基于表面等离子体共振增强的硅基锗金属-半导体-金属光电探测器的设计研究*

洪霞1) 郭雄彬2) 方旭1) 李衎1) 叶辉1);

1)(浙江大学光电信息工程学系,现代光学仪器国家重点实验室,杭州 310027)

2) (浙江省能源与核技术应用研究院, 杭州 310012)

(2013年4月17日收到: 2013年5月9日收到修改稿)

金属-半导体-金属光电探测器的光栅结构可激发表面等离子体,有效增强探测器的吸收.为深入研究器件结构对于表面等离子体的激发及共振增强的影响,本文提出了一种具有超薄有源层的硅基锗金属-半导体-金属光电探测器的设计方法.采用时域有限差分的方法详细分析了光栅周期、光栅厚度、光栅间距及有源层厚度对于表面等离子体共振增强器件性能的影响,通过仿真模拟获得了器件的最佳结构,详细地分析了各个界面激发的表面等离子体及其共振模式对于光谱吸收增强的机理.仿真结果表明,有源层锗的厚度为400 nm的超薄器件在通信波段具有较高的吸收,尤其在1550 nm波长处器件的归一化的光谱吸收率可以高达53.77%,增强因子达7.22 倍.利用共振效应能够极大地提高高速器件的光电响应,为解决光电探测器响应度与响应速度之间的相互制约关系提供了有效途径.

关键词:表面等离子体,锗探测器,时域有限差分仿真

PACS: 85.60.Gz, 73.20.Mf, 78.20.Bh **DOI:** 10.7498/aps.62.178502

1 引言

硅基锗金属-半导体-金属 (metal-semiconductor-metal, MSM) 光电探测器由于具有器件结构简单易于制作、单位面积电容较低、光通信波段 (1.3—1.55 μm) 响应度高、易于单片集成并与硅互补氧化物半导体 (complementary metal oxide semiconductor, CMOS) 工艺兼容等特点被广泛应用于光电集成电路 [1,2]. 随着微纳加工技术的不断发展, 以聚焦离子束刻蚀 (focused ion beam, FIB) 和电子束光刻 (electron beam lithography, EBL) 为代表的加工技术, 给光通信、光互连领域的发展带来了新的机遇和挑战. 传统的硅基锗 MSM 光电探测器, 由于锗在 1.55 μm 的吸收系数仅为 459.687 cm^{-1[3]}, 为保证有源层在近红外区域有良好的吸收, 必须使锗有源层厚度达到 μm 量级, 同时为保证足够的光

照面积又需要较大的叉指间隔,这二者都限制了器 件的高速光电响应. MSM 器件的高速响应需要较 小的叉指间隔及较薄的有源层, 但这以牺牲器件的 响应度为代价. 近年来, 为了解决器件的 3 dB 带宽 (3 dB bandwidth) 与响应度 (responsivity) 之间的制 约关系, 结合表面等离子体 (surface plasmon, SP) 的 概念[4,5], 研究人员提出了利用金属小球颗粒散射 模型 [6]、天线结构 [7]、超透镜 [8]、光栅/双光栅的 结构 [9,10] 等形式引入 SP, 旨在达到光的透射及吸 收增强的作用,从而有效提高具有超薄有源层的光 电探测器的响应度. 较薄的有源层有利于锗外延薄 膜的失配位错密度控制,薄膜表面粗糙度减小,生 长易于控制,制造成本较低,并且器件结构更为紧 凑, 噪声大为降低, 对于高速响应的光电集成电路 具有极为重要的意义^[5]. Kwong 与 Lo 小组提出以 铝作为电极利用波导结构[11] 与牛眼结构[12] 耦合 产生 SP, 通过激发的 SP 在界面处传播引起金属中

^{*} 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (批准号: 2013CB6321040)、浙江省自然科学基金 (批准号: LZ12F04002)、浙江省科技计划 (批准号: 2011F20021) 和浙江大学现代光学仪器国家重点实验室项目 (批准号: moi2010021) 资助的课题.

[†] 通讯作者. E-mail: huiye@zju.edu.cn

的自由电子与光相互作用,达到共振增强锗器件的光电响应.然而这种结构所涉及的波导和牛眼结构使器件的制作工艺复杂繁琐,成本较高. Okyay等人采用具有狭缝 (nanoslit) 的光栅结构进行表面等离子体增强 [13],通过仿真模拟验证了横向表面等离子体 (horizontal surface plasmon, HSP) 对于 MSM器件具有明显的吸收增强作用,所设计的带狭缝的光栅结构能使器件吸收增强达到 8 倍左右,但是文中对于 HSP 传播中的共振模式、利用狭缝结构实现异常光透射和光吸收的机理并没有深入的探讨研究. 相较于 III-V 族 MSM 探测器的性能增强 [8-10,14],将表面等离子体应用于 IV 族硅基探测器的国内外其他报道并不多,并且对于表面等离子共振增强硅基锗 MSM 器件没有详细的结构设计及增强机理的分析.

本文提出了一种基于表面等离子体共振增强的光栅型的硅基锗 MSM 光电探测器的设计方法,采用常用的时域有限差分 (finite difference time domain, FDTD) 的数值仿真模拟方法 ^[15,16],通过合理设计并优化器件结构,利用金属与半导体锗界面的SP共振效应增强器件对于入射光的吸收. 仿真过程中重点分析了金属光栅周期、光栅厚度、光栅间距及有源层厚度对于 MSM 器件吸收的影响,并且对 SP 共振增强吸收的机理进行了详细的阐述.

2 理论分析及模型建立

2.1 理论分析

表面等离子体是一种在金属-介质界面由金属表面的自由电子振荡和光子相互作用所产生的共振 ^[4]. 通常激发的表面等离子体波矢要大于入射光波矢, 故激发 SP 需要采用光栅耦合、棱镜耦合等形式进行波矢匹配 ^[17]. 对于 MSM 探测器而言, 叉指电极在垂直于条状叉指的方向呈现出光栅的特性, 合理的光栅周期可以激发 SP. 光栅匹配方程为

$$k_{\rm sp} = k_0 \sqrt{\frac{\varepsilon_{\rm m}' \varepsilon_{\rm d}}{\varepsilon_{\rm m}' + \varepsilon_{\rm d}}} = k_0 \sin \theta \pm m \frac{2\pi}{\Lambda},$$
 (1)

其中 $k_{\rm sp}$ 为金属-介质界面的 SP 波矢, k_0 为入射光 波矢, $\epsilon_{\rm m} = \epsilon'_{\rm m} + {\rm i}\,\epsilon''_{\rm m}$ 和 $\epsilon_{\rm d}$ 分别为金属和介质的介电 常数, θ 为入射光与探测器法矢的夹角, m 为整数, Λ 为光栅的周期.

由 (1) 式可知, 在同一激发光波长下, 相比于金属-空气界面, 金属-锗界面所激发的 SP 具有较大的波矢 k 及较大的态密度, 从而也具有较高的能量, 对器件的性能增强起主要作用 [18]. 所以在设计时需重点对金属-锗表面激发的 SP 进行调控, 以达到对特定波长的光有明显的吸收增强的目的.

2.2 模型建立

SP 增强的 MSM 光电探测器的设计结构如图 1(a) 所示,图 1(b) 为二维仿真结构图.采用金作为光栅电极,一方面由于金是表面等离子体性能优异的材料,另一方面由于金能够与锗形成所需的肖特基势垒,且具有稳定的物理化学特性.其中 P 表示光栅周期, H 表示光栅厚度, L 表示光栅间距, Hge表示有源层锗的厚度, Hsub表示衬底硅的厚度.为简化计算,令光从空气界面垂直入射,且金、锗及衬底硅的光学常数参考文献[3]的数据.评价 SP增强型器件的性能指标为 Ge 有源层归一化的光谱吸收系数及光谱吸收增强因子.其中,归一化的光谱吸收由下式得到:

$$A_{\text{Norm}} = \frac{P_{\text{ge}}}{P_{\text{s}}} = \frac{\frac{1}{2}\omega \text{Im}(\varepsilon) \int_{V} |E|^{2} dV}{\frac{1}{2} \int_{S} \text{real}(\boldsymbol{E} \times \boldsymbol{H})^{\text{Source}} d\boldsymbol{S}}, \quad (2)$$

通过对锗有源层内部电场的积分得到 Ge 层的吸收再对入射光的能量进行归一化,式中 P_{ge} 为有源层的吸收功率, P_{s} 为平面光源的入射功率, ω 为入射光角频率, ε 为锗的介电常数, V 表示锗有源层的体积, S 为光源的面积, E, H 代表电场与磁场强度. 此外, 为了仿真对比, 在激发界面处加一层较薄的二氧化硅层 [19] 抑制 SP 的共振, 计算存在 SP 共振增强与抑制 SP 情况下 Ge 层的吸收比值, 得到光谱吸收增强因子.

基于 FDTD 算法的二维结构仿真, 光源设置为 TM 偏振光 (入射光的电场矢量与入射面平行), 只有 TM 偏振光才能产生 SP 效应, 由于半导体锗的 带隙值为 0.66—0.80 eV, 故将光源波长范围设置为 1.3—1.6 μ m, 重点针对 1.55 μ m 的吸收增强进行结构优化设计. 边界条件设置为 x 方向周期结构, y 方向完美匹配层 (perfectly matched layer, PML), 如图 1(b) 所示. 文中主要分析光栅周期 P, 光栅厚度 H, 光栅间距 L 等结构参数对于吸收光谱的影响, 最终提出对表面等离子体增强型超薄器件的设计要求.

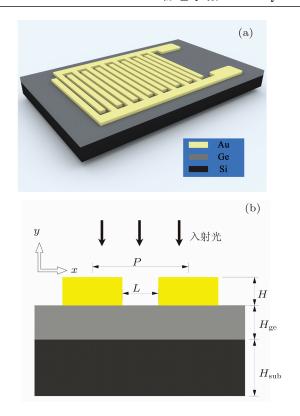


图 1 基于表面等离子体增强的 MSM 器件结构示意图 (a) 为三维结构图; (b) 为二维仿真结构图 (图中光从空气界面垂直入射到 MSM 器件上)

3 仿真结果及讨论

在 MSM 器件的设计时,首先考虑光栅的结构对于激发 SP 的影响,再考虑有源层的厚度对于器件性能的作用. 光栅结构的设计时,基于光栅结构中引入狭缝会产生较强的光透射及光吸收的机理 ^[20],当光栅之间的间距 L 小于一定尺寸 (通常在200 nm 量级),表面等离子体的器件性能将敏感于狭缝的宽度,故光栅结构设计时又将 L 作为最后优化的参数,对此进行步长较精细的仿真计算.而有源层厚度设计时,为满足片上光互连的高速需求,本设计以有源层厚度 400 nm 为初始结构,分析锗的厚度对于 SP 纵向共振模式的影响.

3.1 光栅周期及光栅厚度对 MSM 器件性 能的影响

首先, 在光栅间距 L 一定的条件下, 影响 SP 的主要因素为光栅周期、光栅厚度. 故初始结构设定为 L=200 nm, $H_{\text{sub}}=1000$ nm, $H_{\text{ge}}=400$ nm, P 的变化范围为 600 nm 到 1600 nm, H 的变化范围为

0 到 500 nm, 二者步长均为 10 nm. 图 2 展示了在 1550 nm 激发光作用下锗归一化的光谱吸收随着光 栅周期及光栅厚度的变化情况.

由图可知,光谱吸收随着光栅周期的变化呈现 出周期性,这种周期性与 MSM 器件空气-金属及金 属-锗界面所激发的两种 SP 相关, 呈现出两种不同 的周期特性:随着光栅厚度的变化光谱吸收并没 有呈现出周期性,但是在特定的光栅周期下光栅 厚度具有最佳值. 与光栅周期相关的是横向表面等 离子体 (horizontal surface plasmon, HSP), HSP 沿着 金属-介质界面水平传播, 其传播长度为 μm 量级, 光场充分耦合增强吸收需要多个光栅周期的长度. 而光栅厚度对于纵向表面等离子体 (vertical surface plasmon, VSP) 起着调控作用, VSP 在光栅厚度方向 上进行传播[18,21]. 由于本设计中光栅的厚度为几 百纳米,并没有呈现出周期性;但光栅的厚度会对 SP 传播中的金属-介质-金属 (metal-dielectric-metal, MDM) 谐振腔起着调控等效折射率的作用, 从而纵 向所形成的"类 Fabry-Perot (F-P)" 腔共振条件产生 变化,对光谱吸收产生较为明显的影响.腔的共振 模式会在文中 3.3 及 3.4 部分详细讨论.

通过对于光栅周期及光栅厚度的扫描,可以得到这两个参量之间的匹配关系. 当由入射光及器件材料本身所决定的 SP 波长确定时, 光栅的周期可由 (1) 式计算得到, 而光栅厚度会影响所激发的 SP 的共振模式, 可通过仿真寻找最佳的光栅厚度达到较大的吸收效果. 由图 2 可得最佳的光栅周期与光栅厚度的匹配情况, 当光栅周期为 1240 nm 光栅厚度为 250 nm 时, 归一化的吸收达到 48.97%, 我们选取该初始结构进行进一步的仿真设计.

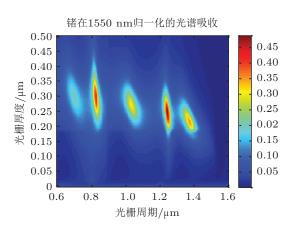


图 2 在 1550 nm 锗归一化的光谱吸收与光栅周期及光栅厚度的关系

3.2 光栅间距对 MSM 器件性能的影响

MSM 器件设计的一个重要指标为电极的占空比. 电极的占空比较小时, 有效的探测器面积相对增加, 但是同时相同偏压下电场强度降低会使得电极收集电子空穴对的能力降低, 故电极的占空比是制约光电响应的一个重要参数. 而当光栅周期和光栅厚度确定时, 考虑光栅占空比对于 MSM 器件性能的影响, 只需考虑光栅之间的间距 *L* 的影响.

图 3 展示了在 P = 1240 nm, H = 250 nm 下的 光栅间距 L 的变化对于 MSM 器件归一化的光谱吸 收的影响, L 变化范围为 0 到 840 nm, 步长为 5 nm. 由图中可知, 宽度 L 对于器件归一化的光谱吸收存 在极值. 当 L 小于 70 nm 时, 光谱吸收随着宽度的 增加上升很快; 而 L 大于 200 nm 时, 随着有效的光 入射面积增加其光谱吸收却随之降低, 且当光栅间 距增加到一定值(图中400 nm)后,结构对于器件 的吸收特性已经没有明显影响. 当 L 位于 70 nm 至 200 nm 之间归一化的光谱吸收呈现出"类干涉"条 纹的现象,此时共振模式敏感于光栅间距的变化. 当光栅间距较小形成类似狭缝的结构时,表面等 离子体的局域作用更为明显,有源层可以通过狭缝 结构捕获更多的光能量,从而使得吸收增强.每一 级光栅均能激发 SP, SP 在水平方向上来回传播并 被光栅界面反射, 形成 SPP 的波导结构, 也即为文 献中提到的金属 - 介质 - 金属谐振腔 $(MDM)^{[5,20]}$, 该 MDM 腔可以求得等效折射率 [22] 从而分析纵 向"类 F-P"的共振模式. 本设计中, 涉及到一层 衬底硅, 在所研究的波长范围内锗的折射率大于 硅, 故 SP 在锗层中衰减传播时纵向又形成了一个 "F-P" 共振腔 (以上提及的共振腔均可见图 3 的插 图部分). 这两种模式共同存在, 对 SP 的共振产生 影响,这也是对锗层的厚度扫描时出现的吸收峰值 变化的原因. 通过 FDTD 仿真可以寻求 SP 共振的 条件, 本设计中, 在光栅周期及厚度确定的条件下, L=130 nm 时达到共振条件, 归一化的光谱吸收达 为 53.73%.

3.3 锗的厚度对 MSM 器件性能的影响

有源层锗的厚度一方面关系着器件光谱吸收特性,另一方面又影响着器件的高速响应,通过引入 SP 则可以解决这种响应度和响应速度间的制约关系. 图 4 中展示的是有源层厚度不同的器件的吸收特性,及不同厚度下的吸收增强因子,此

时 P=1240 nm, H=250 nm, L=130 nm, $H_{\rm ge}$ 变化范围为 100 nm 到 1300 nm, 步长为 10 nm. 器件的光谱吸收随着锗层的厚度变化呈现出三个极值,这三个峰的位置 (400 nm, 790 nm 及 1180 nm) 处纵向的共振模式达到极大值,这三个峰的位置是与初始结构的选取密切相关的. 其中当锗厚度为400 nm 时归一化的光谱吸收达到最大 53.77%,超过了 1180 nm 厚度锗 49.93%的吸收,此时有最大的增强因子 7.22. 因此,通过合理的结构设计,引入 SP的共振模式可以使有源层厚度为几百纳米的器件同样达到微米量级的吸收效果.

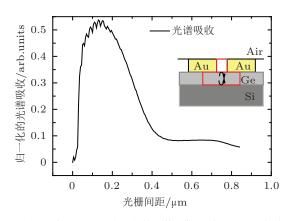


图 3 在 1550nm 锗归一化的光谱吸收与光栅之间间距的关系 (插图为"类 F-P" 腔的示意图, 其中红色区域表示共振腔区域)

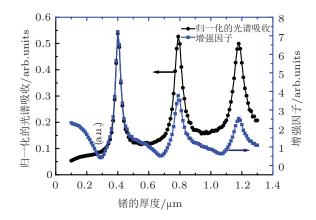


图 4 在 1550 nm 锗归一化的光谱吸收与锗厚度的关系

3.4 设计的模拟结果

通过上述的讨论, 最终设计的 SP 共振增强的 MSM 器件的结构参数为 P=1240 nm, H=250 nm, L=130 nm, $H_{ge}=400$ nm, 其归一化的光谱吸收如图 5 所示. 抑制 SP 产生的方式是在激发 SP 的界面处加一层较薄的绝缘层 SiO_2 , 由于 SiO_2 层的引入, 破坏了"类 F-P" 腔的共振条件. 从图 5 归一化的光谱可知, 锗有源层在 1470 nm 及 1550 nm 有两

个吸收峰, 对应的归一化的吸收分别为 36.78%和 53.77%. 当抑制金属-空气界面的 SP 时, 在 1550 nm 仍有较强的吸收峰, 只是归一化的吸收值有所减 小, 整体吸收光谱与 SP 存在的情况相似, 幅度的减 小主要是 SiO₂ 破坏了最佳的"类 F-P" 共振条件; 当抑制金属-锗界面的 SP 时, 这两个峰均消失了, 说明在 1300—1600 nm 波长范围内对于吸收增强 真正起作用的是金属-锗界面的 SP, 这与前文提出 的理论相一致; 当上述两个界面处的 SP 均被抑制 时的吸收峰形与抑制金属-锗界面的 SP 的峰形类 似, 幅度的变小与结构中加的 SiO₂ 层有关. 由此证 明,本文设计的器件主要依靠锗-金属界面所激发 的 SP 达到共振增强, 引入 SP 效应增强了具有超薄 有源层器件的吸收. 图 5 的插图为锗-金属界面的 SP 对于器件吸收的增强因子, 器件对于通信波段 (1300—1550 nm) 有较大的吸收增强的作用, 在波 长 1470 nm 及 1550 nm 时相应的增强因子为 3.51 和 7.22 倍.

图 5 中两个吸收峰处所对应的波长为 1470 nm 及 1550 nm, 这两个吸收峰波长所对应的锗有源层中的电场强度分布情况如图 6 所示. 由图可知, 在入射光为 1470 nm 时所激发的 SP 在锗厚度方向上强度呈现衰减,与 SP 的传播模式相一致. 而当入射光为 1550 nm 时, 所激发的 SP 并未在锗厚度方向上呈现衰减, 在锗中间区域电场强度较低, 而在锗

接近硅衬底的界面处由于反射率较强的原因电场强度较大,但是整体对于锗的吸收还是有益的.对比分析图 6(a), (b),本文设计的硅基锗 MSM 结构,在 1470 nm 激发的 SP 并没有达到 "类 F-P" 腔混合模式的最大共振,而在 1550 nm 激发光下由于硅基衬底的引入使 SP 在纵向传播中达到 "类 F-P" 腔共振条件,有源层捕获到更多的光能量,增强了超薄器件的光谱吸收.该结论可通过将有源层锗厚度设定为半无穷大对有源层的吸收进行计算从而得到相应的验证.

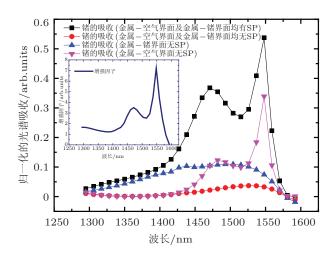
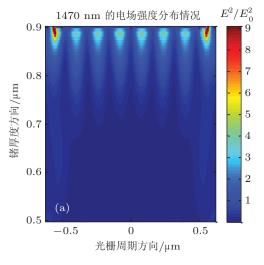


图 5 在 1550 nm 的归一化的锗吸收与锗厚度的关系 (插图为 所设计结构的吸收增强因子)



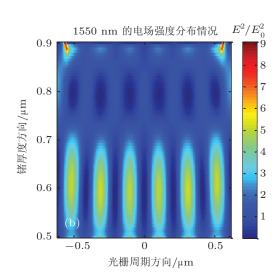


图 6 两个吸收峰所对应的锗有源层的电场强度分布情况 (a) 表示激发波长为 1470 nm 时有源层的电场分布; (b) 表示激发波长为 1550 nm 时有源层的电场分布

4 结 论

基于超薄的硅基锗 MSM 探测器,本文提出了

利用光栅结构激发 SP 产生共振增强的设计方法, 为解决器件高速响应与响应度间的制约关系提出 了一种合理可行的方案. 采用时域有限差分的方法 进行器件的性能仿真模拟,设计了在 1550 nm 归一 化光谱吸收达 53.77%、增强因子高达 7.22 倍的表面等离子体共振器件. 仿真结果表明,设计的结构通过激发金属-锗界面的 SP 可以使更多的能量耦合,从而增强有源层仅 400 nm 厚的探测器的吸收,使探测器在通信波段尤其是 1550 nm 有较高的吸收. 通过仿真模拟,详细分析了各个界面激发的 SP及 SP 的共振模式,针对本文设计的结构通过光谱

吸收及电场强度分布详细分析 SP 共振增强机理. 本文还重点分析了光栅周期、光栅厚度等结构参数对于 SP 增强型器件吸收的影响,并从理论角度分析了器件性能提高的机理,提出了表面等离子体共振增强型的 MSM 器件的设计方法及设计步骤. 通过亚波长的光栅结构引入表面等离子体效应,利用共振效应极大的提高高速器件的响应度,为硅基光电子集成电路提供了更为广阔的前景.

- [1] Michel J, Liu J, Kimerling L C 2010 Nat. Photon. 4 527
- [2] Huang Z H 2006 *Ph.D. Dissertation* (Texas: The University of Texas at Austin)
- [3] Palik E D 1985 Handbook of Optical Constants of Solids (Vol.1) (New York: Academic) pp467–568
- [4] Barnes W L, Dereux A, Ebbesen T W 2003 Nature 424 824
- [5] Schuller J A, Barnard E S, CAI W, Jun Y C, White J S, Brongersma M I 2010 Nat. Mat. 9 193
- [6] Schaadt D, Feng B, Yu E 2005 Appl. Phys. Lett. 80 063106
- [7] Tang L, Kocabas S E, Latif S, Okyay A K, Sebastien D, Gagnon L, Saraswat K C, Miller D A B 2008 Nat. Photon. 2 226
- [8] Shackleford J A, Grote R, Currie M, Spanier J E, Nabet B 2009 Appl. Phys. Lett. 94 083501
- [9] Das N, Karar A, Vasiliev M, Tan C L, Alameh K, Lee Y T 2011 Opt. Comm. 284 1694
- [10] Tan C L, Lysak V V, Das N, Karar A, Alameh K, Lee Y T 2010 Proceedings of 10th IEEE Conference on the Nanotechnology (IEEE-NANO), Korea, Aug. 17–20, 2010 p849
- [11] Ren F F, Ang K W, Song J F, Fang Q, Yu M B, Lo G Q, Kwong D L 2010 Appl. Phys. Lett. 97 091102
- [12] Ren F F, Ang K W, Ye J D, Yu M B, Lo G Q, Kwong D L 2011 Nano

Lett 11 1289

- [13] Eryilmaz S B, Tidin O, Okyay A K 2012 IEEE Photon. Tech. Lett. 24 548
- [14] Masouleh F F, Das N, Mashayekhih R 2012 Proceedings of the Optical Interconnects Conference, New Maxico, May 20–23, 2012 p108
- [15] Yang H W, Chen R S, Zhang Y 2006 Acta Phys. Sin. 55 3464 (in Chinese) [杨宏伟, 陈如山, 张云 2006 物理学报 55 3464]
- [16] Liu S B, Zhu C X, Yuan N C 2006 *Acta Phys. Sin.* **54** 2804 (in Chinese) [刘少斌, 朱传喜, 袁乃昌 2005 物理学报 **54** 2804]
- [17] Maier S A 2007 Plasmonics: fundamentals and applications (Vol.1) (New York: Springer) p44–46
- [18] Bai W L, Guo B S, Cai L K, Gan Q Q, Song G F 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 8021 (in Chinese) [白文理, 郭宝山, 蔡利康, 甘巧强, 宋国峰 2009 物理学报 **58** 8021]
- [19] Crouse D, Keshavareddy P 2005 Opt. Exp. 13 7760
- [20] White J S, Veronis G, Yu Z, Barnard E S, Chandran A, Fan S H, Brongersma M L 2009 Opt. Lett. 34 686
- [21] Bouchon P, Pardo F, Potirer B, Ferlazzo L, Ghenuche P, Dagher G, Dupuis C, Bardou N, Ha¨idar R, Pelouard J L 2011 Appl. Phys. Lett. 98 191109
- [22] Han Z, Forsberg E, He S 2007 IEEE Photon. Tech. Lett. 19 91

Design of silicon based germanium metal-semiconductor-metal photodetector enhanced by surface plasmon resonance*

Hong Xia¹⁾ Guo Xiong-Bin²⁾ Fang Xu¹⁾ Li Kan¹⁾ Ye Hui^{1)†}

1) (Department of Optical Engineering, Zhejiang University, State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Hangzhou 310027, China)

2) (Research Institute of Energy and Nuclear Technology Application of Zhejiang Province, Hangzhou 310012, China)

(Received 17 April 2013; revised manuscript received 9 May 2013)

Abstract

Surface plasmon excited by metallic grating integrated on metal-semiconductor-metal can greatly improve the absorption of devices. In order to deeply explore the excitation and resonant discipline of surface plasmon, a design of metal-semiconductor-metal based on ultra-thin germanium is proposed. By using finite difference time domain (FDTD) method, the effects of grating period, grating depth, grating space, and thickness of the active layer on the performance of surface plasmon resonance supported device are investigated in detail. The structure parameters of the device are optimized, and the mechanism of surface plasmon excited by each interface as well as spectrum absorption enhanced by surface plasmon resonance is analyzed in detail. Simulation results show that the germanium device with an ultra-thin active layer of 400 nm has a high absorption in the communication band, especially at the wavelength of 1550 nm the normalized spectral absorption can be as high as 53.77% with an enhancement factor of 7.22. Surface plasmon resonance can greatly improve the optical response of high-speed optoelectronic device, thus an efficient way is provided to solve the trade-off between photodetector responsivity and speed of the device.

Keywords: surface plasmon, germanium photodetector, finite difference time domain (FDTD) simulation

PACS: 85.60.Gz, 73.20.Mf, 78.20.Bh **DOI:** 10.7498/aps.62.178502

^{*} Project supported by the National Basic Research Program of China(Grant No. 2013CB6321040), the Natural Science Foundation of Zhejiang province of China (Grant No. LZ12F04002), the Science and Technology Project of Zhejiang Province of China (Grant No. 2011F20021), and the Research Foundation of State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, China (Grant No. moi2010021).

[†] Corresponding author. E-mail: huiye@zju.edu.cn