石墨烯微米带THz SPPs的激发及场分布特性研究

汪云¹, 卢毅¹, 罗昊宇¹, 丁燕¹, 代国红², 沈云^{2*}, 邓晓华^{1,3*}

1. 南昌大学材料科学与工程学院, 南昌 330031;

2. 南昌大学理学院, 南昌 330031;

3. 南昌大学空间科学与技术研究院, 南昌 330031

*联系人, 沈云, E-mail: shenyun@ncu.edu.cn; 邓晓华, E-mail: Dengxiaohua0@gmail.com

收稿日期: 2020-06-11; 接受日期: 2020-08-24; 网络出版日期: 2021-04-09

国家自然科学基金(编号: 61865009)资助项目

摘要 表面等离激元可以突破衍射极限, 具有强局域性, 在传感、起偏、吸收、分束等方面具有广泛的应用前景. 目前, 太赫兹波段的表面等离激元器件研究大多是在远场光谱方面, 其近场特性的研究有待更进一步深入. 本文基于石墨烯微米带结构, 研究了太赫兹表面等离激元的激发及场分布特性. 本文设计了能够通过太赫兹波激发表面等离激元的石墨烯微米带结构, 数值计算了其表面等离激元的场分布, 并制备了石墨烯微米带器件, 利用透射式太赫兹近场显微镜激发并测量了石墨烯微米带的表面等离激元, 对共振失谐对等离激元场分布的影响进行了探究. 研究结果为石墨烯表面等离激元器件在太赫兹生物传感、安全检测、高数据率通信等方面的应用提供了相关指导.

关键词 太赫兹, 石墨烯, 表面等离激元, 近场测量

PACS: 42.25.Bs, 61.48.Gh, 73.20.Mf, 07.79.Fc

1 引言

太赫兹(Terahertz, THz)波是处于红外波与微波之间的一段电磁波, 频率范围为0.1–10 THz, 波长范围为0.03–3 mm. THz波对大多数非极性物质具有较强的穿透能力^[1], 可用于物质成分及内部缺陷探测^[2]; THz波单光子能量远低于X射线^[3], 对人体伤害极小, 可用于生物医学检测^[4,5]; 利用THz波相干性良好^[6]的特点, 可将THz波用于测量材料的消光系数、介电常数等物理量. 总之, 因为THz波具备的各种特性使其可以应用于

包括国防、移动通信、物理、生物、航天在内的众多领域^[7]. 表面等离激元(Surface Plasmon Polaritons, SPPs)^[8]是光场与金属表面的自由电子相互作用形成的一种电子疏密波, 可将电磁场能量局域在很小的空间范围, 在传感、起偏、吸收、分束等方面具有广泛的应用前景. 一般来说, 传统贵金属是最常用的激发及传播SPPs的材料^[9]. 但在太赫兹波段, 金属表现出良导体特性, 无法直接激发出SPPs, 需通过结构的设计形成spoof SPPs. 相比较而言, 石墨烯能够与太赫兹波发生强相互作用, 支持远红外到太赫兹波段的SPPs激发

引用格式: 汪云, 卢毅, 罗昊宇, 等. 石墨烯微米带THz SPPs的激发及场分布特性研究. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2021, 51: 054209
Wang Y, Lu Y, Luo H Y, et al. Study on THz SPPs excitation and field distributions of graphene microribbons (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2021, 51: 054209, doi: 10.1360/SSPMA-2020-0208

与传输; 尤其是石墨烯的电学及光学性质可通过施加栅压、化学掺杂等形式进行动态调节, 这使得石墨烯 SPPs 在等离激元光子学中占据重要地位^[10]. 2011 年, Vakil 等人^[11]数值分析了石墨烯 SPPs 的特性, Wang 课题组^[12]将石墨烯制作成微米带结构, 激发出了 THz SPPs, 测量了远场消光谱并施加栅压调节等离激元共振强度和频率. 2012 年, Fei 等人^[13]在近场上观测了石墨烯 SPPs. 同时, THz SPPs 器件的相关研究也获得了重要进展. 其中, Fang 等人^[14,15]在 2013 及 2014 年将石墨烯制作成纳米圆盘, 利用入射光与石墨烯的等离激元共振不仅将石墨烯吸收器的工作范围扩展到了红外阶段, 而且其吸收强度还可通过电压进行调节; 2018 年, Kim 等人^[16]提出基于石墨烯 SPPs 的吸收器结构, 该结构将石墨烯与金属纳米带结合, 调控石墨烯的费米能级可以实现对吸收率的调控, 最大的调制深度可达到 95.9%. 在 THz SPPs 的研究过程中, 其激发方法包括衰减全反射法^[17]、周期性衍射结构法^[18]、散射式补偿法^[19]. 常用的近场测量方法包括孔径法^[20]、针尖散射法^[21]、共焦法^[22]和直接探测法^[23]等. 目前, THz SPPs 及其器件研究虽然取得了极大进展, 但 SPPs 的激发及近场特性的细致研究仍有待更进一步深入.

本文设计了周期性石墨烯微米带结构, 通过微电子工艺在氧化硅片上制备了石墨烯微米带结构, 利用电学特性参数仪对石墨烯电学参数进行了测量, 数值计算了石墨烯微米带表面的场分布图. 并利用透射式太赫兹近场显微镜激发测量了石墨烯微米带的 SPPs, 对不同频率光入射下的 SPPs 场分布进行了详细研究. 研究结果为石墨烯表面等离激元器件在太赫兹生物传感、安全检测、高数据率通信等方面的应用提供了指导依据.

2 石墨烯表面等离激元的激发与调控

石墨烯的电子跃迁主要分为带内跃迁和带间跃迁两部分. 从太赫兹到中红外波段, 单光子携带能量低, 主要发生带内跃迁, 其带内电导率可表示为

$$\sigma(\omega)_{\text{intra}} = \frac{ie^2 k_B T}{\pi \hbar^2 (\omega + i\tau^{-1})} \times \left[\frac{\mu_c}{k_B T} + 2 \ln \left(\exp \left(\frac{-\mu_c}{k_B T} \right) + 1 \right) \right], \quad (1)$$

其中, ω 为入射电磁场的频率, τ 为弛豫时间, T 为温度, e

为单位元电荷量, k_B 是 Boltzmann 常数, $\hbar$ 为约化普朗克常量, μ_c 为石墨烯的化学势. 当温度为 300 K 时, $k_B T = 0.026$ eV, 在外界激发作用下容易满足 $|\mu_c| \gg k_B T$,

带内电导率公式可化简为 $\sigma(\omega)_{\text{intra}} = \frac{ie^2 E_F}{\pi \hbar^2 (\omega + i\tau^{-1})}$. 方程中 E_F 表示石墨烯的费米能级^[2], 近似等于石墨烯的化学势 μ_c , 通过 μ_c 进一步与载流子浓度联系:

$$n = \frac{E_F^2}{\pi \hbar^2 V_f^2}, \quad (2)$$

其中 V_f 为费米速度. 改变载流子浓度就能改变费米能级, 而载流子浓度 n 又可以通过光泵浦、外加栅压、外加磁场、化学掺杂等方式进行改变. 石墨烯费米能级可通过如下关系得出^[24]:

$$R_{\text{ds}}(V_g) = R_c + R_g \\ = R_c + \frac{N_{\text{sq}}}{e\mu_h} \sqrt{n^2 + [c_g(V_g - V_{\text{CNP}})]^2}, \quad (3)$$

其中, R_{ds} 为源漏极间的总电阻, R_c 是接触电阻, R_g 是不同栅压下石墨烯所对应的电阻, $N_{\text{sq}} = \frac{L}{W}$, L 和 W 分别是石墨烯的长和宽, μ_h 是载流子迁移率, V_g 为栅压, V_{CNP} 为狄拉克点电压. 通过多次测量 V_g 和 R_{ds} 后可以拟合得到接触电阻、载流子迁移率及载流子浓度. 将载流子浓度代入式(2)可得到该载流子浓度下的费米能级. 图 1(a) 为石墨烯微米带结构示意图, 最上层为单层石墨烯, 中间绝缘层为 300 nm 厚的二氧化硅, 底层为 300 μm 厚的 P 型硅, 在顶层和底层上添加了铜电极用以施加栅压和源漏电压. 图 1(b) 表示 160 μm 宽的石墨烯微米带的显微结构图, 暗色块部分代表石墨烯微米带结构, 占空比为 1:1. 图 1(c) 是利用电学特性参数仪测量的 $R_{\text{ds}}-V_g$ 曲线. 从图中可以看出, 随着栅压的增加, 源漏电阻先增加再减少, 其中拐点 60 V 即为狄拉克点电压 V_{CNP} , 即当栅压为 $V_g = 60$ V 时, $E_F = 0$ eV. 通过方程(1)计算可得, 当 $V_g = 0$ V 时, $E_F = 0.2$ eV.

由石墨烯电导率公式可知, 在太赫兹波段, 石墨烯电导率虚部大于 0 时, 其介电常数小于 0, 此时石墨烯类似于金属, 在石墨烯表面支持 TM 偏振的 SPPs 传播. 同时, 其 SPP 特性也会受到不同几何形状结构的影响, 对于石墨烯微米带, 当 TM 光从背面正入射石墨烯微米带时, 将在微米带的两边分别激发起表面等离激元, 并通过边界的反射形成干涉^[25]. 设 SPPs 在一个周期内传播

图1 (网络版彩图) (a) 石墨烯微米带结构示意图; (b) 石墨烯微米带显微图(比例尺: 500 μm); (c) $R_{\text{ds}}-V_{\text{g}}$ 曲线

Figure 1 (Color online) (a) Schematic of graphene microribbons structure; (b) graphene microribbons micrograph (scale bar: 500 μm); (c) $R_{\text{ds}}-V_{\text{g}}$ curve.

过程中的相位变化为 $2\pi m$, m 为整数, $\Delta\phi$ 表示SPPs到达边界反射后相位的改变量, ϵ_0 , ϵ_{r1} , ϵ_{r2} 分别为真空、空气和基底的介电常数. 石墨烯SPPs的共振频率可以通过微米带宽度及费米能级进行调谐, 即

$$\omega = \sqrt{\frac{e^2 E_{\text{F}} (m\pi - \Delta\phi)}{\pi \hbar^2 W \epsilon_0 (\epsilon_{r1} + \epsilon_{r2})}}. \quad (4)$$

由上述公式可知, 石墨烯微米带的共振频率与石墨烯微米带宽度有关, 当入射光频率偏离共振频率时, 激发石墨烯等离子体发生共振的强度就会减弱, 相应的局域增强效果也会减弱.

图2(a)为太赫兹波从石墨烯微米带器件背面入射时的仿真透射谱, 使用全波段数值仿真软件CST Microwave Studio, 在本文的研究中, 设置 $W=160 \mu\text{m}$, $E_{\text{F}}=0.2 \text{ eV}$, 石墨烯厚度设置为1 nm. 从图中可以看出在0.342 THz的位置出现一个透射谷, 说明在0.342 THz光

入射时, 入射光与石墨烯表面的自由电子发生强烈耦合, 入射光能量转化为SPPs, 因此透射率最低. 当偏离该共振频率, 即失谐时, 远场透射率增加, 即SPPs强度降低. 图2(b)为石墨烯在入射光频率分别为0.342, 0.456, 0.798 THz的波垂直入射时的场强分布, 其对应的振幅变化见图2(c). 从图中可以看出SPPs主要集中于石墨烯边缘, 其强度大小为石墨烯微米带中间部分的5–10倍, 说明发生了SPPs的局域光场增强效应. 从0.342到0.798 THz, 随着失谐程度的增加, 局域增强效果逐渐减弱. 另外, 从场强分布中也可以看出, 向石墨烯内部靠近时强度减小, 有干涉条纹呈现, 即SPPs在石墨烯的边界之间来回传播, 会发生干涉, 此现象与理论相符.

3 石墨烯微米带的制备

本文使用的基底是300 μm 厚的P掺杂的中阻硅(电

图2 (网络版彩图) (a) 160 μm 宽的石墨烯微米带透射谱及入射频率; 0.342, 0.456, 0.798 THz时的表面场强分布(b)和对应的振幅分布(c). (b)中的虚线标记了微米带的边缘, 对应图(c)中的虚线

Figure 2 (Color online) (a) Transmission spectrum for graphene microribbons with width of 160 μm ; (b) electric field distributions and (c) amplitude distribution for incident frequency of 0.342, 0.456 and 0.798 THz, respectively. The dashed lines in (b) mark the edge of the microribbons, corresponding to the dashed lines in (c).

阻率为1–100 Ω cm), 在硅片上有300 nm厚的二氧化硅绝缘层. 转移前石墨烯参数: 尺寸为1 cm $\times$ 1 cm, 方阻为1000–2000 S cm.

制备流程: (1) 转移石墨烯. 我们使用的石墨烯表面有聚酰亚胺聚酯(Polymethyl Methacrylate, PMMA)保护层, 转移时先将石墨烯滴水润湿, 然后用镊子转移到稀盐酸:过氧化氢:水=2:1:20的溶液中浸泡10 min去除石墨烯制备过程中残留的铜. 再用氧化硅片把石墨烯转移到氨水中浸泡10 min去除上一步残留的氢离子掺杂. 接着用氧化硅片捞起石墨烯, 用滴管滴加甲酰胺溶液在石墨烯上, 去除石墨烯表面由水引起的褶皱. 在室温下等待甲酰胺蒸发, 再用烘箱在120 $^{\circ}$ C下烘烤5 min, 使得石墨烯与基底贴紧. 最后用丙酮溶液在55 $^{\circ}$ C下浸泡10 h以完全去除石墨烯表面的PMMA.

(2) 石墨烯图案化. 把转移好的石墨烯置于旋涂机上, 设置转速为4000 r min $^{-1}$, 滴加正性光刻胶在石墨烯上, 然后将石墨烯放在热板上在100 $^{\circ}$ C下加热60 s, 在紫外曝光机上紫外曝光20 s, 将掩模板上的微米带图形转移到石墨烯上. 再在热板上100 $^{\circ}$ C烘干90 s, 然后用显影液显影3.5 s, 去除曝光部分的光刻胶, 留下未曝光部分光刻胶作为刻蚀的保护层. 显影后用去离子水冲洗, 用氮气吹干. 将显影好的石墨烯放到反应离子刻蚀机里利用氧气刻蚀. 刻蚀参数: 流量30 sccm, 功率60 W, 压强2.4 Pa, 时间75 s. 将刻蚀好的石墨烯放到紫外曝光机上, 不使用掩模板进行二次泛曝光. 将二

次泛曝光后的石墨烯放在显影液中浸泡5 min以去除刻蚀时保护部分的光刻胶.

(3) 制备电极. 将上一步得到的石墨烯微米带再一次曝光显影, 将电极图案从掩模板转移到基底上, 通过显影去除电极图案部分的光刻胶, 其他部分作为保护层. 将显影好的石墨烯基底放到电子束蒸发镀膜机里, 先镀30 nm厚的铬以增加铜与基底的黏附性, 再蒸镀50 nm厚的铜作为电极. 电极蒸镀完成后放到丙酮里浸泡5 min, 去除电极以外的铜. 正面电极制备完毕以后再用同样的方法制作背面栅极.

(4) 引出导线. 在电极部分用导电胶连接导线, 在100 $^{\circ}$ C下加热30 min使导电胶凝固.

4 实验测量及结果分析

本文选择直接测量法完成石墨烯微米带结构的SPPs激发与测量. 使用Protemics公司的太赫兹近场显微镜来测量石墨烯表面的电场分布. 该系统THz频谱宽度为0.05–4 THz, 在 x 和 y 方向上最大扫描速度可达750 mm s $^{-1}$, 每个像素点最小扫描时间为10 ms, 最大扫描范围: 18 cm $\times$ 18 cm $\times$ 3 mm, 时域谱扫描范围: 0–1000 ps, 时域谱最小步进长度: 6.6 fs. 测量光路图如图3所示, 飞秒激光器产生两束同步的脉冲激光, 其中一束作为泵浦激光(Pump Pulse), 另一束作为探测激光(Probe Pulse). Pump Pulse经过Delay Stage时间延迟

图3 (网络版彩图)太赫兹近场测量光路示意图

Figure 3 (Color online) Schematic of terahertz near-field measurement.

图4 (网络版彩图)在0.342, 0.456, 0.798 THz频率下160 μm宽的石墨烯微米带实验样品. (a) 表面电场分布图; (b) 归一化后的表面振幅分布. (a)中的虚线标记了微米带的边缘, 对应图(b)中的虚线

Figure 4 (Color online) (a) Electric field distributions and (b) normalized amplitudes with frequencies of 0.342, 0.456 and 0.798 THz for 160 μm graphene microribbons sample in experiment. The dashed lines in (a) mark the edge of the micro-ribbons, corresponding to the dashed lines in (b).

后通过THz Emitter产生THz波, 然后从样品背面正入射, 在样品表面激发SPPs产生太赫兹电场, 固定样品的三维移动平台根据预扫描的样品表面形貌信息在空间范围移动; Probe Pulse不经过时间延迟线约斜45°打在探针针尖用于产生自由载流子, 进而在太赫兹电场的作用下产生光电流, 该光电流经过放大后由数据采集卡采集. 通过光学延时线实现对太赫兹时域波形的等效采样, 可以用于测试样品的光谱信息. 探针为Proteomics公司TeraSpike TD-800-HRS探针. 该探针为一对三角锥形谐振天线, 基底是GaAs, 厚度为1 μm, 天线两臂间的距离为40 μm, 天线臂宽10 μm. 当探测光Probe Pulse聚焦于天线尖端时, 天线的两臂将生成大量的光生载流子, 这些载流子在透过样品的THz信号的作用下形成光电流, 光电流的大小正比于太赫兹电场的强度. 当针尖距离样品很近时, 可以对样品表面电场进行测量. 测量到的电信号通过锁相放大器后输入电脑记录并进行后续处理分析, 即可得到样品表面的时域信号. 将时域信号进行傅里叶变换以后成为频域信号, 可得到样品表面近场光的振幅、相位等信息.

近场测量结果如图4所示. 图4(a)表示160 μm宽的石墨烯微米带表面光场振幅分布图, (b)图为近场测量的石墨烯微米带在入射光频率分别为0.342, 0.456, 0.798 THz下的归一化后的表面振幅分布, 即用各个频

率下有石墨烯微米带测得的表面近场能量除以无石墨烯只有氧化硅片时的表面近场能量. 从图4(a)可以看出, 电荷主要聚集于石墨烯微米带上, 激发了石墨烯的SPPs. 另外通过对比可以看出当入射频率从0.342 THz增加到0.798 THz时, 表面电场强度逐渐减小, 局域增强效应逐渐减弱, 与图2的仿真结果一致, 即石墨烯的表面电场强度随失谐程度的增加而逐渐下降.

5 结论

SPPs的光场局域增强及调控在物理、化学和生物等众多学科领域都有广泛应用前景. 石墨烯在远红外和太赫兹波段支持SPPs波的传播, 且具有较小的传输损耗. 本文设计了能够通过太赫兹波激发表面等离激元的石墨烯微米带结构, 数值计算了其表面等离激元的场分布; 并制备了石墨烯微米带, 利用透射式太赫兹近场显微镜激发并测量了石墨烯微米带的表面等离激元, 对共振失谐对等离激元场分布的影响进行了探究. 结果表明, 石墨烯SPPs波在石墨烯边界处将发生局域增强, 随着失谐程度增加, 局域增强效应减弱. 其THz近场显微镜对石墨烯表面电场分布测量结果与理论仿真一致.

参考文献

- 1 Zhou R, Wang C, Xu W, et al. Biological applications of terahertz technology based on nanomaterials and nanostructures. *Nanoscale*, 2019, 11: 3445–3457
- 2 Liu Y, Xu S Q, Liu M, et al. Tunable multi-band terahertz absorber based on a one-dimensional heterostructure containing semiconductor. *Optik*,

2018, 170: 203–209

- 3 Beruete M, Jáuregui-López I. Terahertz sensing based on metasurfaces. *Adv Opt Mater*, 2020, 8: 1900721
- 4 Zhang H, Li Z, Chen T, et al. Discrimination of traditional herbal medicines based on terahertz spectroscopy. *Optik*, 2017, 138: 95–102
- 5 Lu W L, Lou S Q, Wang X, et al. False-color terahertz imaging system based on terahertz time domain spectroscopy (in Chinese). *Acta Phys Sin*, 2015, 64: 114206 [鹿文亮, 娄淑琴, 王鑫, 等. 基于太赫兹时域光谱技术的伪色彩太赫兹成像的实验研究. *物理学报*, 2015, 64: 114206]
- 6 Han H, Li B, Volz S, et al. Ultracompact interference phonon nanocapacitor for storage and lasing of coherent terahertz lattice waves. *Phys Rev Lett*, 2015, 114: 145501
- 7 Mumtaz S, Miquel Jornet J, Aulin J, et al. Terahertz communication for vehicular networks. *IEEE Trans Veh Technol*, 2017, 66: 5617–5625
- 8 Pitarke J M, Silkin V M, Chulkov E V, et al. Theory of surface plasmons and surface-plasmon polaritons. *Rep Prog Phys*, 2007, 70: 1–87
- 9 Bernardi M, Mustafa J, Neaton J B, et al. Theory and computation of hot carriers generated by surface plasmon polaritons in noble metals. *Nat Commun*, 2015, 6: 1–9
- 10 Grigorenko A N, Polini M, Novoselov K S. Graphene plasmonics. *Nat Photon*, 2012, 6: 749–758
- 11 Vakili A, Engheta N. Transformation optics using graphene. *Science*, 2011, 332: 1291–1294
- 12 Ju L, Geng B, Horng J, et al. Graphene plasmonics for tunable terahertz metamaterials. *Nat Nanotech*, 2011, 6: 630–634
- 13 Fei Z, Rodin A S, Andreev G O, et al. Gate-tuning of graphene plasmons revealed by infrared nano-imaging. *Nature*, 2012, 487: 82–85
- 14 Fang Z, Thongrattanasiri S, Schlather A, et al. Gated tunability and hybridization of localized plasmons in nanostructured graphene. *ACS Nano*, 2013, 7: 2388–2395
- 15 Fang Z, Wang Y, Schlather A E, et al. Active tunable absorption enhancement with graphene nanodisk arrays. *Nano Lett*, 2014, 14: 299–304
- 16 Kim S, Jang M S, Brar V W, et al. Electronically tunable perfect absorption in graphene. *Nano Lett*, 2018, 18: 971–979
- 17 Fateev D V, Mashinsky K V, Bagaeva T Y, et al. Excitation of plasmonic terahertz photovoltaic effects in a periodic two-dimensional electron system by the attenuated total reflection method. *Semiconductors*, 2015, 49: 23–27
- 18 Zhu X P, Zhang S, Shi H M, et al. Research progress of coupling theory metal surface plasmon (in Chinese). *Acta Phys Sin*, 2019, 68: 247301 [朱旭鹏, 张轶, 石惠民, 等. 金属表面等离激元耦合理论研究进展. *物理学报*, 2019, 68: 247301]
- 19 Hecht B, Bielefeldt H, Novotny L, et al. Local excitation, scattering, and interference of surface plasmons. *Phys Rev Lett*, 1996, 77: 1889–1892
- 20 Misra M, Andrews S R, Maier S A. Waveguide artefacts in terahertz near field imaging. *Appl Phys Lett*, 2012, 100: 191109
- 21 Chen H T, Kersting R, Cho G C. Terahertz imaging with nanometer resolution. *Appl Phys Lett*, 2003, 83: 3009–3011
- 22 Zinov'ev N N, Andrianov A V, Gallant A J, et al. Contrast and resolution enhancement in a confocal terahertz video system. *Jetp Lett*, 2008, 88: 492–495
- 23 Wächter M, Nagel M, Kurz H. Tapered photoconductive terahertz field probe tip with subwavelength spatial resolution. *Appl Phys Lett*, 2009, 95: 041112
- 24 Kim S, Nah J, Jo I, et al. Realization of a high mobility dual-gated graphene field-effect transistor with Al_2O_3 dielectric. *Appl Phys Lett*, 2009, 94: 062107
- 25 Du L, Tang D, Yuan X. Edge-reflection phase directed plasmonic resonances on graphene nano-structures. *Opt Express*, 2014, 22: 22689

Study on THz SPPs excitation and field distributions of graphene microribbons

WANG Yun¹, LU Yi¹, LUO HaoYu¹, DING Yan¹, DAI GuoHong²,
SHEN Yun^{2*} & DENG XiaoHua^{1,3*}

¹ School of Materials Science and Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

² Department of Physics, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

³ Institute of Space Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330031, China

Surface plasmon polaritons have wide applications in sensing, biasing, absorption, and beam splitting, etc. because they can break diffraction limits and have strong field localization. So far, most of the research on terahertz surface plasmon polaritons is in the far-field spectrum, and exploring near-field properties is further needed. In this paper, based on the graphene strip structure, the excitation and field distribution characteristics of terahertz surface plasmon polaritons were studied. Specifically, the graphene microribbons that could excite surface plasmon polaritons by terahertz waves were designed, and the field distribution was calculated. Then, we experimentally fabricated the designed structure and measured its surface plasmon polaritons by terahertz near-field microscope. Finally, the effects of resonance detuning on surface plasmon polaritons field distribution were investigated. Our results provide a research basis for the application of graphene surface plasmon polaritons components in terahertz detection, biomedicine, safety detection, and high data rate communication.

terahertz, graphene, surface plasmon polaritons, near-field measurement

PACS: 42.25.Bs, 61.48.Gh, 73.20.Mf, 07.79.Fc

doi: [10.1360/SSPMA-2020-0208](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2020-0208)