大批量制造合作伙伴来满足这一预期需求。正因如此，Phononic 于 2020 年与 Fabrinet 展开合作，Fabrinet 是先进光学封装和精密光学、机电和电子制造服务的领先供应商。

在此宗旨之下，这一合作关系迅速显效：我们在创纪录的时间内，在全球范围内大规模生产高性能热电产品，不仅完全符合客户要求，而且确保我们的供应链完全不会中断。

为了确保区域和全球供应满足光学收发器日益增长的市场需求，Phononic 与富泰科技 Photonteck（中国）、Seikoh Giken（日本）、Gillanix（韩国）和 El-GeV Electronics Ltd（以色列）等经销商建立了代理合作伙伴关系。

PHONONIC

—— 全球 ——
分销合作伙伴



—— 大规模 ——
制造合作伙伴

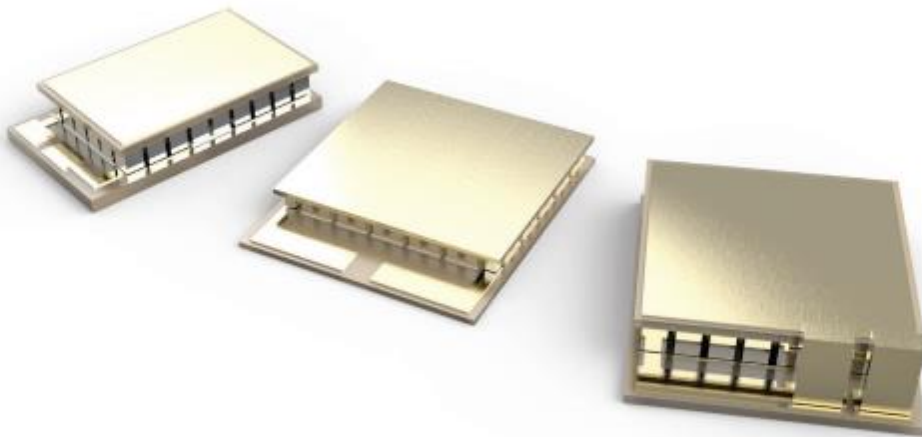
 SEIKOH GIKEN

 Gillanix

 fabrinet

 富泰科技
PHOTONTECK

 EL-GEV
Electronics Ltd





始终如一地提供优质可靠 和久经验证的技术

数以千万计的 Phononic TEC 产品目前在全球各地积极投入各种应用，包括数据中心、电信、光纤到户、5G 和激光雷达 (LiDAR)。

Phononic 严于律己，将市面上一些尤为严格的标准付诸自身实践，我们不断扩大投资进而寻求最前沿的方法，同时追求高质量和可靠性，以保持我们的行业领导者地位，国际标准化组织 (ISO) 对此深以为然。ISO 提供全球最广泛认可的质量管理体系 (QMS) 和环境管理体系 (EMS) 认证，目前 Phononic 已获得 ISO 9001:2015 和 14001:2015 标准要求认证。

2023 年，Phononic 宣布与 Luminar 签署首个热电战略供应商协议，就生产用于冷却激光雷达光学器件的高性能 TEC

展开合作。我们利用 TEC 专有技术和可扩展的设备架构，能够独具优势地提供可靠性强、高性能的冷却技术，以前所未有的方式满足汽车原始设备制造商 (OEM) 的苛刻标准。实际上，我们已经在两个主要的 OEM 汽车平台上拥有资质。Phononic 也是唯一一家获得国际汽车特别工作组 (IATF) 16949 认证的 TEC 供应商，IATF 16949 是汽车行业的全球质量管理体系标准。

事实上，Phononic 的技术受到了高度重视，我们已经将久经验证的成功经验推广应用于其他行业。在食品工业和药理学领域都能看到我们专业知识的应用，我们在这些领域中提供零售和自动化/机器人解决方案。我们还为商用供暖通风与空气调节 (HVAC) 产业带来了革新，我们在这一领域开发了全球首个可持续的固态 HVAC 解决方案。



优化设计：针对特定应用的 Phononic 设计流程



PHONONIC 的 TEC 设计

选择合适的团队将确保您能够快速完成 TEC 设计，在满足您的所有设计要求的同时，优化性能系数（COP）并降低成本。Phononic 的工程师精通如何对设备规格、寄生温度增量、处理温度范围、集成选项等进行优化。他们将帮助您确定合理的物料清单（BOM）组件，从而实现性能和零件成本的完美平衡。

如果选择现成的 TEC，您就不得不将零件进行改装，才能应用到设计之中，这种做法的最优结果依然是低效的，而最差结果则会导致高昂的成本。当您选择 Phononic 作为设计合作伙伴时，我们将利用自身深厚的热电设计知识储备来改进和优化您的产品。

设备的定制设计

您所需要的 TEC 设计需要与您的特定技术相匹配，但在投入创建之前，您希望确保这一设计能够满足您的特定设计和性能目标。对此，Phononic 将为您保驾护航。

我们从开发完整的三维热电模型起步。这为我们提供了封装热电性能的全面技术实践，使我们不仅能够预测工作节点，而且能够尽最大可能实现最佳 TEC 性能。此外，这一项目还让我们对封装设计有了深入洞察，协助降低了封装的运行功耗。

全面的制造能力

Phononic 在美国北卡罗来纳州的 Research Triangle Park 拥有占地 2 万平方英尺（约 1858 平方米）的材料铸造和设计工程设施，并借助 Fabrinet 位于泰国的全自动生产线，可实现大批量、高质量和可大规模扩展的制造，Phononic 已完全拥有按时、按规定交付针对特定应用的 TEC 的能力。



参数	测试方法	条件	样本规模	QBP	
机械 / 物理	机械冲击	JES022-B104, 条件 B GR-468-CORE	峰值加速度 1500g, 每次冲击 0.5ms, 每轴 5 次冲击, 6 轴, 共 30 次冲击 TEC 附着在镀金 CuW 基板上, 无冷侧重量	22	
	机械振动	JES022-B103, 条件 1 GR-468-CORE, 条件 A	加速度 20g, 最小/最大频率: 20/2000Hz, 每个方向 4 次扫描 TEC 附着在镀金 CuW 基板上, 无冷侧重量	22	
	键合接线柱切变	MIL-STD-883, 方法 2019	垂直施加每秒 100 微米 (μm) 的切变应力, 至接线柱的最长一侧	11	
	元件切变	MIL-STD-883, 方法 2019	垂直施加每秒 100 微米 (μm) 的切变应力, 至接线柱的最长一侧	11	
环境 / 耐久性	低温存贮	JESD22-A119, 条件 A	-40°C, 100小时	22	是
	温度循环	JES022-A104, 条件 N GR-468-CORE	-40°C 至 85°C, 单区, 斜坡 10.4°C/分钟, 浸泡 10 分钟, 循环时间 44 分钟, 100 次循环; 500 次循环	22	是
	动力循环	GR-468-CORE	I=I _{max} 开启 20 秒 / 关闭 20 秒 T _{hot} =最低温度 75°C; 最少 5000 次循环 TEC 附着在金属化的 30 mil 的氧化铝 (Al ₂ O ₃) 基板上	22 (QBP 为 11)	
	动力循环	GR-468-CORE	I=I _{max} 开启 1.5 分钟 / 关闭 4.5 分钟 T _{hot} =最低温度 75°C; 最少 5000 次循环 TEC 附着在金属化的 30 mil 的氧化铝 (Al ₂ O ₃) 基板上	22	是
	高温存贮	GR-468-CORE	85°C, 2000 小时	22	是
	高温存贮	JESD22-A103, 条件 A GR-468-CORE	125°C, 500 小时	22	是

质量控制深入每一个环节

Phononic 依靠若干统计制程控制指标来确保针对特定应用的 TEC 设计达到完美无瑕。我们将最先进的光学成像技术与统计制程控制 (SPC) 相结合, 用于组装厂所生产的每一件 μ -TEC 和 p-TEC, 并确保所有这些 TEC 与质量密切相关的关键设备参数处于控制之中, 即具有高制程能力指数 (Cpk)。此外, 所有的 TEC 都经过测量, 以确保适当的焊料体积分配和均一性。

Phononic 还利用共焦扫描声学显微镜 (CSAM) 对关键设备接口 (如焊点) 进行快速、无损的分析。我们 100% 的零件都会使用这项工艺来监测和确保元件/接头连接界面的完整性, 我们经常借助它来评估封装级组件中裸片和基板的键合效果。

通过增强型计量学方法进行测试并确保可靠性

Phononic 使用您的特定产品所定义的统计制程控制来实施工厂范围的控制计划。我们还根据美国电子元件工业联合会 (JEDEC) 标准、电信行业网络设备构建系统标准 (Telcordia) 和美国通用军事标准 (Mil Spec) 开展全面的可靠性测试, 我们可以按照您的具体需求灵活调整任何乃至全部可靠性测试。

可靠性测试—— 严格执行测试

Phononic 制定了严格的可靠性测试方案。在您同意将 TEC 设计进一步推进到可靠性测试阶段之后, 我们将执行一系列“平台合格准入”测试 (参阅下文)。任何视为新平台的 TEC 均需经过所有测试。我们的合格/不合格标准为 $\Delta\text{ACR} > 5\%$ 或 $\Delta\text{ZT} > 10\%$ 。

TEC 设计阶段的成本和性能考量

在设计激光封装时，您需要最大限度地提升性能，同时最大限度地降低组件成本，以便确保解决方案具备竞争力。良好 TEC 设计的一项主要原则在于将性能系数（COP）最大化，这是衡量 TEC（热电冷却器）热泵效率的重要指标。

根据这一原则，将计算 TEC 去除的热量，并与去除热量所需的工作量进行对照。性能系数越高，您能够实现的封装性能就越好。此外，采用非冷却式设计已不再是降低成本的必然选择。与冷却式电吸收调制激光器（EML）相比，尖端、高带宽、非冷却式的 EML 具有可观的成本溢价，如果在运行温度的整个范围内均不能达到性能预期，则可能会增加封装的总体成本。通过采用冷却式架构，您不必为了性能而牺牲成本效率，反之亦然。理想的 TEC 设计经过优化，即使在封装级别也能同时实现这两项优势。

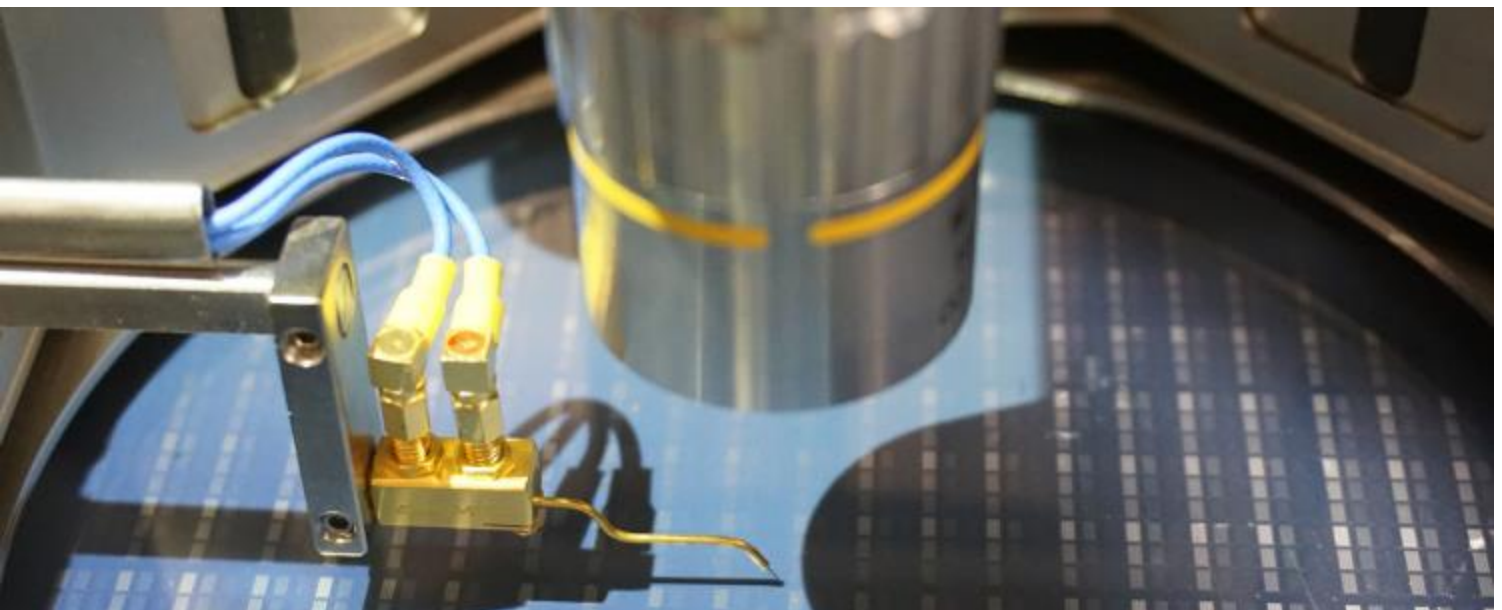
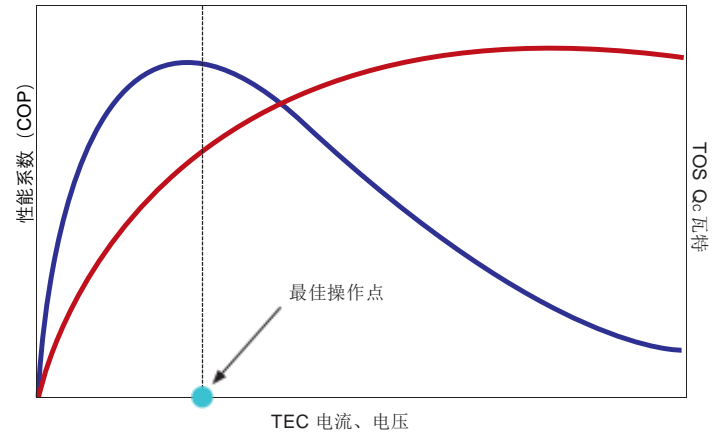


良好的 TEC 设计

在光发射次模块（TOSA）运行条件下
优化性能系数（COP）

$$\text{COP} = Q_c / P_{\text{TEC}}$$

当 $Q_c \ll Q_{c,\text{max}}$ 时，COP 达到最大值



性能的首要考量因素

TEC 的规格

TEC 的厚度和元件布局是十分关键的设计参数。在所有其他条件相同的情况下，增加元件高度（从而增加 TEC 的厚度）将提升性能系数（COP）可实现的最大值，不过，热泵的最大性能将有所降低。因此，较厚的 TEC 也不总是实现性能最大化的最佳选择，尤其在较高热密度的应用中。此外，较小的 TEC 规格（约 3x3 毫米）通常比较大的 TEC 规格（约 8x8 毫米）更具成本效益，因此，设计更小、更薄的 TEC 以优化性能和成本效益通常颇有助益。

热泵性能

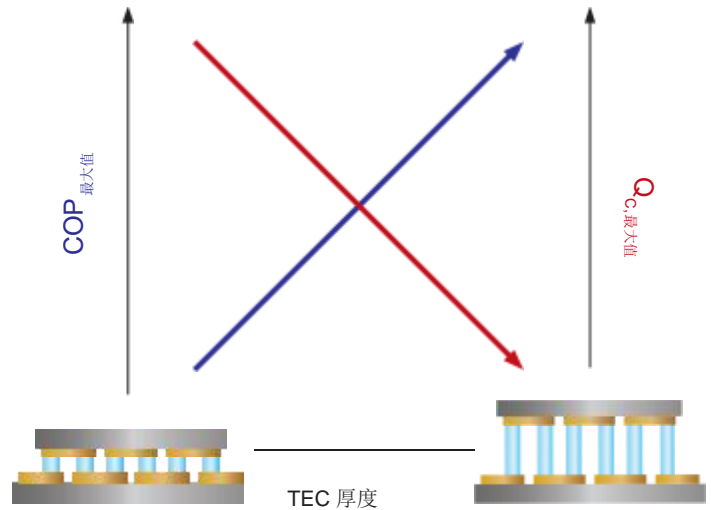
热泵性能与 TEC 内部热电材料的总量有关。随着热电元件横截面面积的增加，热泵性能也会提升。然而，这也可能导致 TEC 的成本效益降低。尽管如此，请记住，效率和热泵性能均与 TEC 的厚度相关，并需要根据 TEC 的厚度进行取舍权衡，而如上所述，TEC 厚度也是成本管理的关键因素。

封装热密度

热密度随着部件外形尺寸的收缩而增加。请注意，在双密度的四通道小型封装（QSFP-DD）或八通道小型封装（OSFP）光学收发器模块中，您可能会看到高达 12W 或更高的功率。

封装运行温度范围

很多应用正在从商用温度（C-Temp）范围（约 0°C 至 70°C）转变为更宽泛的工业温度（I-Temp）范围（-40°C 至 85°C）。这一趋势需要 TEC 在要求更苛刻的环境中运行。

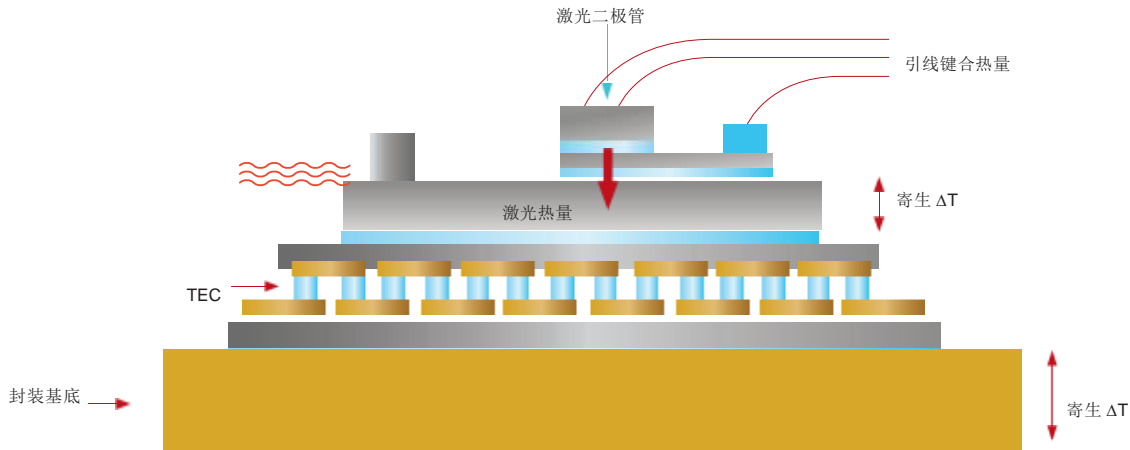


功耗

在多源协议（MSA）规范中，收发器功耗始终是一项首要考量因素。TEC 可能是激光封装中功耗最大的元件之一，但是如果您选择适合的解决方案，TEC 也将带来效率提升的大好机会。

有源热负荷与总热负荷

有源热负荷是 TEC 中光学元件的输入功耗。总热负荷还包括任何额外的有源负荷（来自驱动器或调制器的负荷）和所有无源热负荷。无源负荷属于寄生负荷，其中包括连接到激光组件的引线所带来的热对流或传导。随着更多的引线键合添加到组件中，热负荷将增加，并且随着引线键合长度的缩短，头上负荷也将增加。引线键合热负荷可以与有源热负荷等量，因此它们可以作为一项重要的考量因素。合理设计的目的在于在最大限度减少功耗和增加热负荷之间寻求平衡。



热阻

为了最大限度地减少寄生温差，良好的封装设计以低串联热阻和高并联热阻为目标。同时须考虑基座、载体和附着材料（如焊料或热环氧树脂）之间的热阻率和额外的温度增量。

降低冷侧热阻

TEC 的冷侧温度始终低于激光二极管的温度。降低 TEC 相对于激光二极管的温度增量将减少 TEC 的功耗。由于焊料的热阻相对较低，应考虑使用焊料而不是环氧树脂。此外，应考虑热扩散阻力。无论是小型激光芯片，还是较大的 TEC 冷侧，都会出现热扩散不佳的情况，这将导致 TEC 冷侧的温度增量升高，从而造成功耗增加。激光二极管底座的规格应与 TEC 的冷侧相类似，有助于改善热扩散。还需注意的是，热敏电阻器相对于激光二极管的偏移也会随着环境温度的变化而变化，这会影响精确控制激光波长的能力。

降低热侧热阻

热侧热阻和 TEC 附着材料都会影响 TEC 的功耗。焊料会驱动更高的热导率，导致温度增量减小，从而降低功耗。与环氧树脂附着材料相比，焊料附着材料可将 TEC 功耗减少高达 20%。可以考虑将预镀锡焊料作为 TEC 的另一种设计选项。

热接口处理

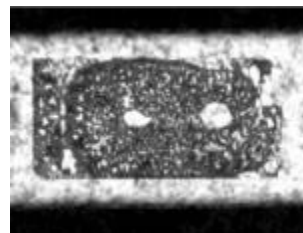
焊料/环氧树脂类型、回流/固化温度和制程的热预算都必须经过精心设计，以确保 TEC 的性能得到优化。X 射线或扫描声学显微镜等表征工具可用于对埋入界面进行质量检查。如下图所示，有空隙的不良热侧接口类型将使 TEC 无法达到预期性能。相比之下，良好的热侧接口可以实现出色的 TEC 性能。

TEC 驱动器

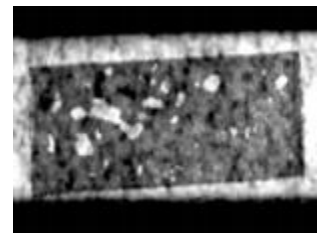
TEC 驱动器可以对光发射次模块（TOSA）级别的 TEC 功耗产生重大影响。TEC 在电流较低时发生的驱动器效率下降，与 TEC 在较高负荷下发生的驱动器效率提升（ $TEC V_{op}/I_{op}$ ），需要相互保持平衡。

环氧树脂		焊料	
低温固化	✓	卓越的导热性	✓
低成本制程	✓	可重复使用	✓
难以控制键合厚度	✗	空隙会影响性能	✗

热侧热界面的表征



有空隙的/不良热侧接口，导致 TEC 性能低下



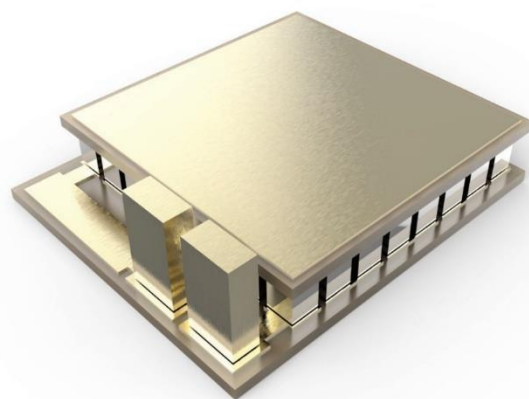
良好的 TEC 热侧接口，可发挥 TEC 的良好性能

成本考量因素

含金焊料：含金的焊料合金具备一些优势，可以提高 **TEC** 所能承受的最高处理温度，但成本效益较低。我们可以与您合作，评估您的集成制程的温度要求，提出 **TEC** 焊料的使用建议，助您实现成本和热预算的最佳平衡。

接线柱的使用

增加一个接线柱可能会简化 **TEC** 的集成，但也会扩展整体物料清单（**BOM**），从而增加成本。如果您的 **TEC** 可以支持直接引线键合，则可以在设计中省略接线柱并降低成本。



Phononic 的应用和 Design 工程师专家团队随时准备协助您开发特定技术所需的 **TEC** 优化设计。

了解更多：



关于 Phononic：作为固态冷却技术的全球领导者，Phononic 正在推动世界向着更可持续的冷却方式稳步迈进。其革新技术减少了温室气体（GhG）排放，助力气候目标的同时，满足了市场苛刻的性能需求。本公司的热电设备和集成产品对人们的工作和沟通方式、汽车“视觉”、生命攸关的疫苗和药物保护及迅捷面世、电子商务的最后一英里解决方案，以及生活和工作场所中的创新制冷方法等诸多领域发挥着任务关键型的重要作用。

了解更多信息，请访问：www.phononic.com

版权所有©2024 Phononic 股份有限公司。保留所有权利。本文件中的信息如有变更，恕不另行通知。V2-0324

地址：美国北卡罗来纳州达勒姆市 7 号卡皮托拉大道 800 号，邮编 27713（800 Capitola Dr #7, Durham, NC 27713）

网站：phononic.com **推特：**[@phononic_inc](https://twitter.com/phononic_inc)