

基于有限元法的黑磷波导对的光学力研究及其应用

卢春雨¹, 胡征达¹, 杨柳¹, 冯延¹, 王继成¹
1.理学院, 江南大学, 江苏, 无锡

简介:本文利用COMSOL软件仿真了有限宽度的平行黑磷对的等离子体传输及模态分布性质, 其中包括它们的光限比和梯度力。最后, 提出了一种超小型移相器作为黑磷等离子器件的应用。

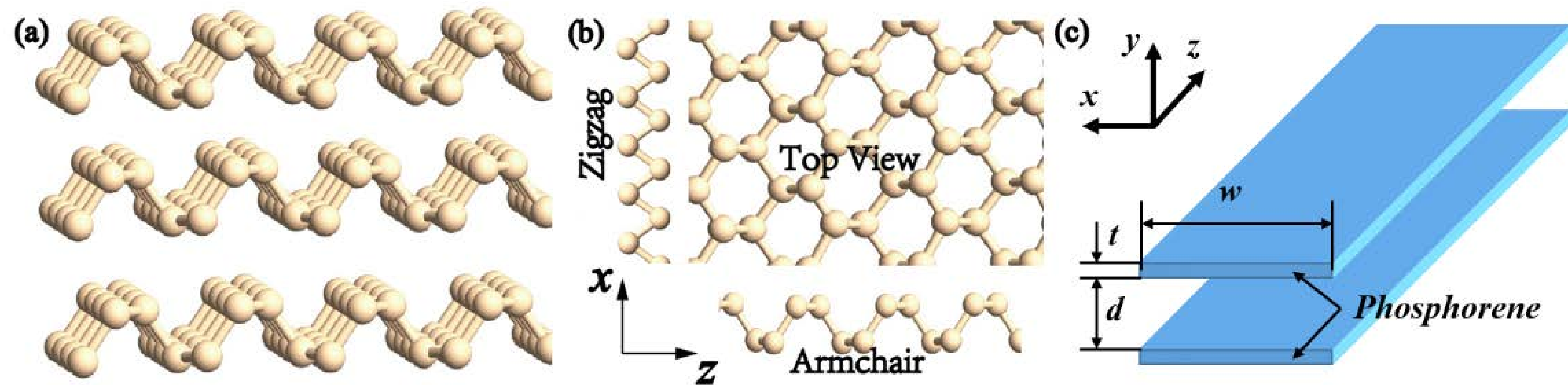


图 1. (a)黑磷微观结构; (b)黑磷微观结构三视图; (c)平行无限长黑磷对。

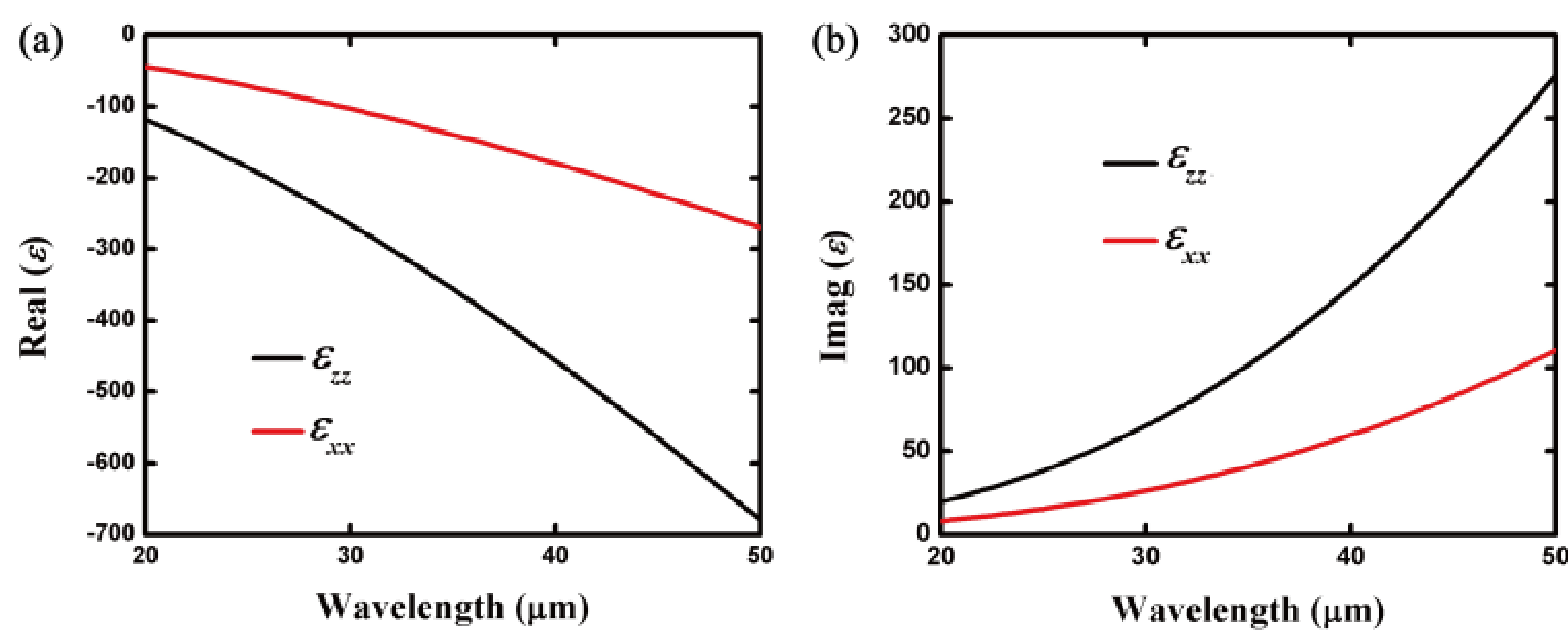


图 2. 黑磷相对介电常数的(a)实部和(b)虚部。

计算方法:

光限比可以通过通过对光传播方向的坡印廷矢量积分作比求得:

$$\xi = \int_{-d/2}^{d/2} P_z ds / \int_{-\infty}^{\infty} P_z ds$$

梯度力通过对麦克斯韦应力张量在包含黑磷对的任意平面积分求得:

$$T_{ij} = \epsilon_0 (E_i E_j - \delta_{ij} E^2 / 2) + \mu_0 (H_i H_j - \delta_{ij} H^2 / 2)$$

$$f_n = \oint_S T dS \cdot n_y$$

结果及结论:

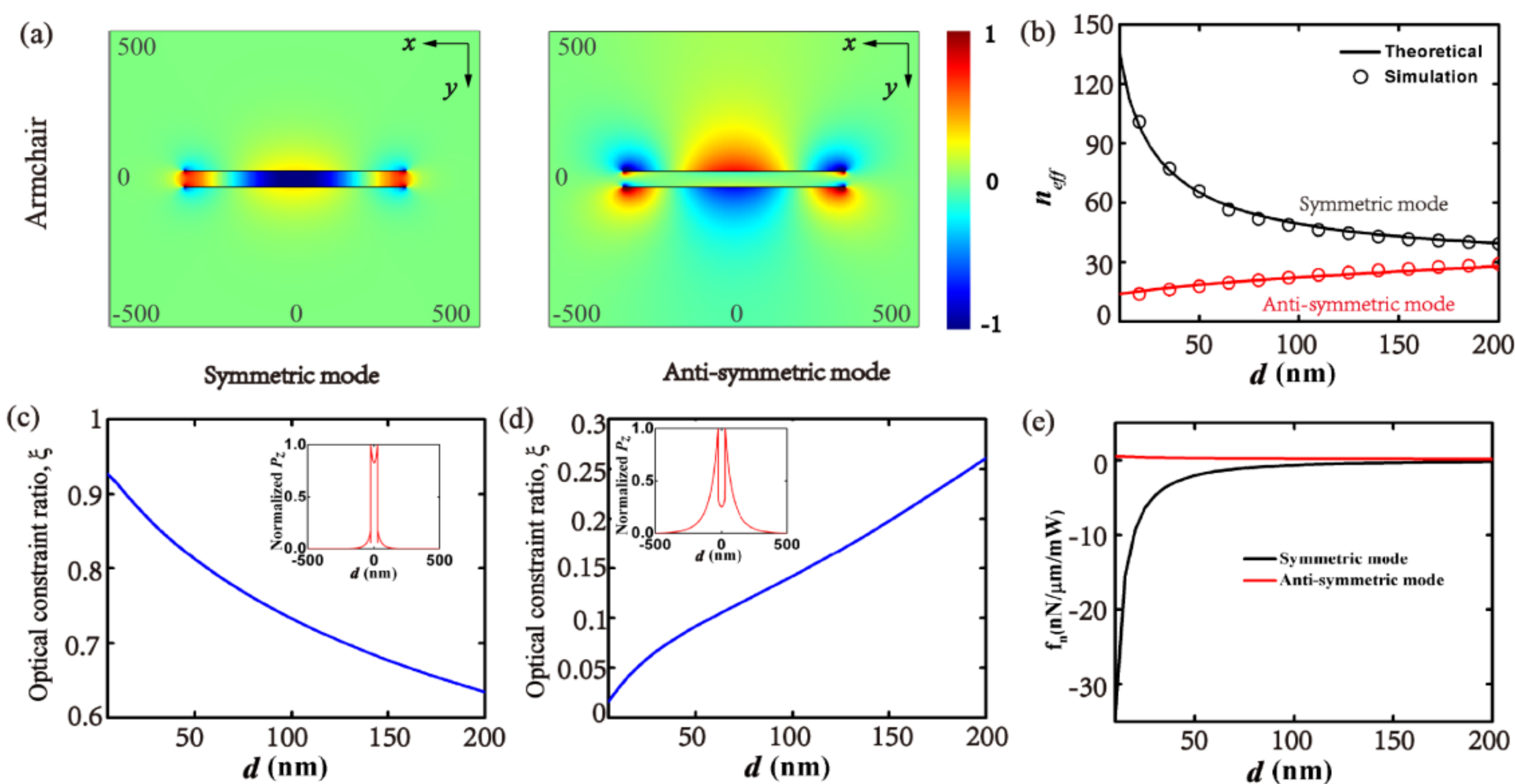


图 3. 两层黑磷按Armchair方向排布时(a) $d=50$ nm时对称模式和反对称模式下y方向的电场分量; 对称模式和反对称模式下的(b)有效折射率和(c,d)光限比, 内插图为光传播方向的坡印廷矢量; (e)两种模式下的梯度力。

通过对比两层黑磷按三种不同方式排布, 即两层均为Armchair方向, 两层均为Zigzag方向, 以及一层Armchair一层Zigzag方向, 可以发现相比于反对称模式, 对称模式

有着更大的光限比, 而当两层黑磷按不同方向排布时, 光限比最大, 达到了96%。

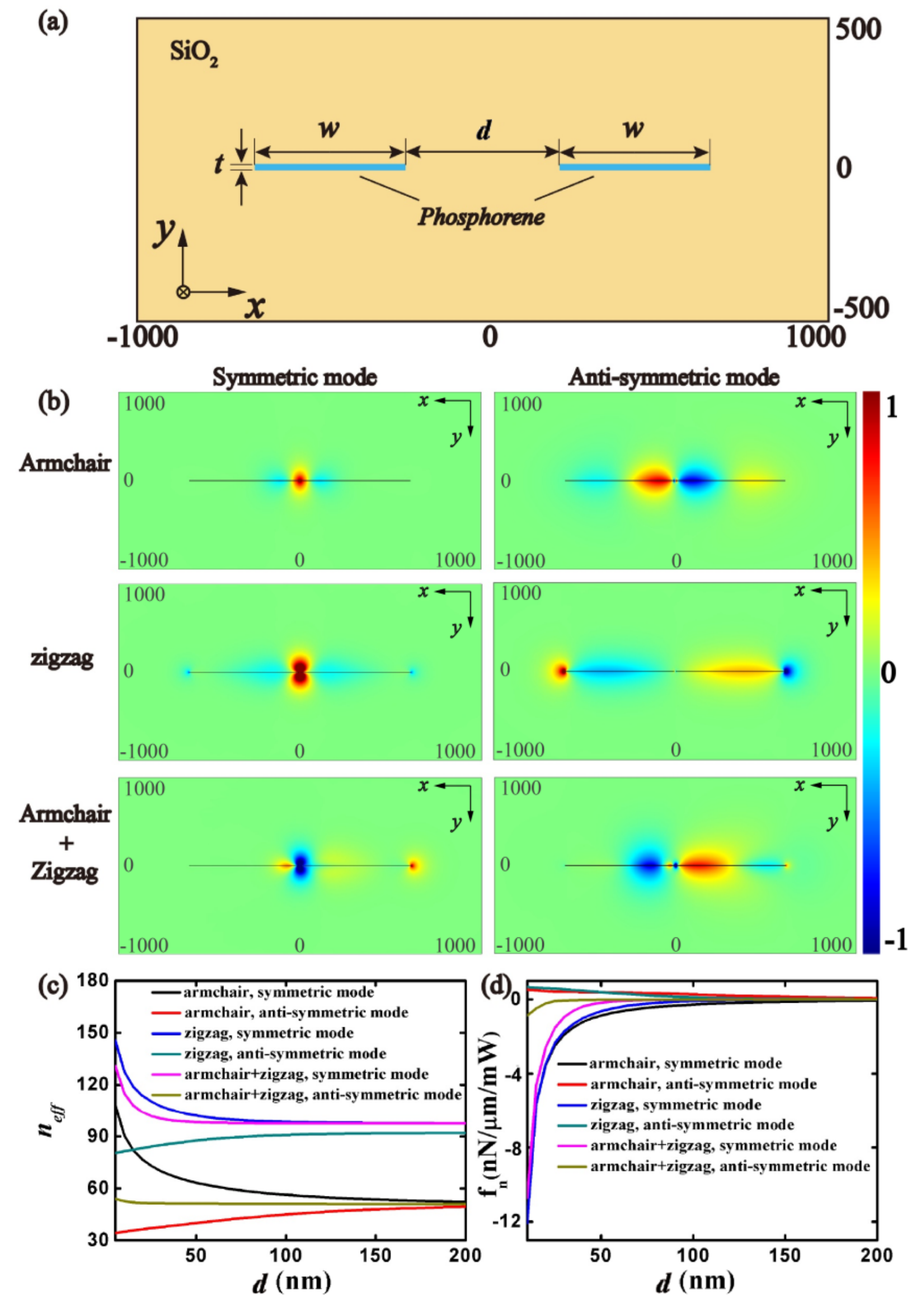


图 4. (a)水平放置的黑磷对; 黑磷按三种不同排布方式时对称模式和反对称模式下的(b)y方向的电场分量, (c)有效折射率和(d)梯度力。

我们发现水平放置的黑磷对也可以支持对称及反对称模式的产生和传播。但相比于平行放置的黑磷对, 它所产生的梯度力更小。

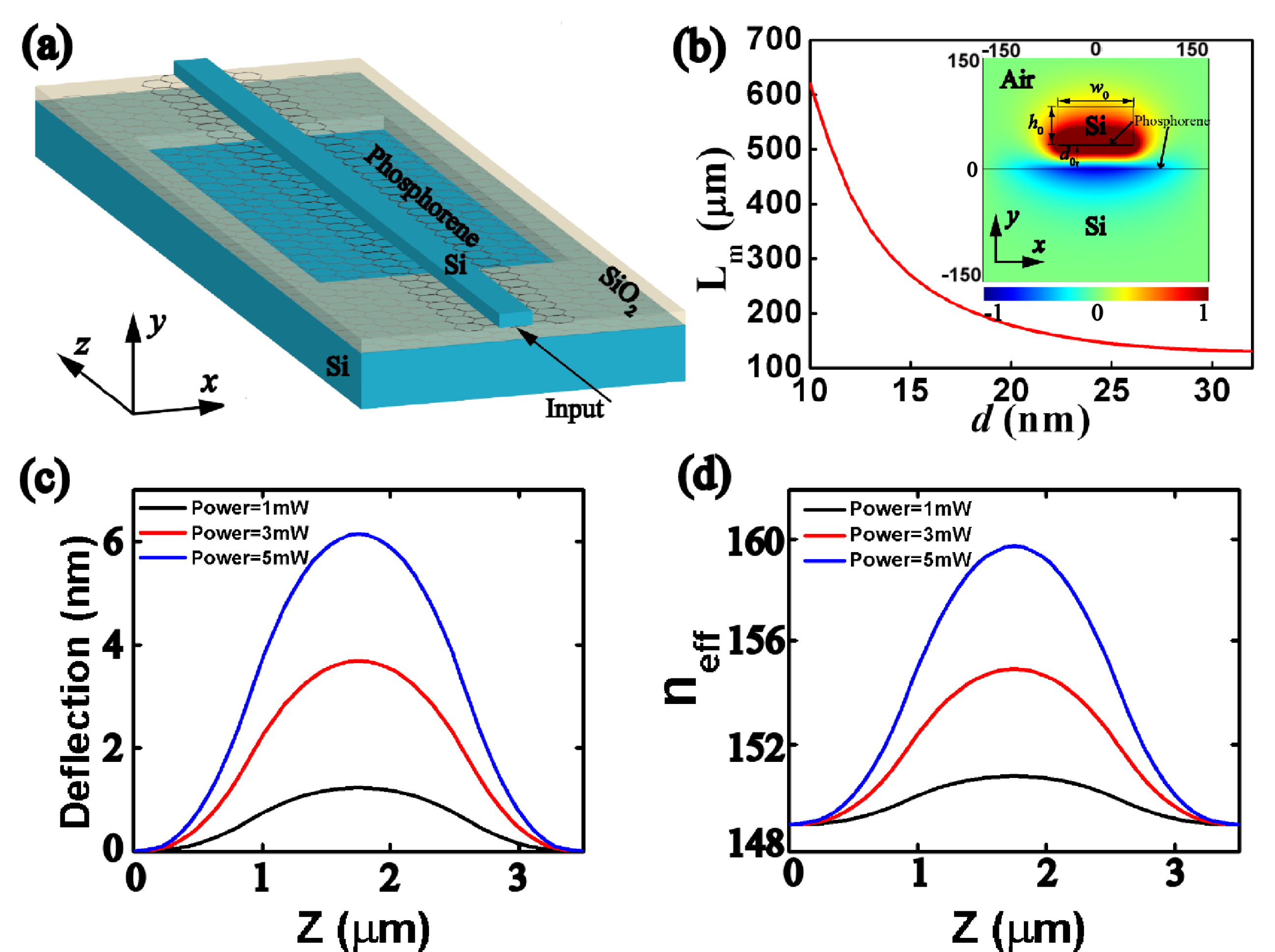


图 5. (a)光学光移相器的三维示意图; (b)入射光波长为 $20\mu\text{m}$ 时, 内插图所示模式下的传播长度(c,d)处的电场x分量沿自立波导的偏转和有效折射率。

参考文献:

1. J. Lu, A. Carvalho, J. Wu, H. Liu, E. S. Tok, A. H. C. Neto, B. Özyilmaz, and C. H. Sow, "Enhanced photoresponse from phosphorene-phosphorene-suboxide junction fashioned by focused laser micromachining," *Adv. Mater.* **28**(21), 4090 (2016).
2. T. Cao, and Y. Qiu, "Lateral sorting of chiral nanoparticles using Fano-enhanced chiral force in visible region," *Nanoscale* **10**(2), 566-574 (2018).
3. L. Viti, J. Hu, D. Coquillat, W. Knap, A. Tredicucci, A. Politano, and M. S. Vitiello, "Black phosphorus terahertz photodetectors," *Adv. Mater.* **27**(37), 5567-5572 (2015).