



南开大学

COMSOL
CONFERENCE

2015 北京

太赫兹声子极化激元的产生及 与金属天线的相互作用

吴强，潘崇佩，张琦

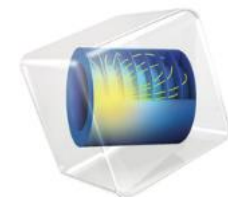
南开大学泰达应用物理研究院，天津

2015. 11

Excerpt from the Proceedings of the 2015 COMSOL Conference in Beijing



纲要



1. 研究背景

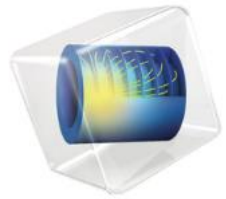
2. 工作内容

2.1 模拟方法与设置

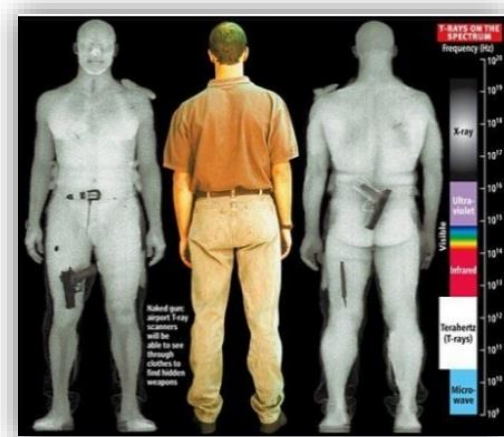
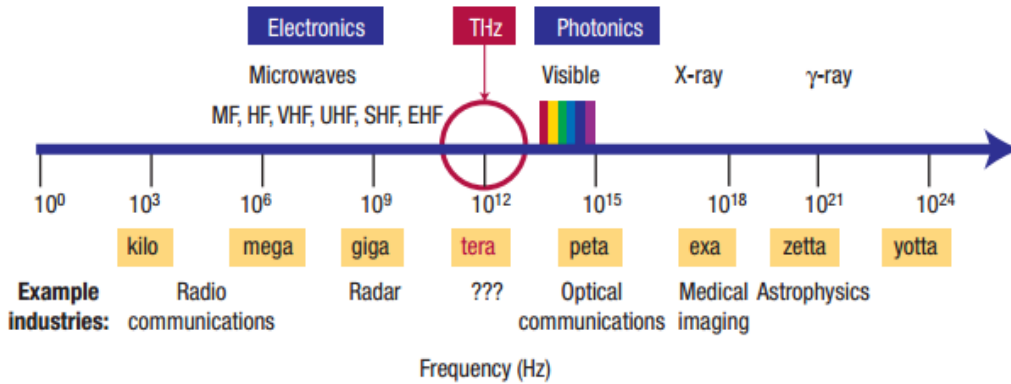
2.2 太赫兹声子极化激元的产生

2.3 太赫兹声子极化激元与天线结构作用模拟

3. 总结

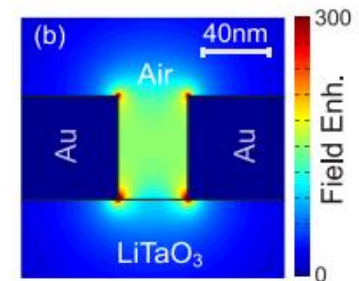
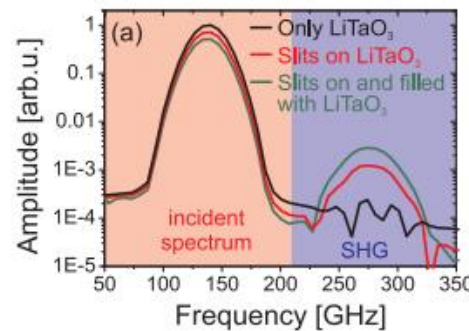
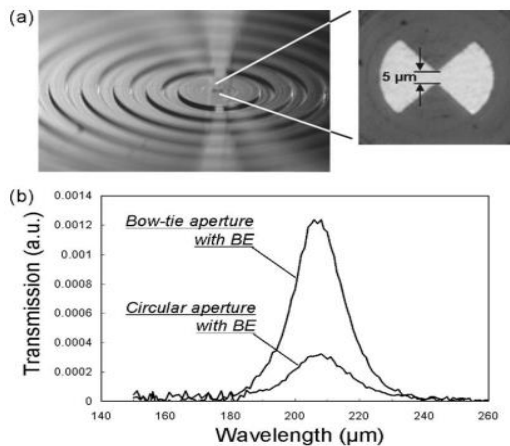


太赫兹科学与技术



Nature materials, 2002, 1(1): 26-33.

<http://www.homelandsecuritynewswire.com/>

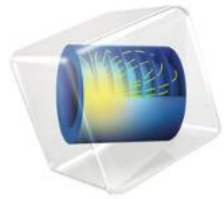


Applied physics letters, 2006, 89(20): 201120.

Optics express, 2011, 19(8): 7262-7273.



研究背景



太赫兹声子极化激元

1950年黄昆研究极性晶体光学振动模式时，提出重要观点

1958年Hopfield等人证实并提出极化激元这一概念

光学振动的振动恢复力依赖于光学位移和宏观电场

宏观电场的电极化依赖于光学位移和宏观电场

黄昆方程

$$\begin{aligned}\ddot{\vec{Q}} &= b_{11}\vec{Q} + b_{12}\vec{E} \\ \vec{P} &= b_{21}\vec{Q} + b_{22}\vec{E}\end{aligned}$$

提出全新的元激发

声子极化激元

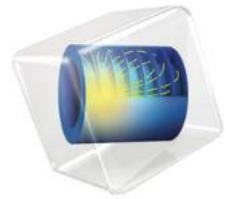
等
离子极化激元
激子极化激元等

1984年贝尔实验室成功激发

THz声子极化激元的研究



模拟方法与设置



波动方程

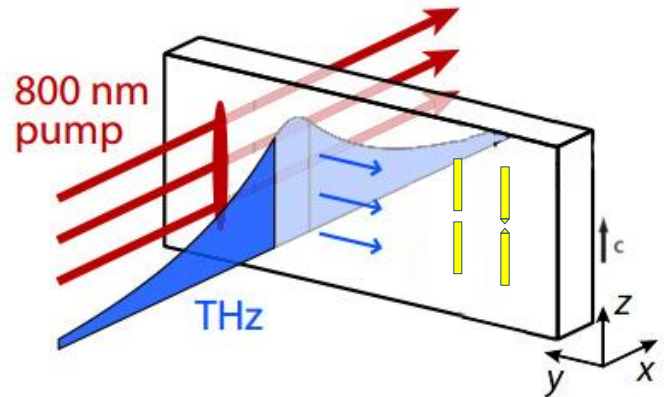
$$\nabla^2 \vec{A} - \frac{1}{c_0^2 / \epsilon_\infty} \ddot{\vec{A}} = -\mu_0 \omega_{TO} \sqrt{\xi_0 (\epsilon_0 - \epsilon_\infty)} \dot{\vec{Q}}$$

声子方程

$$\ddot{\vec{Q}} + \Gamma \dot{\vec{Q}} - b_{11} \vec{Q} = b_{12} \vec{E} + F_{ISRS}$$

引入冲击受激拉曼散射机制

$$F_{ISRS} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \sqrt{\frac{N}{M}} \left(\frac{\partial \alpha}{\partial w} \right) I_{\text{pump}}(t)$$

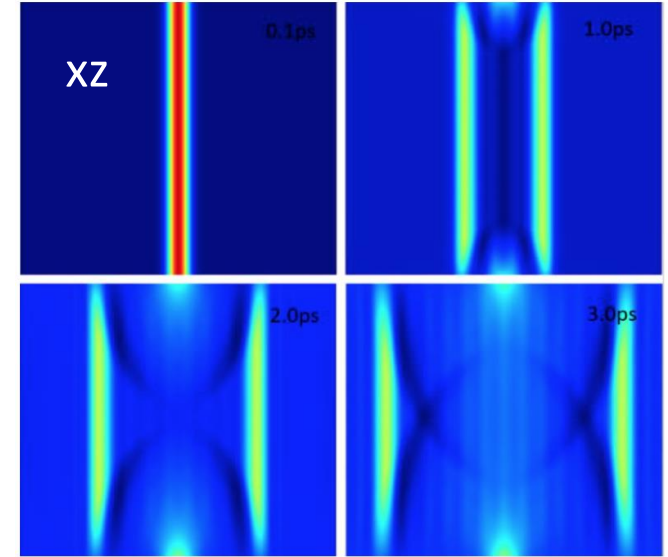
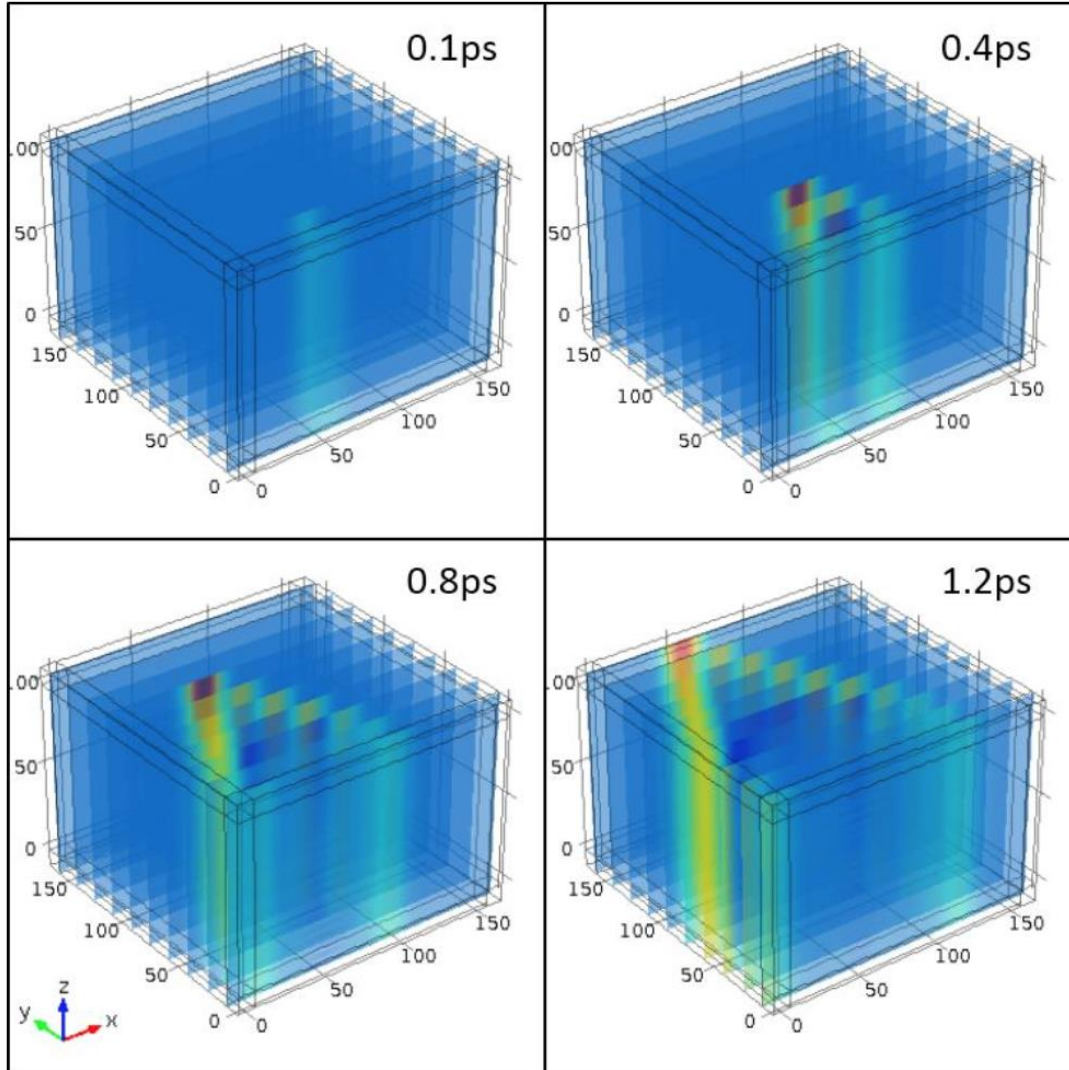
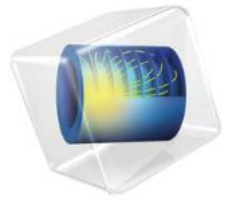


建模方法:

利用COMSOL Multiphysics中的PDE和波动光学模块。



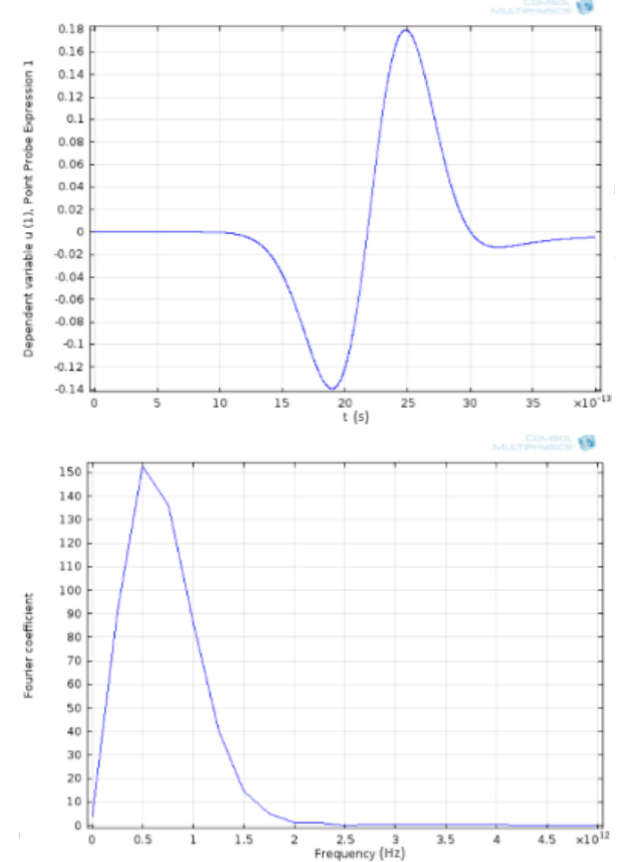
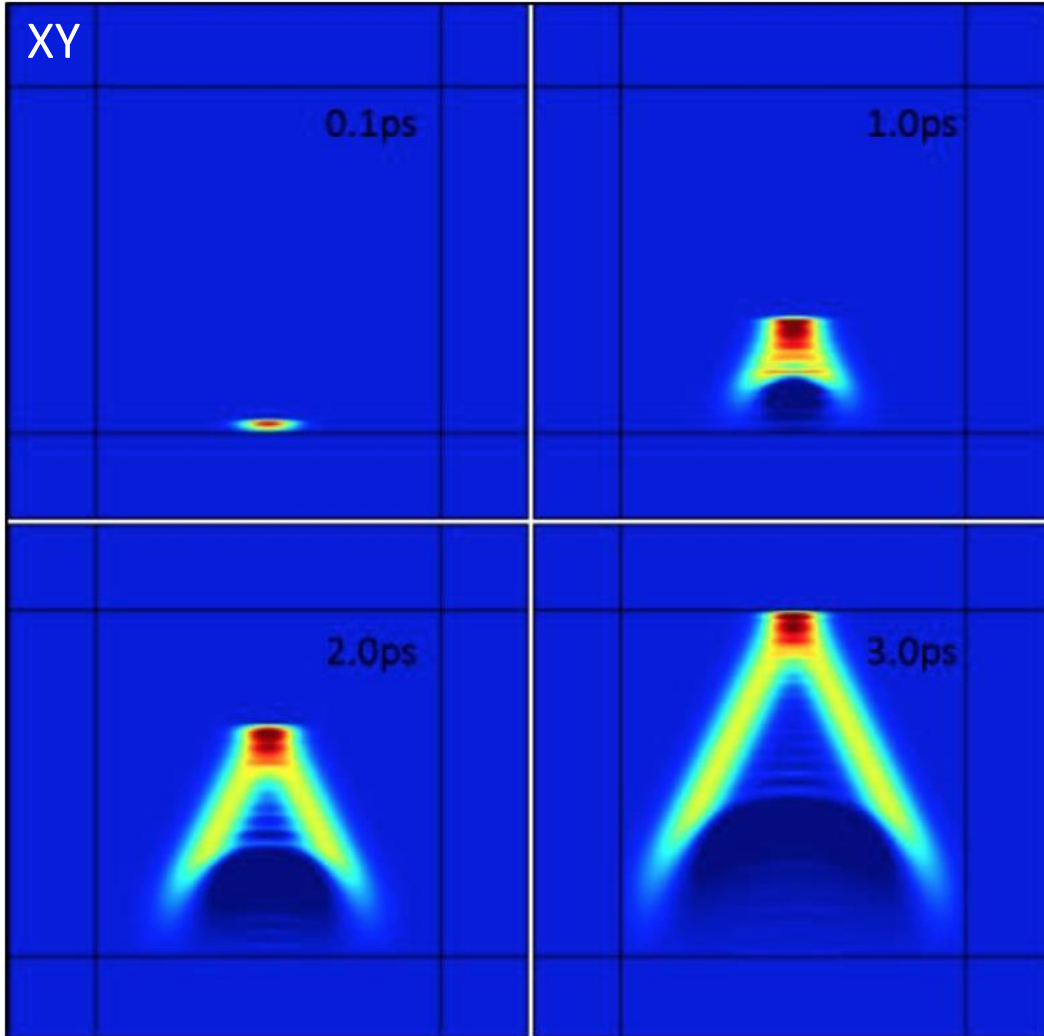
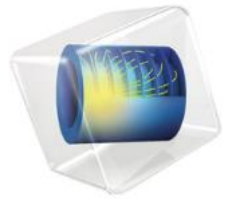
太赫兹声子极化激元的产生



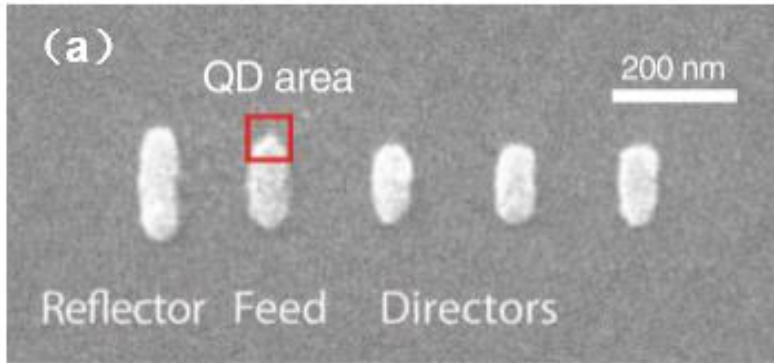
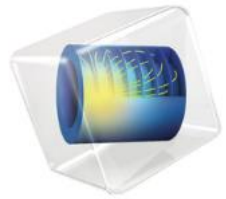
在激发项中写入飞秒激光光束的具体参数，以调节激发的太赫兹声子极化激元。

左图选取的激光参数为中心波长800nm，脉冲时间50fs，x方向激光尺寸为15 μ m。可以看到类似切伦科夫辐射的现象。

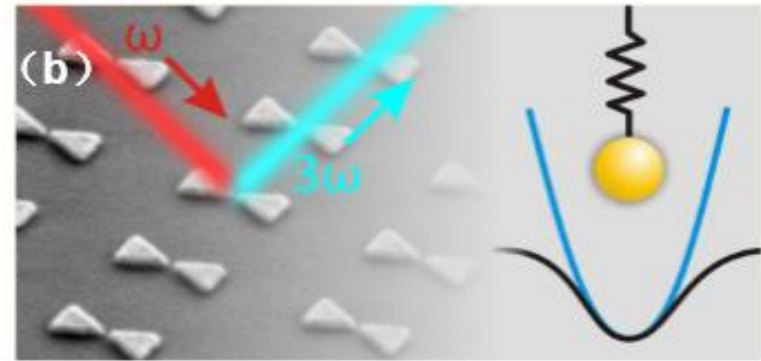
太赫兹声子极化激元的产生



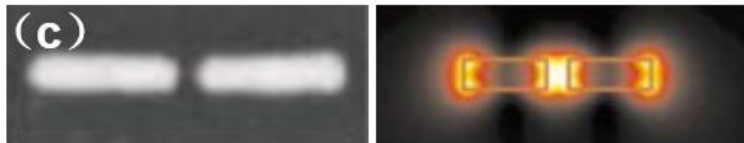
上图描述了声子极化激元随时间变化的电场图及其傅立叶变换（频谱）。



(a) Science, 2010, 329(5994): 930-933.



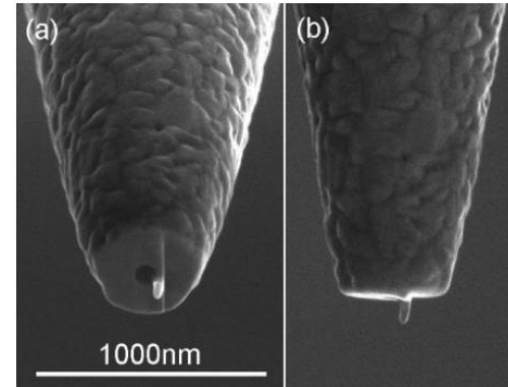
(b) Nano letters, 2012, 12(7): 3778-3782.



(c) Science, 2005, 308(5728): 1607-1609.

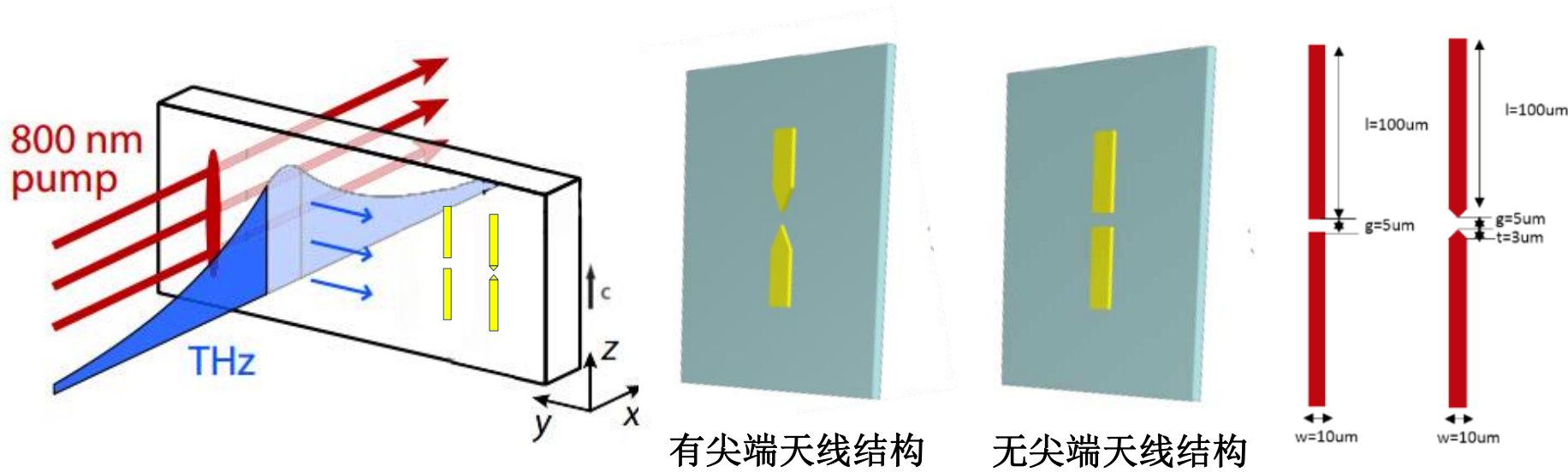
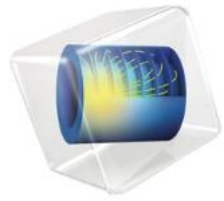
天线可以实现传播场与局域场之间的相互转换。

光学天线可实现亚波长局域，广泛用于各种近场探测和近场增强。



(d) Nano letters, 2007, 7(1): 28-33.

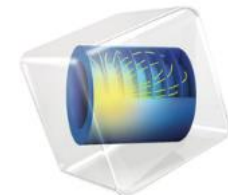
声子极化激元与天线的作用



考虑到我们光刻出的天线位于衬底（平板波导）上，建模时没有使用自由空间中天线模拟的常规方法。



声子极化激元与天线的作用



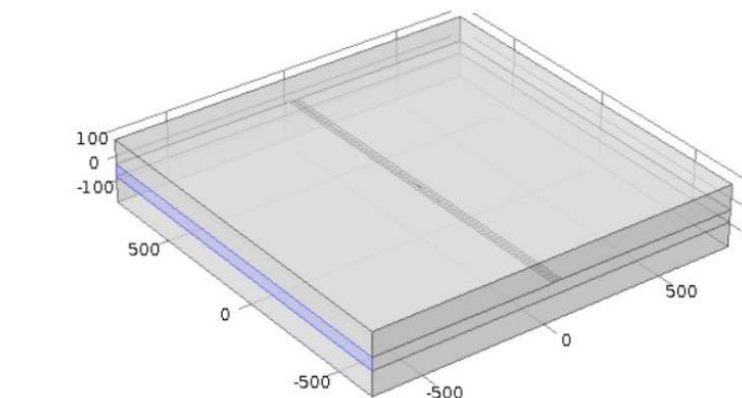
模拟设置:

COMSOL Multiphysics 射频 / 波动光学
稳态求解器

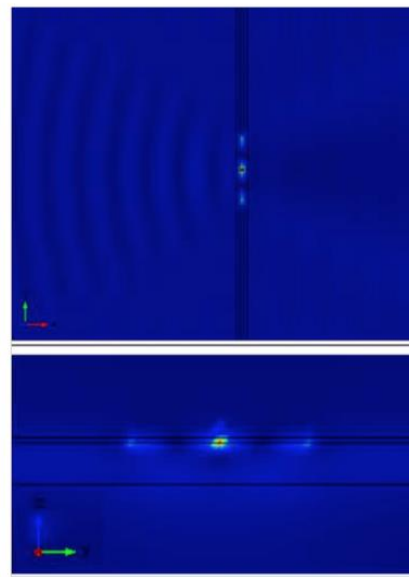
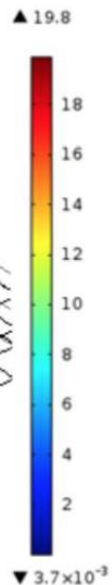
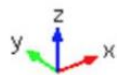
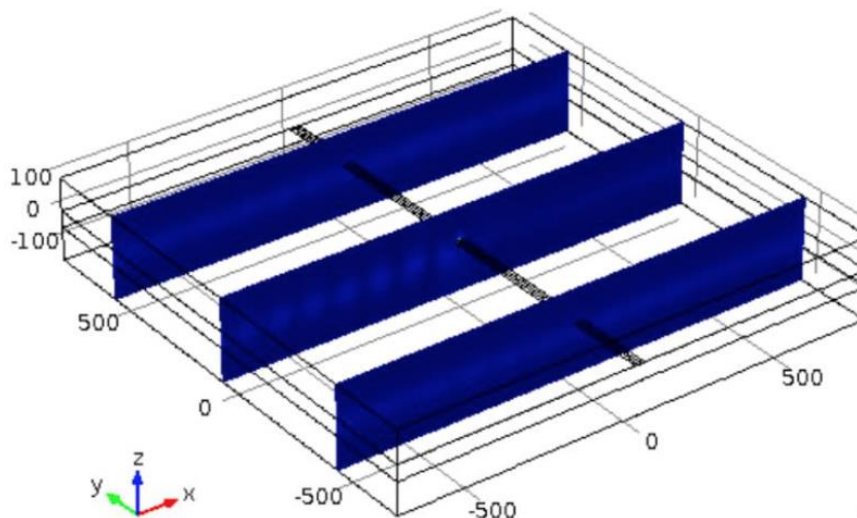
扫频

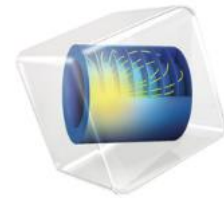
波源使用散射边界条件面激发。

下图描述了频率为 0.4 THz 三维场强分布图。 xy 平面图(右上), yz 平面图(右下)。

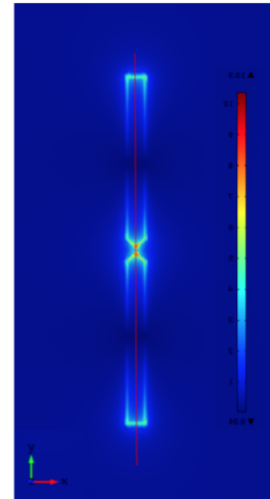
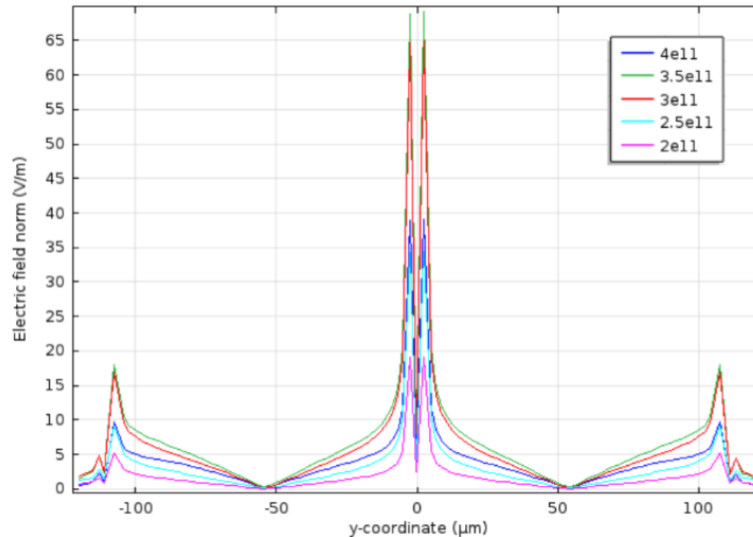
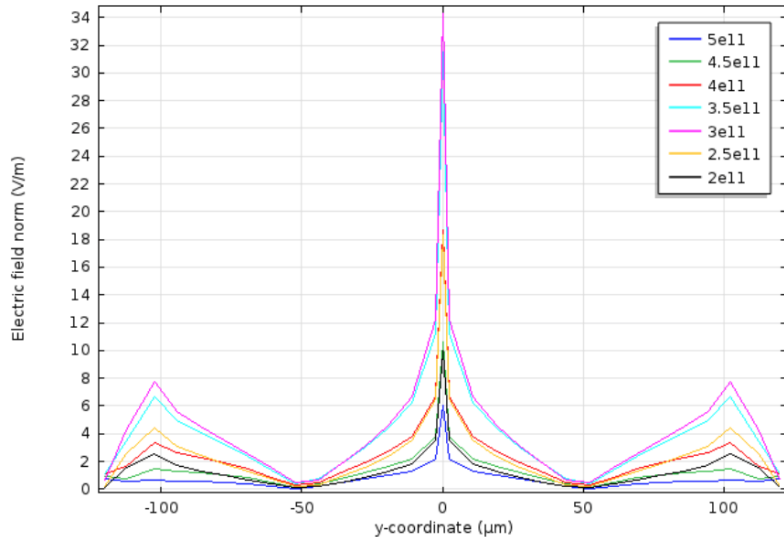


freq(3)=4e11 Slice: Electric field norm (V/m)



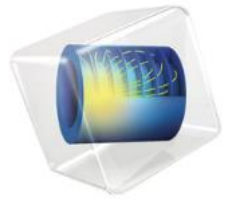


有无尖端天线的电场强度比较

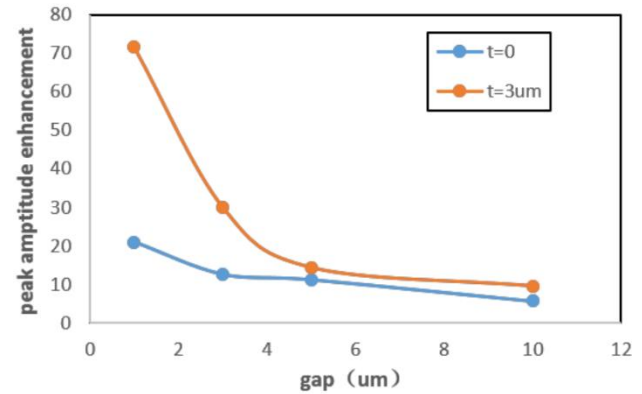
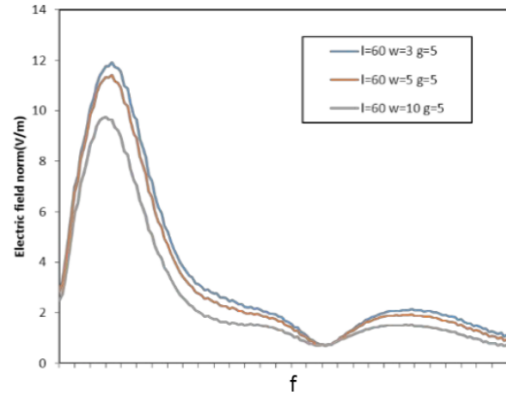
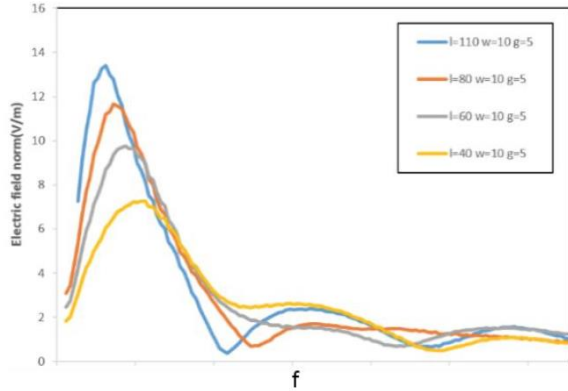


对于不同频率, 无尖端天线增强最高出现在 0.3THz, 峰值的增强倍数最高约30。

而对于有尖端的天线, 增强最高出现在 0.35THz, 最大增强倍数可达到60。对比可知, 加入领结结构后, 峰值强度增大。领结结构最大的作用在于使局域增强效果得到提高。



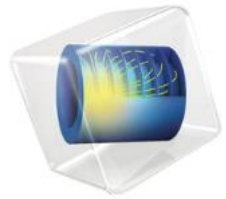
不同结构参数对结果的影响



- 随着 l 增大，共振峰位置蓝移，同时峰值强度增大。
- 随天线宽度 w 的变化，共振峰位置基本没有变化。峰值强度随着 w 的增大而减小。
- 随着天线间距 g 的减小，共振峰峰值强度得到了极大的增强。在 g 保持不变的情况下，加入领结结构比没有领结结构，共振峰强度明显提高，并且这个影响在间距越小的情况下越明显。



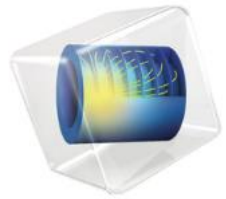
总结



- 1.使用 COMSOL Multiphysics PDE 和波动光学模块模拟了声子极化激元的产生过程。**
- 2.使用 COMSOL Multiphysics 射频 / 波动光学模块研究了两种片上金属天线结构，探究其电场局域增强特性。**



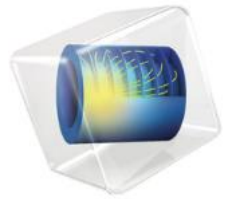
Prof. Qiang Wu's Group



<http://oldphysics.nankai.edu.cn/grzy/wuqiang/>

Research interest: Terahertz Phonon polariton / The interaction of femtosecond laser with materials and photoelectric devices.

—



**Prepared for COMSOL Conference
2015 , BJ**

Thanks for watching!