硅衬底上金圆形开口环的太赫兹谐振与电场增强调控

邹馨旎 文永正*
清华大学材料学院
*邮箱：wenyzheng@tsinghua.edu.cn

摘要

太赫兹超表面可在亚波长尺度调控电磁响应，并在金属开口附近产生局域场增强。本文建立硅衬底上金圆形开口环周期单元模型，研究开口宽度$g = 2\sim6$ μm对透射谱和硅中固定区域平均归一化电场强度的影响。结果表明，随开口宽度增大，透射谷由1.47 THz 蓝移至1.52 THz，平均场强增强由 51.09 降至 4.37。该结果可为硅基太赫兹非线性结构的参数设计提供参考。

模型设置

计算单元周期为55 μm，金环内、外半径分别为17 μm和22 μm，厚度为0.3 μm，开口宽度g取2–6 μm。横向设置周期性边界，金属使用阻抗边界条件描述。

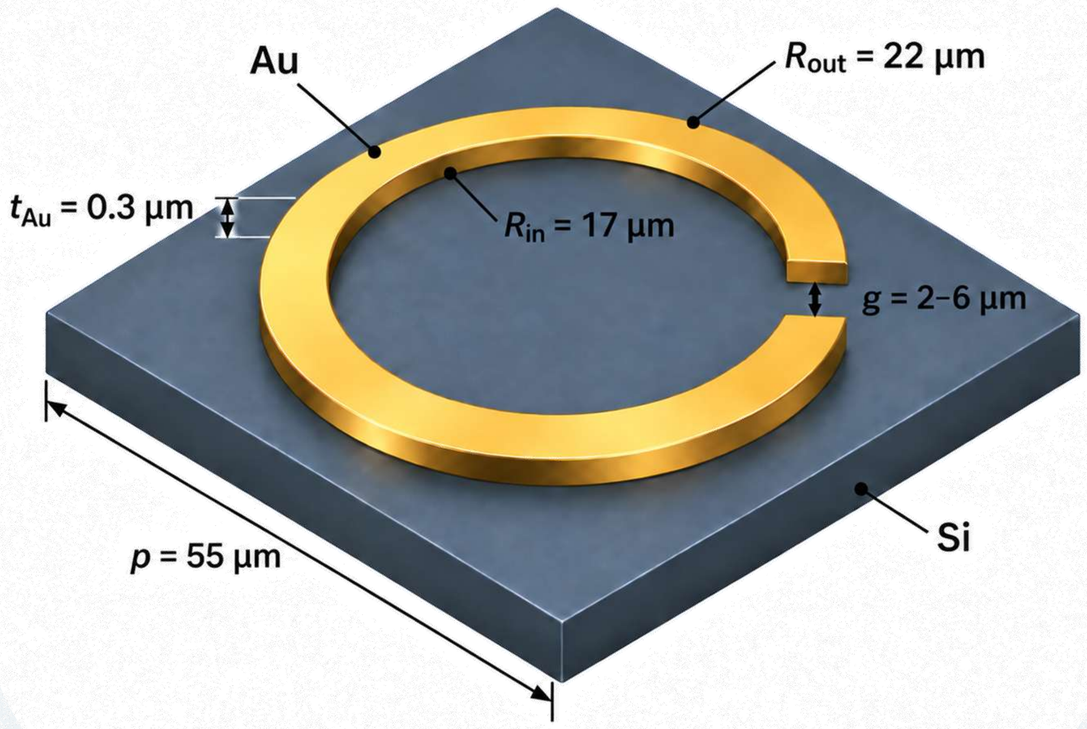


图1. 硅衬底上周期性金圆形开口环的计算模型

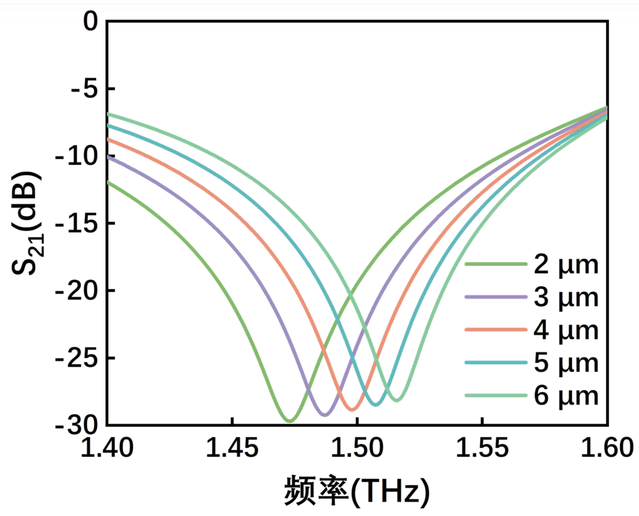
模型与网格验证

仿真结果表明，阻抗边界条件设置与当前网格精度能够满足参数扫描要求

表1.金属处理方法与网格敏感性验证结果

验证项目	比较结果
实体金与阻抗边界条件设置	平均增强差异≤2.4%
代表结构网格加密前后对比	研究范围内差异≤1.72%
单频点下网格加密前后对比	1.50 THz处差异≈0.07%

研究结果



随开口宽度增大，透射谷整体向高频移动，S_{21}谷值升高，说明开口宽度能有效调整开口环谐振位置及强度。

图2. 不同开口宽度下的透射参数S_{21}频谱

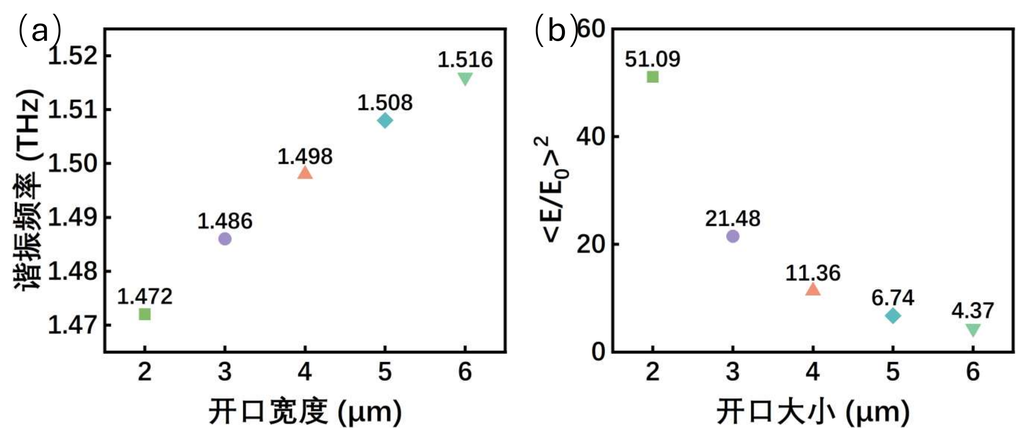


图3.开口宽度对（a）透射谷频率和（b）固定硅区域平均归一化电场强度的影响。

随$g = 2\sim6$ μm变化，透射谷频率由1.47 THz升至1.52 THz，各结构在透射谷频率处的固定硅区域平均$<|E/E_0|^2>$由**51.09降至4.37**。

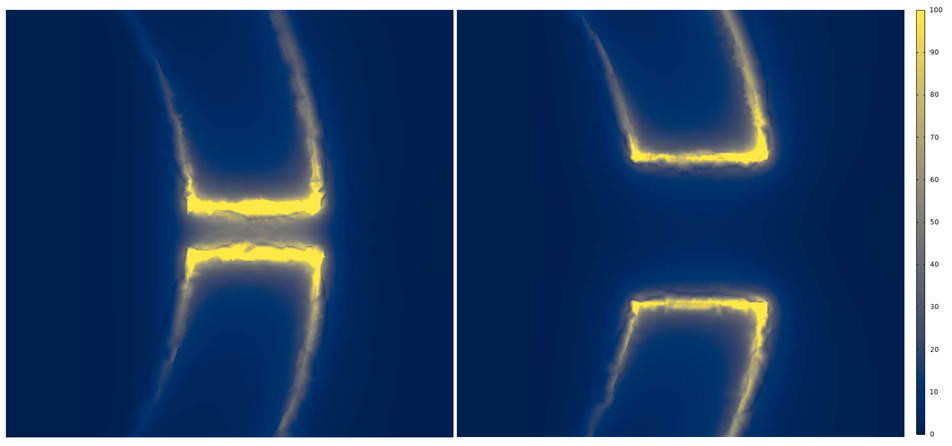


图4. $g = 2$ μm和$g = 6$ μm结构在各自透射谷频率处的局部归一化电场分布（超过100的数值以色标顶端颜色表示）

两种结构均在开口边缘形成明显的局域高场区域。统一色标下，$g = 2$ μm结构显示出更宽的高场分布，与固定硅区域平均增强较高的结果一致。

结论

- 开口宽度可同时调节圆形开口环中的太赫兹谐振位置和硅中局域场增强
- 减小开口能显著提高固定硅区域的平均归一化电场强度，其中$g = 2$ μm结构的平均增强倍数约为$g = 6$ μm的**11.7倍**