

物理所发现二维金属中的等离激元

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/12083.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！

光照射在固体材料上会使其中的电子形成两类激发：一种是电子-空穴的对激发，称为激子；另一种是电子的集体振荡，称为等离激元。等离激元有很多奇特的应用，例如等离激元通过与光耦合形成图1所示的极化激元（Surface plasmon polariton, SPP），在电路中进行能量和信号的传输。理想情况下，等离激元有着易于激发并且不易衰减的特性。在传统材料比如金、银等金属中，由于强烈的朗道阻尼效应和等离激元与声子散射作用，等离激元有着极低的空间限域性与极高的传播损失率。这些问题使等离激元在电子信息、催化能源以及生物技术等方面的应用均受到限制。因此，制备和发现性能优异的量子材料，使其具有良好的等离激元特性成为材料应用领域的重要方向。

二维材料是实现这一目标的理想平台，在二维材料中，由于等离激元被限制在一个平面内，其衰减得到较大的抑制。石墨烯作为的二维材料的典型代表，已成为热门的等离激元材料。然而，作为半金属，石墨烯中载流子浓度较低，因此其等离激元的频率远低于常见的可见光区。其他的二维材料，也多为半金属型（如硅烯和二硒化钛）或半导体型（如氮化硼和二硫化钼），因而无法弥补载流子浓度低这一缺陷。因此，寻找合适的二维金属材料，不仅可以产生低衰减率的等离激元，而且可以与可见光进行耦合，在集成光子学器件中有着重要的应用。硼烯是一种新型二维材料，其独特之处在于其本征的金属性，预示着硼烯是很有希望的等离激元材料。

近日，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心表面物理国家重点实验室SF10组博士后廉超（现为美国得克萨斯大学奥斯汀分校博士后）和博士生胡史奇（论文共同第一作者），以及已毕业的博士张进程才，在研究员孟胜的指导下，与北京师范大学教授袁喆、北京计算科学中心教授高世武

合作，通过第一性原理含时密度

泛函模拟，计算了实验上合成的 β_{12} 型硼烯中的奇异的等离激元特性（图2和图3）。

研究表明，相比于石墨烯和黑磷等材料，硼烯在保持二维材料较强的光与材料相互作用的同时，由于其金属特性以及特殊的狄拉克能带结构，它在电子浓度、等离激元频域等方面有着优异的等离激元性能。研究发现硼烯中存在两类载流子：中心在X点的一维电子气，和中心在Y点的二维电子气（图4）。两种载流子分别对应了硼烯等离激元的两个分支：二维电子气形成了各向均匀的高能量分支，而一维电子气则形成了各向异性的低能量分支。这两种模式有着涵盖太赫兹到紫外波段广泛的频率范围，因此可与可见光实现充分耦合。同时，两支等离激元具有和石墨烯等离激元同样的低衰减率（图3）。

硼烯等离激元的低能量分支仅在 Γ -X方向形成和传播。不同于以往一维结构的等离激元，这一发现意味着在二维结构中依然可以存在单向传输的一维等离激元模式。更深入的电子结构分析证明

了这个一维模式源自于硼烯独特的电子结构，并且由硼烯中狄拉克电子的带内跃迁所贡献。研究表明，二维硼烯中存在着比想象中更为丰富的光与物质的相互作用图像，二维、一维电子气与狄拉克电子气集体激发的相互作用是导致奇异量子等离激元出现的重要原因，这也赋予其低损耗、宽频域和高定向等优良特性。这一发现拓展了以石墨烯为代表的二维材料等离激元这一研究领域，为丰富等离激元光子学材料提供了新的思路。

相关成果发表在[《物理通讯快报》](#)

。研究工作得到科技部重点研发计划和国家自然科学基金委员会的资助。

图1.等离激元极化激元在材料中产生和传播的示意图

图2. (a) β_{12} 型硼烯晶格结构以及布里渊区；(b) β_{12} 型硼烯等离子激元沿 Γ -X 与 Γ -Y 方向的色散关系。图中展示了低能模式 (LE)、高能模式 (HE)，和石墨烯中的等离子激元

图3. (a) β_{12} 型硼烯等离子激元限域能力 $\lambda_{\text{air}}/\lambda_p$ 随能量的变化；(b) β_{12} 型硼烯等离子激元传播损失率 $\text{Re}[q]/\text{Im}[q]$ 随能量的变化

图4. (a) β_{12} 型硼烯三维能带结构；(b) β_{12} 型硼烯布里渊区电子气分布；(c) β_{12} 型硼烯电子气带内跃迁分布

研究团队单位：物理研究所

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

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