

---

# 综述：基于外尔半金属的光场控制

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/22264.html>

*本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！*

**综述：基于外尔半金属的光场控制。** 近日，美国斯坦福大学范汕洄教授团队以Light control with Weyl semimetals为题在卓越计划高起点新刊eLight发表综述论文。斯坦福大学范汕洄教授和郭诚博士为该研究工作的通讯作者，芬兰阿尔托大学助理教授Viktar Asadchy(原范汕洄教授组博士后)、休斯顿大学助理教授赵博(原范汕洄教授组博士后)为共同一作。杜长康协助撰写本文。

外尔(Weyl)半金属的光学性质及应用是光子学和拓扑材料科学的前沿交叉课题。该综述文章首先对外尔半金属的材料性质进行了详细介绍，并推导了外尔半金属光学性质的理论模型。其后，该综述文章回顾了近年来外尔半金属在光子学和热光子学应用领域中的研究进展，包括基于外尔半金属线性光学效应的光隔离器、光环形器、非互易波导等，基于外尔半金属非线性光学效应的光电转换、轨道角动量探测、二次谐波生成等，以及通过外尔半金属调控热光子从而实现非互易热发射、热通量控制、卡西米尔力控制等。

外尔(Weyl)半金属是一种其低能量激发态服从外尔方程的拓扑材料。外尔半金属的非平凡拓扑使其具有许多不寻常的电、磁、热和光学特性，并可能在实际应用中带来新的机会，例如紧凑型光隔离器和环行器，轨道角动量探测器，和非互易热发射器等等。这些以应用为导向的探索仍处于早期阶段，仍需要世界范围内科学家和工程师的共同努力。

## 半金属和外尔半金属

根据能带理论，固体可分为绝缘体、半导体、半金属和金属(图1)。绝缘体或半导体的价带和导带之间具有带隙。半金属的导带和价带之间的接触，不过费米能级附近的态密度可以忽略不计。金属具有部分填充的导带，并且在费米能级具有可观的态密度。不同的能带结构导致不同的物理性质。比如金属、半金属、半导体和绝缘体的载流子密度以及电导率依次减小。

半金属在上述四种材料中可能是最不为人所知的。与普通金属一样，半金属随着温度的降低，其导电性会增加。且半金属固有地具有相等数量的电子和空穴，类似于半导体，它可以掺杂适当的杂质以改变电子和空穴的数量。此外，半金属通常具有小的有效质量和高的介电常数。传统的半金属是具有负间接带隙的半导体，如图2a所示，其导带的底部略低于价带的顶部，费米能级位于两者之间。半金属的经典例子包括5A族元素：砷、锑和铋。另一种著名的半金属是由层叠的石墨烯组成的石墨。

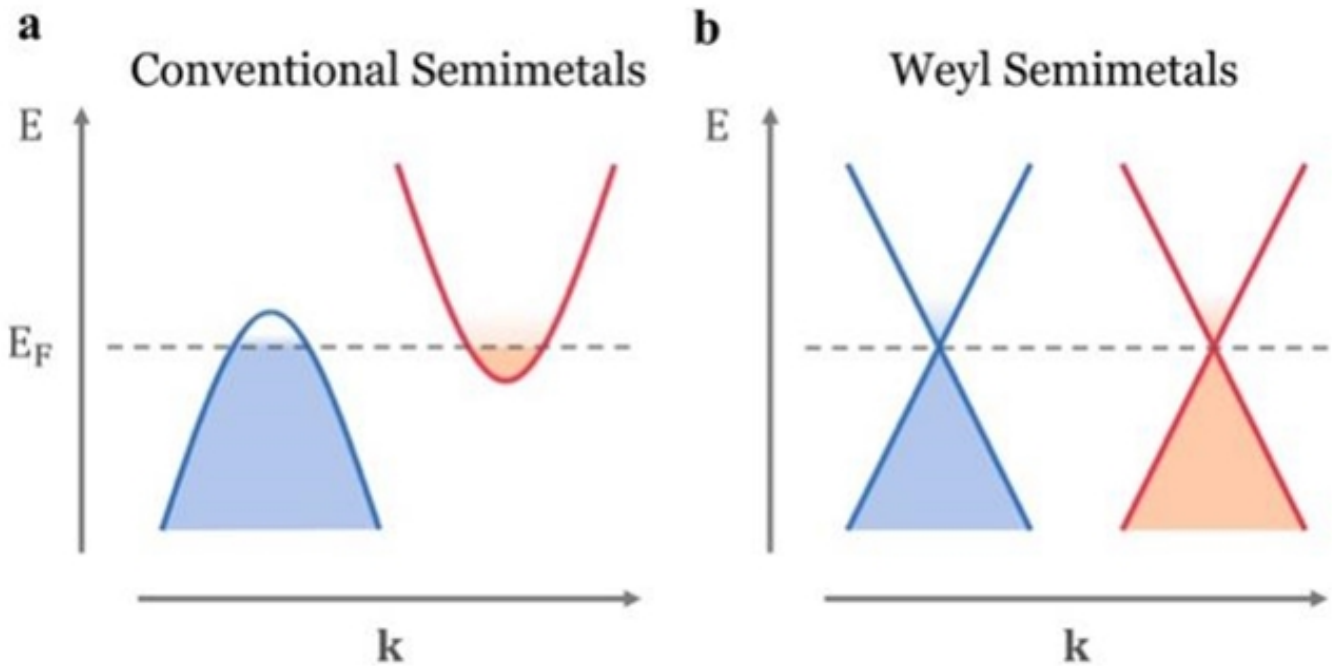


图2：传统半金属与外尔半金属(a)传统半金属的能带结构 (b)外尔半金属的能带结构

外尔半金属以已故德国数学家Hermann Weyl(1885-1955)命名，其不仅表现出半金属的共同特性而且拥有一些特殊性质。在外尔半金属中，价带和导带在波矢空间中的离散点接触，即外尔节点。而在外尔节点附近频带色散是线性的(图2b)。尽管外尔半金属在理论上已经提出近几十年，但它的实验证明是最近才提出的。因为一种材料必须满足某些必要条件，才能成为外尔半金属的潜在候选材料。首先，它必须打破时间反演或空间反演对称性。其次，外尔节点必须位于费米能级附近，这样外尔费米子可能会以低能激发的形式出现。外尔半金属于2015年首次在非中心对称晶体TaAs族中发现。随后破坏时间反演对称性的磁性外尔半金属被发现。随后许多其他外尔半金属也被发现。外尔半金属表现出丰富多样的新颖现象，同时也催生了很多光子学和热光子学应用。

## 光子学应用和器件

### 1. 线性光学效应

非互易光学元件在许多光子应用中至关重要，包括光学电路和激光器。由于反常霍尔效应，磁性外尔半金属可以在没有外部磁场的情况下表现出巨大的光学非互易性，因此可用于构造高效紧凑的非互易光学元件，比如光隔离器、光环行器和非互易波导，如图3所示。其次，磁性外尔半金属可使沿手性位移方向传播的圆偏振光获得不同的相位和衰减，适用于构建偏振滤波器。最后，外尔半金属可以在没有任何外部磁场的情况下提供一种新的实现负折射的途径，且在更宽的带宽上表现出这种现象。

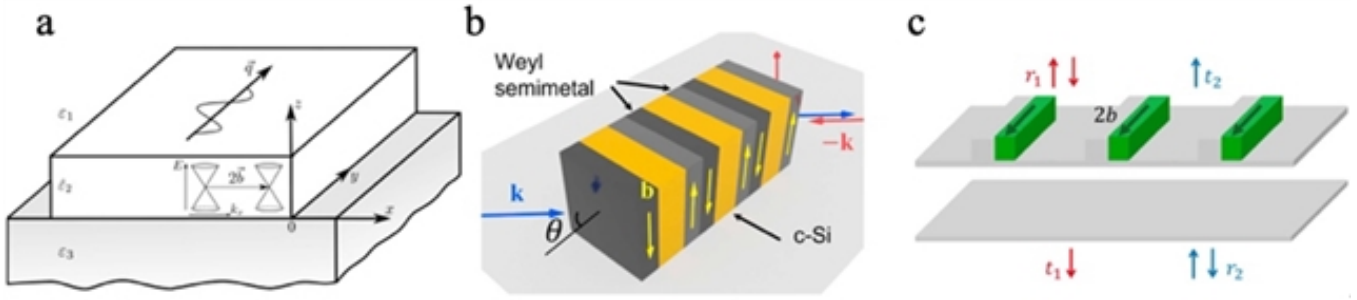


图3：线性光学元件 (a)一种基于磁性外尔半金属的非互易波导 (b)基于磁性外尔半金属的光隔离器 (c)基于外尔半金属和硅制成的光子晶体板的隔离器

## 2. 非线性光学效应

除线性光学效应之外，外尔半金属也可以表现出明显的非线性光学效应。而固体中最简单的非线性光学效应之一是光电流效应。光电流效应主要在铁电绝缘体和半导体中观察到，然而在这些材料中光电流效应通常太弱，而且光电流效应通常被限制在较窄的光波长范围内。外尔半金属可以作为这方面的理想材料。最近研究表明，非中心对称外尔半金属由于大的Berry曲率，可以表现出比传统材料更强的宽带光电流效应。此外，光可以携带轨道角动量，可以用来编码信息。然而，通过光电流测量直接检测轨道角动量具有挑战性。不过目前已有相关文献利用外尔半金属提出了一种新的光电流产生机制，其产生的光电流与轨道角动量成比例。另外最近的工作表明，外尔半金属由于其独特的载流子输运特性和强自旋轨道耦合，可以表现出强的逆法拉第效应。外尔半金属还可以产生一些其他现象和应用，比如光学克尔效应、高次谐波产生、旋致磁效应、光致反常霍尔效应、非线性磁光效应、拓扑激光器等。

## 热光子学应用和器件

### 1. 非互易热发射器

传统的热发射器遵循基尔霍夫热辐射定律。然而，基尔霍夫定律不是热力学的要求，而是洛伦兹互易性的结果。人们可以用具有不对称介电张量的非互易材料来构造热发射器(图4)。实现非互易效应的传统方法是利用磁光材料在外部磁场下的非互易响应。与传统的磁光材料相比，磁外尔半金属不需要外部磁场的作用即可表现出更强的非互易效应，并且这种巨大的不可逆性在低于材料居里温度( $T_c$ )的温度下可持续存在。

### 2. 热通量控制

传统的辐射热传递是互易的。然而在涉及非互易材料的系统中，光子可以在零温度梯度下流动产生非互易辐射热传递。由此可以实现有效的热整流(图4)。磁性外尔半金属由于其各向异性的光学特性和灵活的可调性，也为控制近场辐射热传递提供了新的机会。

### 3. 卡西米尔力控制

磁性外尔半金属还提供了控制卡西米尔力的有效方法,特别是能表现出排斥力的卡西米尔作用。最近研究表明，非互易系统中平衡状态下的卡西米尔力可以用于推进，这种推进效应也有希望可以在磁性外尔半金属中实现。(来源：中国光学微信公众号)

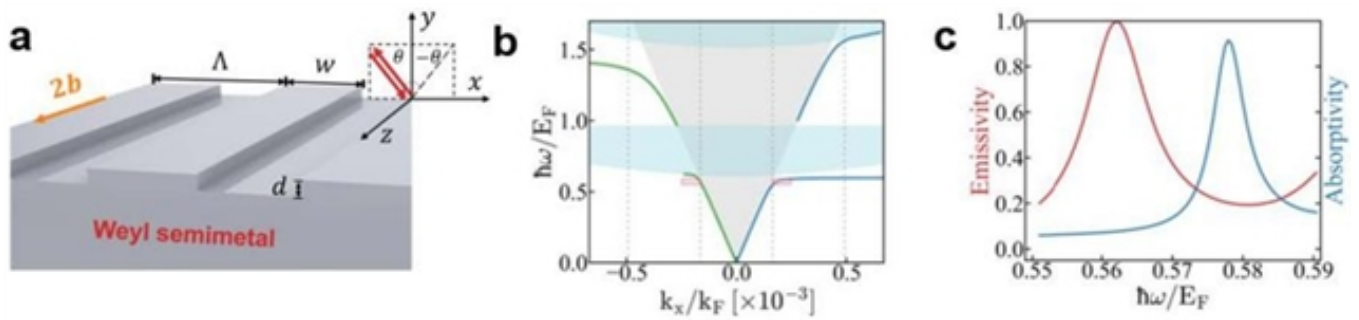


图4：热光子学应用(a)基于磁性外尔半金属光子晶体的非互易热发射器(b)外尔半金属非互易表面等离子体激元的色散(c)表面的发射和吸收光谱

相关论文信息：<https://doi.org/10.1186/s43593-022-00036-w>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性;如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任;作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：范汕洄等 来源：eLight

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发