

## 热电材料及应用物理专题编者按

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 70, 200101 (2021) DOI: 10.7498/aps.70.200101

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.70.200101>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 电介质材料和物理专题编者按

Preface to the special topic: Dielectric materials and physics

物理学报. 2020, 69(12): 120101 <https://doi.org/10.7498/aps.69.120101>

#### 超导及其应用专题编者按

Preface to the special topic: Dielectric materials and physics

物理学报. 2021, 70(1): 010101 <https://doi.org/10.7498/aps.70.010101>

#### 等离子体物理及其材料处理专题编者按

Preface to the special topic: Several problems in plasma physics and material treatment

物理学报. 2021, 70(9): 090101 <https://doi.org/10.7498/aps.70.090101>

#### 百岁铁电: 新材料、新应用专题编者按

Preface to the special topic—Centennial ferroelectricity: New materials and applications

物理学报. 2020, 69(21): 210101 <https://doi.org/10.7498/aps.69.210101>

#### 固态电池中的物理问题专题编者按

Preface to the special topic—Centennial ferroelectricity: New materials and applications

物理学报. 2020, 69(22): 220101 <https://doi.org/10.7498/aps.69.220101>

#### 统计物理和复杂系统专题编者按

Preface to the special topic—Centennial ferroelectricity: New materials and applications

物理学报. 2020, 69(8): 080101 <https://doi.org/10.7498/aps.69.080101>

## 专题: 热电材料及应用物理

## 热电材料及应用物理专题编者按

DOI: 10.7498/aps.70.200101

经过上百年的发展,人们清楚地认识到热电材料难以取得较高热电优值  $ZT$  值的原因在于材料的 Seebeck 系数  $S$ 、电阻率  $\rho$  和电子热导率  $\kappa_e$  三个热电参数间的强耦合关系,即它们都与载流子浓度  $n$  密切相关,很难通过单独操控某一参数提升  $ZT$  值.目前,热电性能优化策略大致包括两个方面,即电学性能的提升及热学性质的优化.1) 电学性质方面,通过能带工程可实现 Seebeck 系数  $S$  和电阻率  $\rho$  的解耦,从而有效提升功率因子  $PF$ ,其中能带收敛、态密度共振、能带各向异性以及能带嵌套是最为典型的能带工程策略.此外,界面工程,例如能量过滤效应和调制掺杂也可显著优化电学性质.2) 热学性质方面,通常采用降低声子弛豫时间或声子群速度的方法以实现唯一相对独立的参数——晶格热导率  $\kappa_l$  的最小化,包括引入晶格缺陷(点缺陷、纳米相、位错、晶界等)及晶格软化;另外,寻找具有本征低晶格热导率的新型热电材料也是一种可行方式,可通过在具有复杂晶体结构、强晶格非谐性、类液态行为或低声速的材料中筛选出具有本征低晶格热导率的化合物.

可以根据热电材料的适用温区范围对热电材料进行分类.1) 300—550 K 近室温区热电材料.目前达到商业化程度的近室温区材料为  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  基热电材料,其中 p 型  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  材料最高  $ZT$  值可达~1.8.近年来, n 型  $\text{Mg}_3(\text{Sb}, \text{Bi})_2$  热电材料在 300—700 K 具有优异的热电性能( $ZT$  峰值可达~1.8).2) 550—950 K 中温区热电材料.包括  $\text{PbQ}$  ( $Q = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$ ),  $\text{SnTe}$ ,  $\text{GeTe}$ ,  $\text{PbTe}$ - $\text{AgSbTe}_2$ (LAST) 及  $\text{GeTe}$ - $\text{AgSbTe}_2$ (TAGS) 等合金体系.近年来,研究人员相继发现了更多高性能中温区热电材料,如方钴矿、黝铜矿、 $\text{BiCuSeO}$ 、类液态材料等,这些中温区热电材料往往都具有较高的热电性能.3) 950 K 以上的高温热电材料. $\text{SiGe}$  合金自 20 世纪 50 年代末被发现以来,便成为在高温区工作发电的主要热电材料,目前最高  $ZT$  值在 1173 K 下可达 1.5.此外, half-Heusler 合金展现出了卓越的高温热电性能,其 p 型  $\text{FeNbSb}$  基热电材料在 1200 K 时  $ZT$  值可达 1.6.目前不同温区的热电材料诸如  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Mg}_3\text{Sb}_2$ ,  $\text{SnSe}$ ,  $\text{PbTe}$ ,  $\text{PbS}$ ,  $\text{CoSb}_3$ ,  $\text{BiCuSeO}$ ,  $\text{SnTe}$ ,  $\text{GeTe}$ ,  $\text{Cu}_2\text{Se}$ , half-Heusler 及  $\text{SiGe}$  合金等,不少热电材料的  $ZT$  值均已超过 1.5,甚至超过 2.0.

鉴于热电材料领域关键物理科学问题研究的紧迫性,受《物理学报》编辑部委托,我们邀请了国内部分活跃在该领域前沿的中青年专家撰稿,较为全面、深入地探讨了该领域最新研究成果以及基础物理科学问题.本次专题包括五个方面的内容.1) MAX 及其衍生 MXene 相碳化物热电性能调控.主要综述了近些年 MAX 相及其衍生 MXene 相材料在制备技术和热电性能的发展现状,并针对 MXene 相材料的特性提出了一些改善热电性能的可行性方案,展望了 MAX 相以及 MXene 材料在未来的发展方向和前景.2) 通过 Cu 插层协同优化  $\text{SnSe}_2$  层内和层外的热电性能.基于  $\text{SnSe}_2$  材料特殊的层状结构,引入额外的 Cu 可稳定存在于范德瓦耳斯间隙,被包围在由层间 Se 所形成的四面体中心位置,协同优化了两个方向的载流子浓度和载流子迁移率,从而证实了  $\text{SnSe}_2$  作为层状热电材料的发展潜力.3) 高性能  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  基热电薄膜的可控生长.利用磁控溅射法制备了一系列 n 型  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  基薄膜,研究衬底温度和工作压强对薄膜生长模式的影响规律,通过溅射参数精确调控薄膜的形貌、结构和生长取向,制备出层状生长的高质量致密薄膜,克服了 n 型  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  基薄膜材料难以匹配 p 型  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  基薄膜材料的困难.4) 二维共价键子结构 Zintl 相热电材料.主要综述了性能突出的  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2$  结构 1-2-2 型、原胞内原子较多本征低热导率的  $9-4+x-9$  型、具有天然空位而本征热导率极低的 2-1-2 型、以及电性能相对较好的  $\text{ZrBeSi}$  结构 1-1-1 型 Zintl 相的研究进展.5) 黄铜矿  $\text{CuGaTe}_2$  热电性能优化. Ni 原子可有效替代  $\text{CuGaTe}_2$  材料中 Cu 的位置,并引起载流子

浓度下降和迁移率提升, 掺杂后费米能级附近态密度的提升是 Seebeck 系数显著增强的主因, 最终  $ZT$  值在 873 K 可达 1.26, 因此证实磁性元素掺杂是提升热电性能的有效手段. 以上五个方面的热电材料研究, 从不同材料、不同视角探讨了热电材料的最新进展、问题、现状以及展望. 希望本专题能为国内热电材料及应用物理领域的学术交流做一些贡献, 进一步促进该研究领域的发展.

(客座编辑: 昂然 四川大学; 赵怀周 中国科学院物理研究所)

SPECIAL TOPIC—Thermoelectric materials and applied physics

## **Preface to the special topic: Thermoelectric materials and applied physics**

DOI: [10.7498/aps.70.200101](https://doi.org/10.7498/aps.70.200101)