

纳米光子学题目

- 1、为什么物体的维度小于电子的德布罗意波长量子效应就显著？

室温下，假定电子的动能由热能决定，即 $E_k = k_B T = \frac{p^2}{2m}$ 。

因此，电子具有的动量： $p = \sqrt{2mk_B T}$

由德布罗意关系： $p = \frac{h}{\lambda}$ 得到电子的德布罗意波长： $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mk_B T}} = \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mk_B T}}$

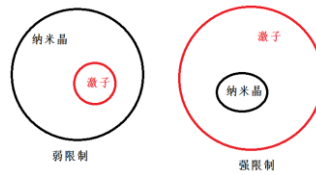
对于宽度为 λ 的无限深势阱，电子的能量表示为： $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m\lambda^2} n^2 = \frac{1}{4} k_B T n^2$

因此，能级之间最小的能量差为： $E_2 - E_1 = \frac{3}{4} k_B T \sim k_B T$

即当材料的某一维度的尺寸和电子的德布罗意波长相当的时候，电子由于热动能可以在能级之间跃迁，难以观测到能级的量子化。但是当能级之间的能量差远大于热动能后，电子仅仅依靠热动能不能在能级之间跃迁，需要吸收光获得额外能量才能跃迁，光吸收表现出线状光谱，量子效应显著。

- 2、对于半导体纳米晶，什么是弱限制，什么是强限制？强、弱限制情况下对应体系能量如何表示？哪一种限制可以使半导体量子点的光吸收边大于带隙宽度？

弱限制：纳米晶的尺寸大于激子波尔半径；强限制：纳米晶的尺寸小于激子波尔半径，如图所示。



弱限制情况下，纳米晶中的激子能量为：

$$E_{nml} = E_g - \frac{R_y^*}{n^2} + \frac{\hbar^2 \chi_{ml}^2}{2Ma^2}, \quad n, m, l = 1, 2, 3, \dots$$

强限制情况下，不考虑电子、空穴相互作用的情况下，激子的能量为：

$$E_{nl} = E_g + \frac{\hbar^2}{2\mu a^2} \chi_{nl}^2$$

弱限制情况下，存在 $-\frac{R_y^*}{n^2}$ 负项，且其绝对值一般比 $\frac{\hbar^2 \chi_{ml}^2}{2Ma^2}$ ， m, l 取 1 的时候大。因此，

激子吸收的最低能量小于带隙。而在强限制情况下，没有负值存在，激子吸收边大于带隙宽度。

- 3、为什么不能用空间光直接激发体积等离子体振荡？

体积等离子体振荡对应介电常数为 0，波矢方向与电子振荡方向一致。而空间光是横波，波矢方向与振荡方向垂直，因此不能用空间光激发体积等离子体振荡。可以通过高能电子轰击的方法激发体积等离子体。

- 4、体积等离子体频率的物理意义是什么？

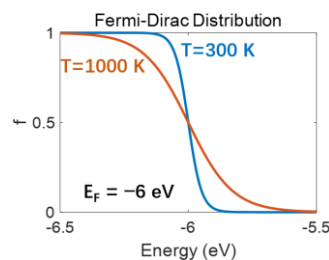
体积等离子体频率是电子整体相对于正离子的集体振荡频率。

- 5、试结合 Maxwell 方程组和界面边界条件推导 SPP 的色散关系。
见课件（不需要推导霍姆霍兹方程那一步）
- 6、为什么不存在 TE 模式的位于金属-介质界面的表面波？试结合 Maxwell 方程组和边界条件进行分析
见课件
- 7、为什么 SPP 不能用空间光照射金属-介质界面直接激发？列举两种激发 SPP 的方法并说明其激发原理。
见课件
- 8、标准 SPP 的三个特征长度是什么，其物理意义是什么？
见课件
- 9、金属纳米颗粒链中为什么纵模颗粒之间电场是增强的而横模不是？
横模：金属纳米颗粒中电子的振动方向是垂直于纳米颗粒链条的，在链条方向没有电荷的聚集，所以不能够是电场得到增强；纵模：金属纳米颗粒中电子的振动方向与链条方向是平行的，在链条方向存在电荷的聚集，因此可以实现电场的局域增强。
- 10、对于金属条带 SPP 波导，哪种情况下对场的束缚大？
短程 SPP 金属条带波导对场的束缚大，短程 SPP 金属条带波导比较厚，截面呈现矩形。
- 11、如何得到 LSP 共振的 Frohlich 条件？
见课件。

为什么采用场发射电子源后，分辨率可以得到极大的提高（相比于热电子发射）？

答：电子是费米子，满足费米-狄拉克分布：

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{\frac{E - E_F}{k_B T}}}$$



费米面上的电子在加速电压作用下的能量为：

$$E = eU - W_e = eU - W_e$$

逸出功 W_e 。为了便于电子从普通材料中逸出，给电子发射材料加热，使电子在高于费米能级有更多的电子存在。但是，随着温度的升高，电子在离开费米能级附近的分布愈加弥散，导致从材料中出射的电子的能量存在一个很大的范围，温度越高，范围越大，相当于德布罗意波长分布广，最终使电镜图片的质量变差。而对于场发射电镜，并不需要对电子发射材料加热，因此，电子在费米能级附近的分布更加集中，出射能量集中在一个小的区间，德布罗意波长更加集中，更接近单色，电镜图片得到显著提高。