

Science 重点推荐半导体所在拓扑激子绝缘体相方面的研究进展

激子绝缘相首先是诺贝尔奖获得者 Mott 教授早在上世纪 60 年代提出，Mott 提出考虑库仑屏蔽效应，在半金属体系中电子-空穴配对而形成激子，可能会导致体系失稳，从而在半金属费米面处打开能隙，形成激子绝缘体状态。但是迄今为止，实验上观测激子绝缘体相是一个尚未完全解决的关键科学问题。激子绝缘体相存在及其玻色-爱因斯坦凝聚的确凿证据还不是很充分，主要是由于激子的寿命较短，带来观测上的困难。

InAs/GaSb 半导体量子阱系统是十分重要的红外探测器体系，其能带结构十分独特，本征情况下也会自发形成空间分离的二维电子气和空穴气。由于其电子、空穴的空间分离，激子寿命变长，为研究激子绝缘体提供了一个良好平台。在 InAs/GaSb 半导体量子阱中，通过调节 InAs 和 GaSb 层厚，可以使得 GaSb 层的价带顶高于 InAs 层的导带底，这样体系中可以自发地形成局域于 InAs 层的电子气，和局域于 GaSb 层的空穴气，两者在实空间分离。斯坦福大学张首晟组的理论工作证明 InAs/GaSb 量子阱的基态是二维量子自旋霍尔绝缘体，杜瑞瑞实验组在该系统中观察到了拓扑边缘态的输运，并且发现边缘态输运即使在强磁场下还能保持。

如果考虑电子-空穴间的库仑作用，即当激子束缚能大于体系的杂化能隙时，理论上猜想该体系基态形成如 Mott 教授预言的激子绝缘体相甚至拓扑激子绝缘相。美国 Rice 大学/北京大学杜瑞瑞实验组、Rice 大学 Kono 实验组和中科院半导体所常凯理论组从实验和理论两方面研究了 InAs/GaSb 量子阱中的激子绝缘相。常凯研究员和娄文凯副研究员构造了平行磁场下激子的多带量子多体理论模型，研究了激子绝缘相的基态及其独特的色散，发现激子的基态是处于有限动量处的暗激子。在低温且低电子-空穴对密度情形下，体系打开类似 BCS 超导体中的能隙。通过研究激子的色散关系，提出利用太赫兹透射谱来验证激子绝缘体的存在，指出太赫兹透射谱表现为两个吸收峰，理论计算预言的吸收峰位与实验一致，为激子绝缘相光学观测提供了理论依据。

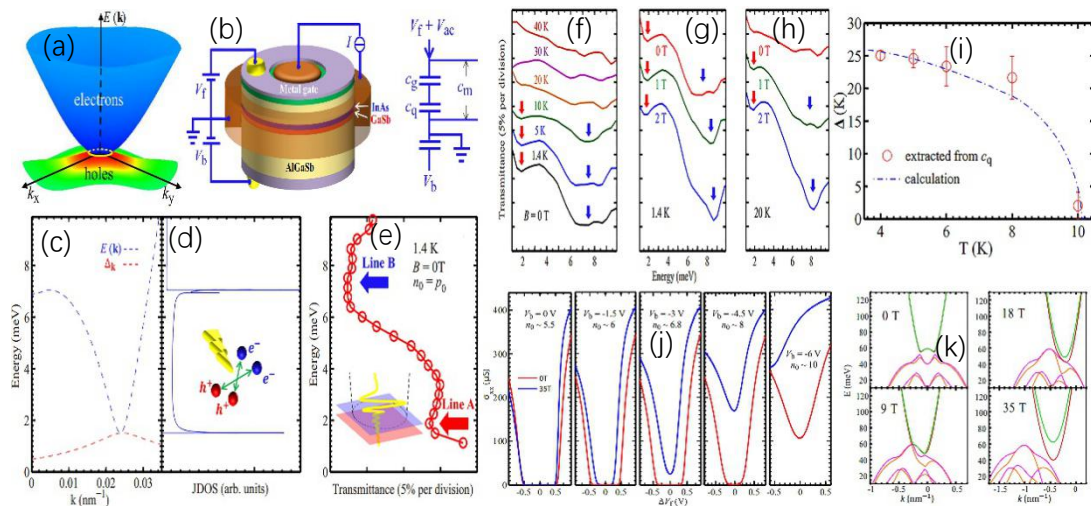


图 1 : (a) InAs/GaSb 量子阱能带谱图; (b) 实验装置示意图; (c) 激子绝缘体色散关系; (d) 激子绝缘体联合态密度; (e) THz 吸收谱; (f)-(h) THz 吸收谱: 固定磁场不同温度(f), 固定温度不同磁场(f,h); (i) 带隙与温度关系; (j) 测量纵向电导与门电压之间关系; (k) 不同磁场强度下 InAs/GaSb 能谱结构。

文章发表于 Nature Communications 8, 1971 (2017)[见 <https://www.nature.com/articles/s41467-017-01988-1>]。常凯研究员是共同通讯作者。文章发表后，被最新一期的 Science 杂志中 Physics 栏目重点推荐 [见 <http://science.sciencemag.org/content/358/6370/1552.7>]。