

基于蜂窝结构的响应性结构色材料的设计与仿真

李新华¹, 闫琦¹

1.信息科学与工程学院, 燕山大学, 河北省, 秦皇岛市

简介: 近年来, 具有变色特性的结构色材料因其在各个研究领域广泛的应用而受到越来越多的关注, 特别是在柔性反射式显示屏的开发领域。在本次利用COMSOL Multiphysics®的试验仿真中, 我们从蜂窝的正六边形二维周期性排布结构得到灵感, 在几何模块进行建模, 使用周期性条件构筑类蜂窝结构, 对最小周期性单元进行模拟仿真。通过固体力学模块研究材料的受力形变过程, 耦合波动光学模块研究其形变前及形变后的表面反射光谱变化。

结果: 仿真研究的结果显示, 表面拥有类蜂窝微纳结构的聚二甲基硅氧烷(PDMS)薄膜在可见光谱范围内可以拥有反射峰, 宏观上表现为材料拥有结构色, 且在材料发生形变的时候会出现反射峰的平移, 也就是材料表面结构色的变化。

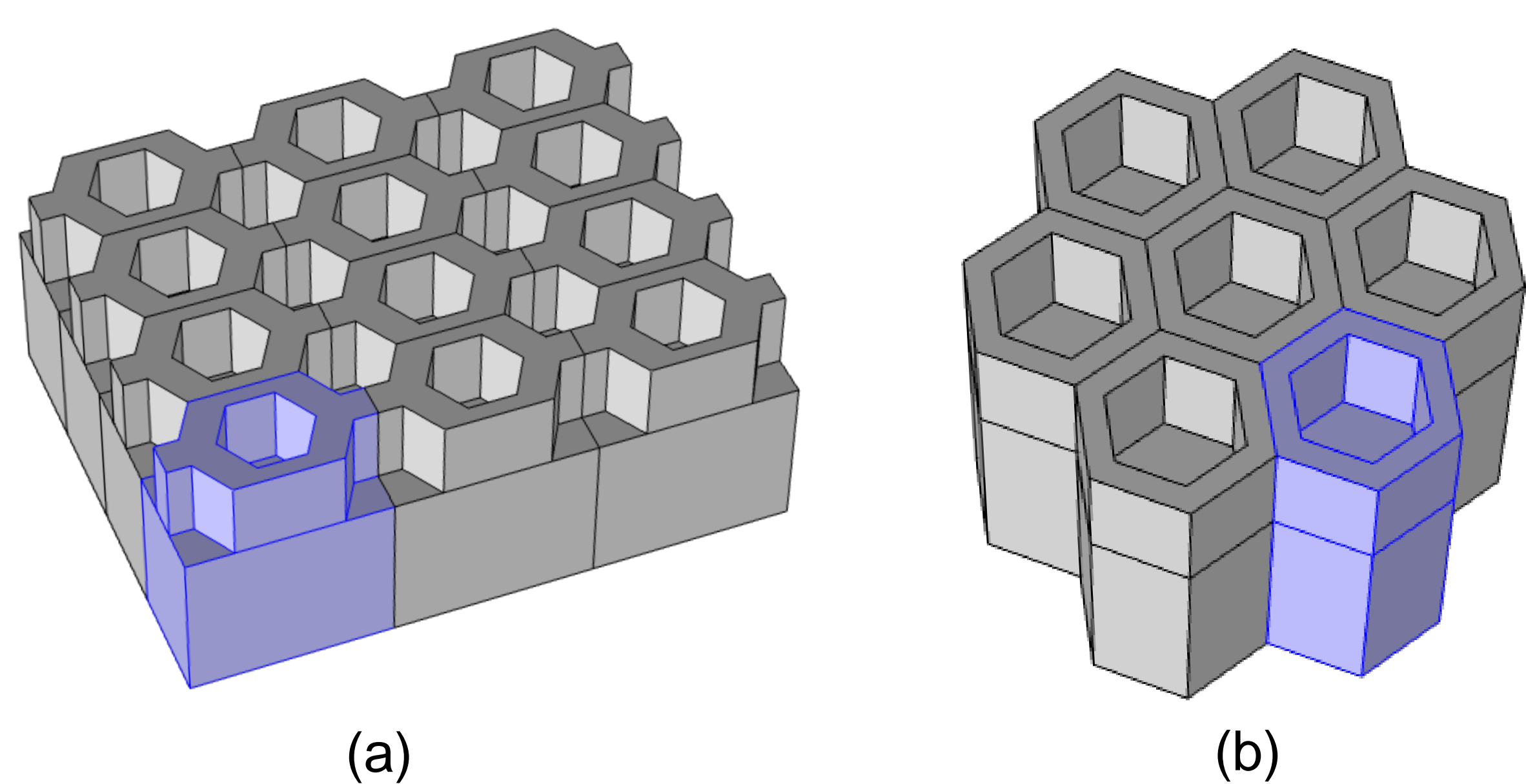


图 1. 结构色材料类蜂窝微纳结构模型

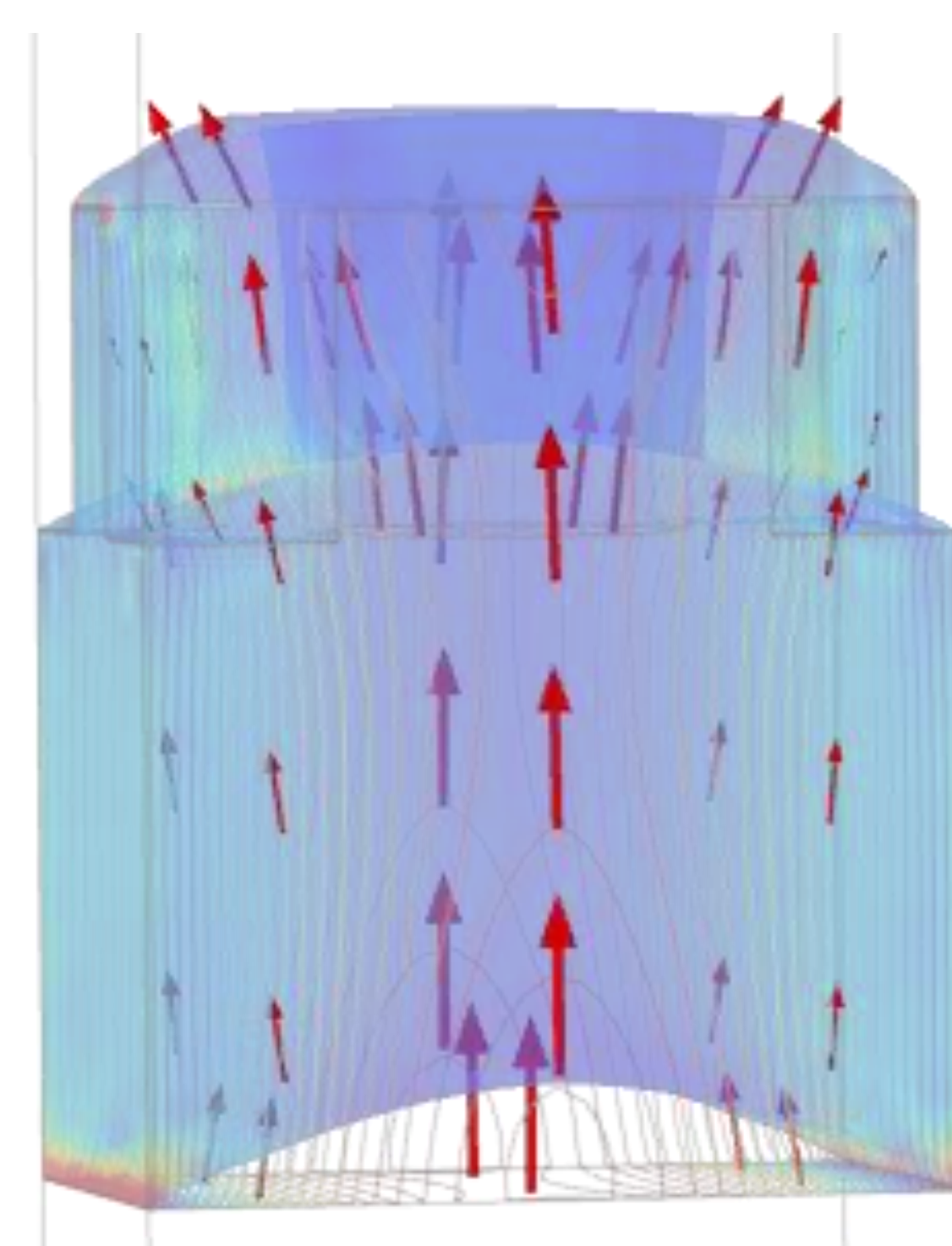


图 3. 受力形变

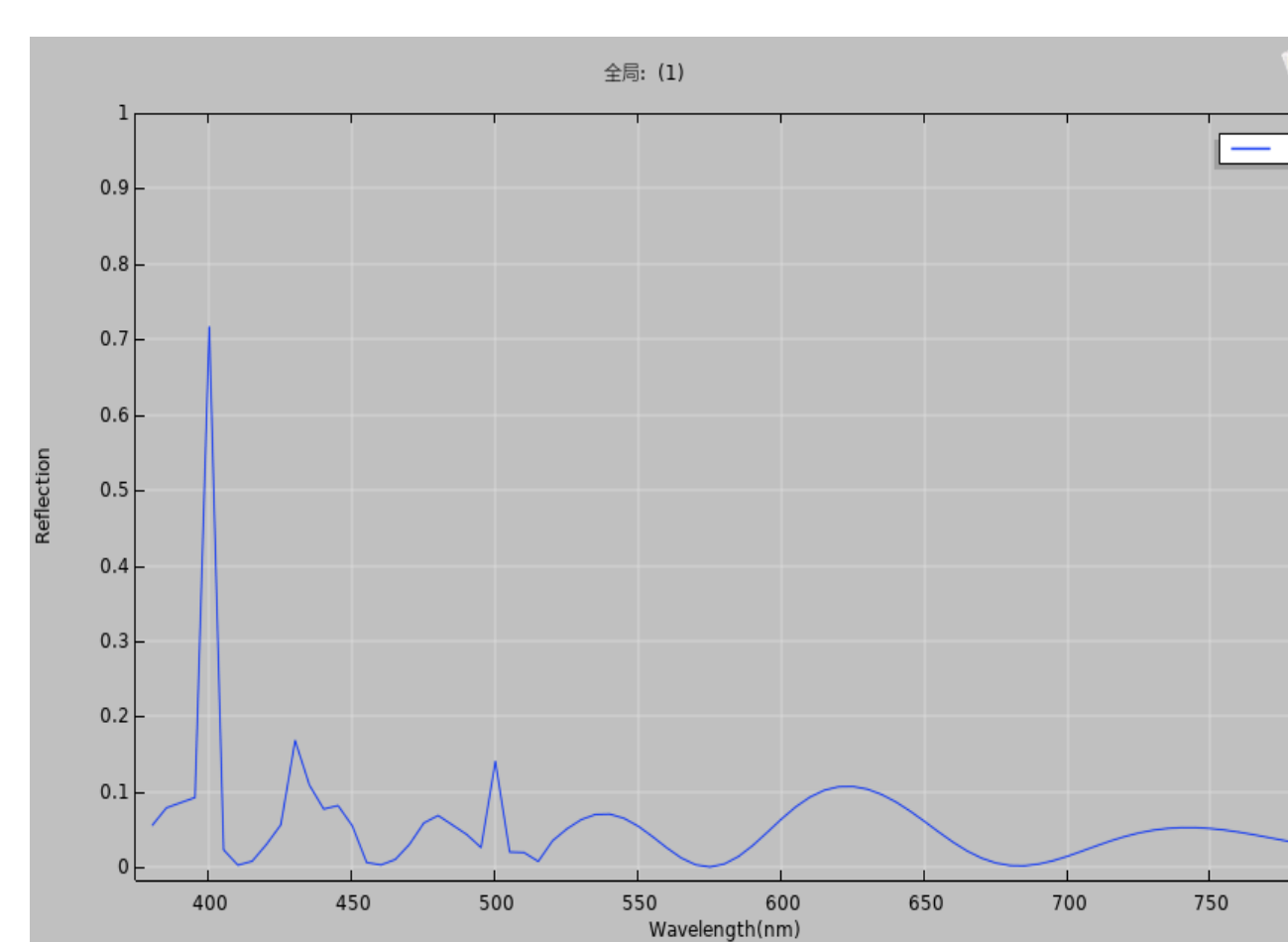


图 4. 原始形貌反射光谱



图 5. 电场分布

计算方法: 本次仿真涉及波动光学和固体力学的多物理场耦合。

$$\nabla \times \mu_r^{-1} (\nabla \times E) - k_0^2 \left(\epsilon_r - \frac{j\sigma}{\omega\epsilon_0} \right) E = 0$$
$$-\rho\omega^2 u = \nabla \cdot s + Fve^{j\phi}, -ik_z = \lambda$$

图二为创建的几何模型。

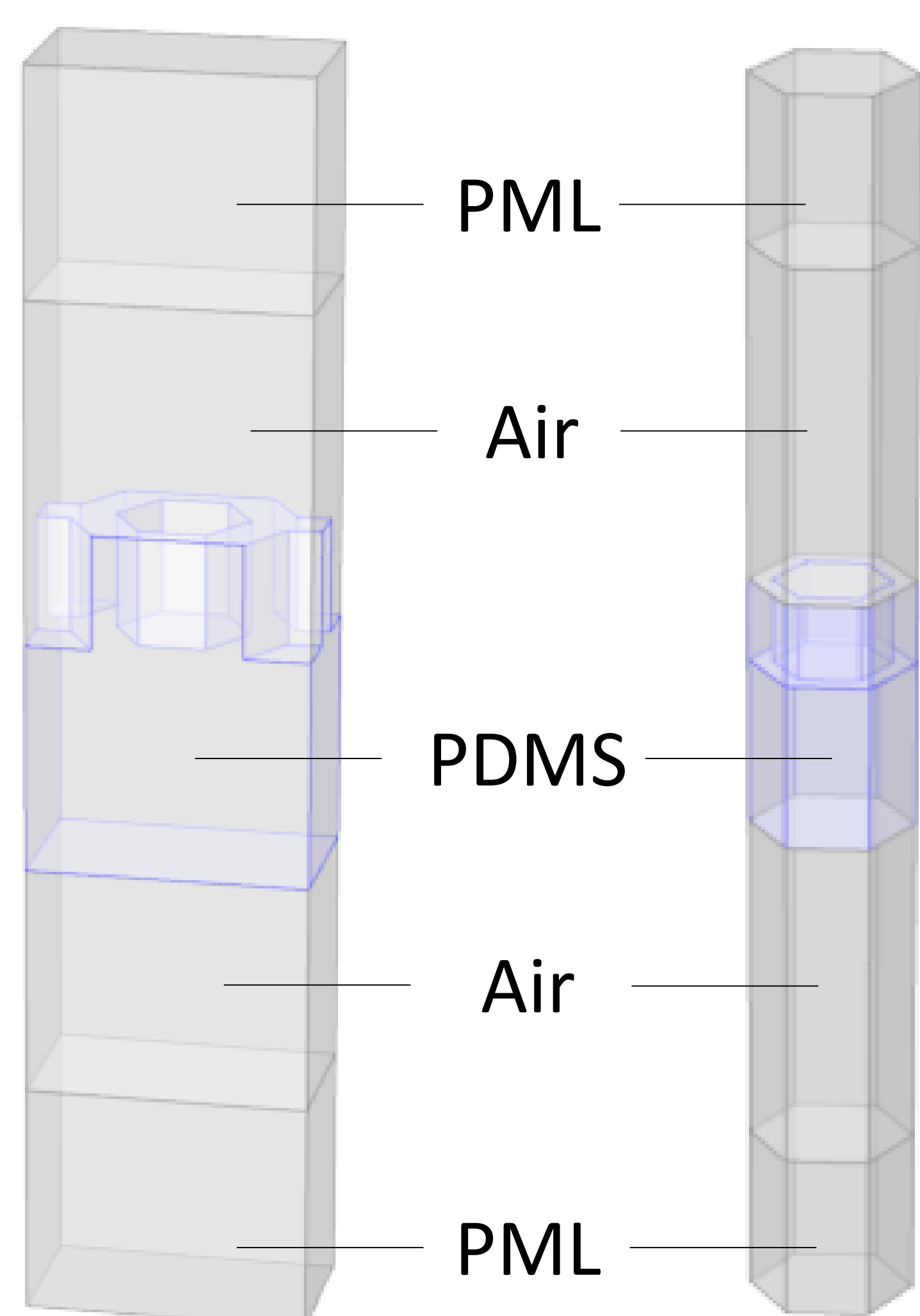


图 2. 三维模型周期性单元

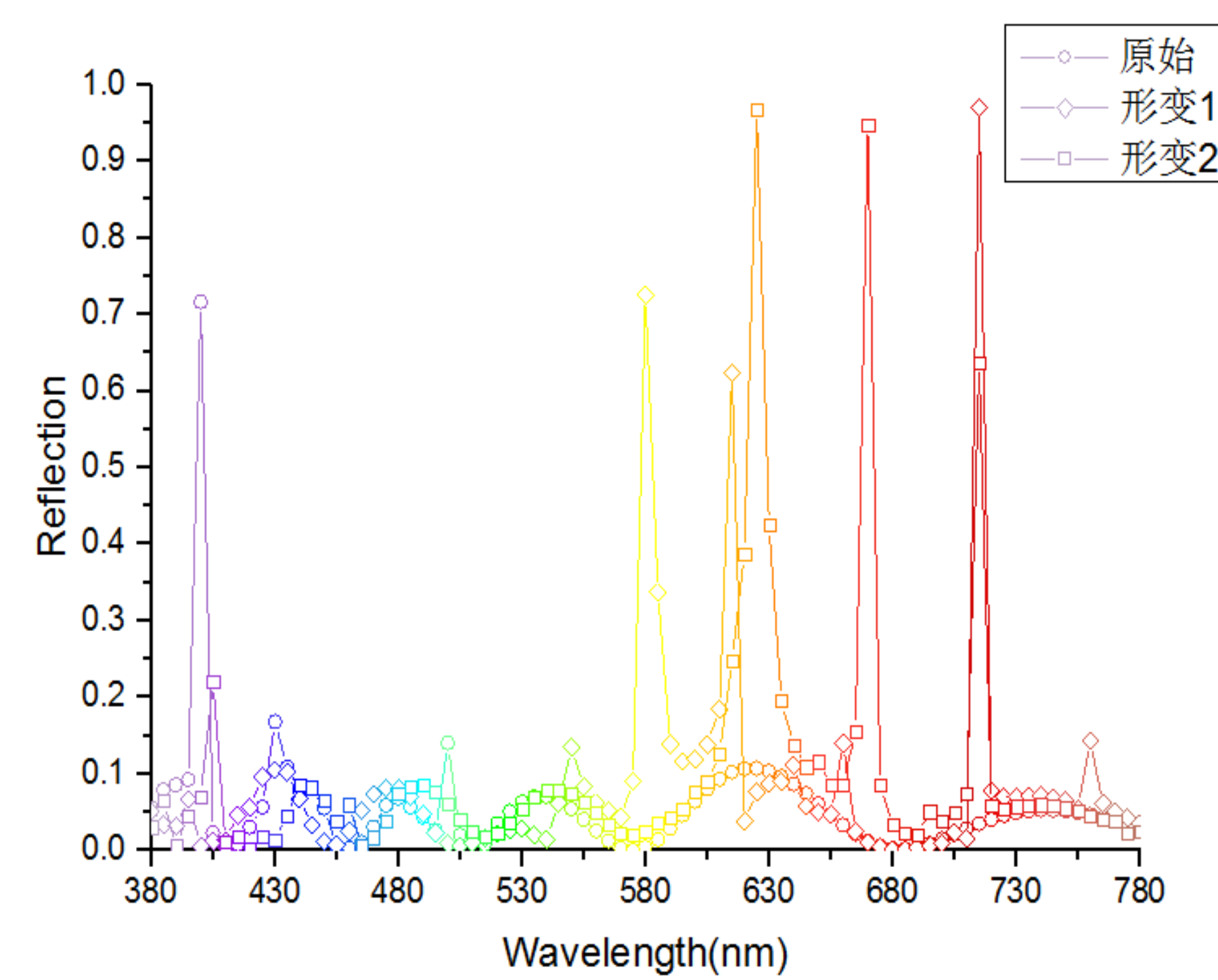


图 6. 反射峰的平移

结论: 我们选用PDMS作为制备拥有蜂窝结构的薄膜的材料, 仿真结果显示其动态显色范围接近整个可见光谱。另外我们发现将两片含有不同尺寸结构材料进行重叠建模仿真实验时, 会实现反射光谱范围的展宽, 增加色度量, 大大增加了其应用范围。现在微纳结构材料制备技术的成熟已经可以使此材料成型制备, 这些特点使这种材料在传感器、国防军事伪装、防伪、柔性反射式显示屏等领域具有巨大的应用价值。

参考文献:

1. Goodling Amy E, Nagelberg Sara, Kaehr Bryan, et al. Colouration by total internal reflection and interference at microscale concave interfaces[J]. Nature volume 566, pages523-527 (2019)
2. Shang L, Zhang W, Xu K, et al. Bio-inspired intelligent structural color materials[J]. Materials Horizons, 6, pages945-958 (2019)