硅薄膜中四分量辐射相消形成的 Friedrich-Wintgen 型连续域束缚态

Litian Zheng　Zhengji Xu（通讯作者）
中山大学微电子科学与技术学院，广东珠海 519082，中国

结构与本征模

我们利用 COMSOL Multiphysics 的 RF 模块研究 1550 nm 的 TE 本征模。
无损各向同性材料，Γ 点（$k_x = 0$），Floquet 周期边界和上下完美匹配层。
周期约 1.385 μm，标称厚度约 0.69 μm，单界面峰谷差约 23 nm。

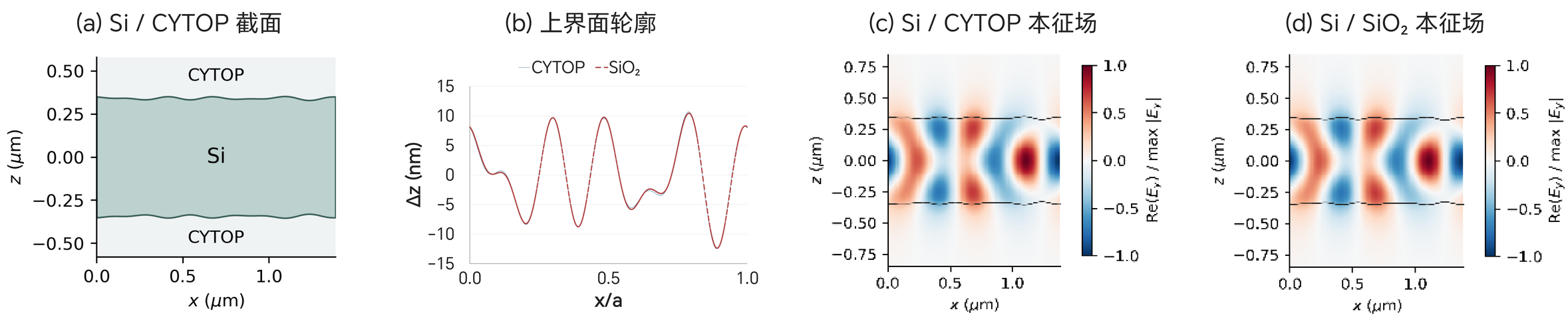


图 1　Δz 为上界面高度相对于均值的变化，场图为归一化 $\mathrm{Re}(E_Y)$。上下界面关于中平面镜像对称。

四分量辐射相消

以中平面 ±2、±3 阶傅里叶分量为基底，提取同频辐射矩阵 D。
上下两侧 0、±1 级辐射在偶对称子空间内形成三个独立组合。

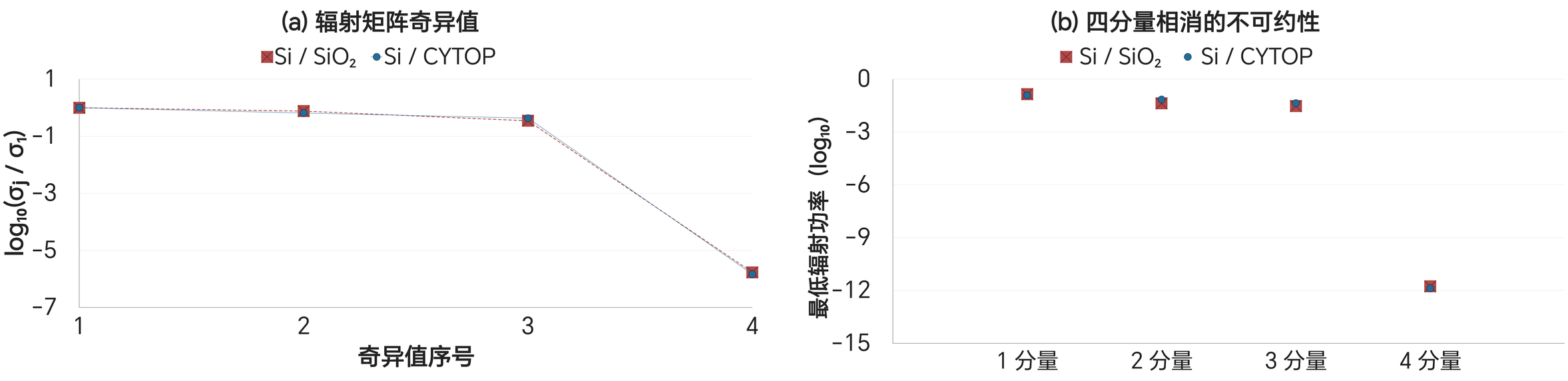


图 2　左图辐射矩阵呈秩三，σ_3/σ_1 在 CYTOP、SiO_2 中分别为 0.43、0.35。右图取各类全部组合的最小 p(S)。
单、双、三、四分量分别含 4、6、4、1 种组合。一至三分量均有辐射，四分量相消态满足无源条件。

$$p(S) = \min \frac{\| D_S\, c_S \|_2^2}{\| D \|_F^2}, \quad \| c_S \|_2 = 1$$

按组合 S 选取 D 的对应列，得到子集矩阵。
以四个单位分量各自出射功率之和归一化。

参数扰动下的逐通道辐射

上界面增加 $\delta \cos(10\pi x/a)$，并保持中平面镜像对称。
每种包层计算 11 个扰动点，以复场重叠跟踪同一本征分支。

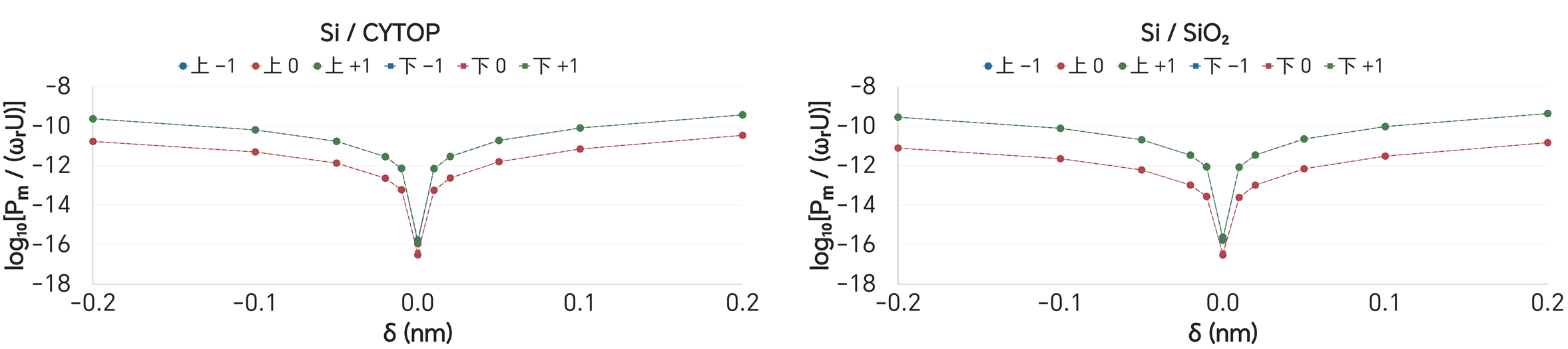


图 3　六个通道在 δ = 0 处同时达到辐射最小值，对称通道曲线近乎重合。U 为 PML 外时均电磁能量，目标点达到数值辐射下限。

据我们所知，本工作首次通过仿真验证了由四个缺一不可的傅里叶分量共同实现三个独立辐射组合相消的 Friedrich-Wintgen 型连续域束缚态。

H. Friedrich & D. Wintgen, Phys. Rev. A 32, 3231–3242 (1985).

zhenglt9@mail2.sysu.edu.cn　xuzhj27@mail.sysu.edu.cn