

1.3 μm 和 1.55 μm Si $_{1-x}$ Ge $_x$ 波长信号分离器 与 Si $_{1-x}$ Ge $_x$ /Si 应变超晶格探测器的集成*

李宝军 李国正 刘恩科

(西安交通大学微电子工程系 西安 710049)

摘要 对 1.3 μm 和 1.55 μm 波长的 Si $_{1-x}$ Ge $_x$ 波长信号分离器(WSD)和 Si $_{1-x}$ Ge $_x$ /Si 应变超晶格(SLS)红外探测器的集成结构进行了系统的分析和优化设计。优化结果为: (1) 对 Si $_{1-x}$ Ge $_x$ WSD, Ge 含量 $x = 0.05$ 波导的脊高和腐蚀深度分别为 3 μm 和 2.6 μm 。对应于 $\lambda_1 = 1.3\mu\text{m}$ 和 $\lambda_2 = 1.55\mu\text{m}$ 波长的波导脊宽分别为 11 μm 和 8.5 μm 。(2) 对 Si $_{1-x}$ Ge $_x$ /Si SLS 探测器, Ge 含量 $x = 0.5$ 探测器的厚度为 550nm, 由 23 个周期的 6nm Si $_{0.5}$ Ge $_{0.5}$ + 17nm Si 组成 对应于 $\lambda_1 = 1.3\mu\text{m}$ 和 $\lambda_2 = 1.55\mu\text{m}$ 波长的探测器长度分别为 1mm 和 2mm。

PACC: 6150C, 7230, 4130, 2530C, 2520

1 引言

波长信号分离器(WSD)和红外探测器是光通信和光信息处理系统中非常重要的器件。国外已出现了关于 $\lambda_1 = 1.3\mu\text{m}$ 和 $\lambda_2 = 1.55\mu\text{m}$ 的 WSD 的研究报道^[1-3], 但这些 WSD 都是以玻璃作为衬底的, 难以与微电子器件集成在一起。随着光通信系统容量的不断扩大和光集成度的提高, 开发一种既适合于光通信系统, 又能满足微电子器件和光电子器件大规模集成要求的 WSD 引起了高度重视。Si 是实现这种集成的首选材料。以 Si 为主体的 Si $_{1-x}$ Ge $_x$ 合金除具有等离子体色散效应的特点外, 还因其晶格常数、禁带宽度、折射率等都随 Ge 组分 x 的变化而变化, SiGe 材料和器件的研究已成为国际上当今最为活跃的课题之一, 并已开始用于了光电子集成器件(OEIC's)的研制中。由于用 Si $_{1-x}$ Ge $_x$ 合金制作的光波导具有很低的传播损耗 ($< 0.5\text{ dB/cm}$)^[4], 因而使得用 Si $_{1-x}$ Ge $_x$ 合金制作波导型 WSD 成为可能。另一方面, 用 Si $_{1-x}$ Ge $_x$ 合金制作的红外探测器可克服 Ge 探测器漏电流大和噪声高、GaAsIn

* 国家自然科学基金(69636040)重点资助项目

李宝军 男, 1964 年出生, 博士生, 讲师, 目前从事 Si 基光电子器件及其集成技术的研究

李国正 男, 1939 年出生, 副教授, 主要从事微电子技术和 Si 基光电子器件及其集成技术的研究

刘恩科 男, 1930 年出生, 教授, 博士生导师, 主要从事微电子技术和 Si 基光电子器件及其集成技术的研究

1996-12-12 收到, 1997-05-08 定稿

等化合物探测器低成本以及与 Si 微电子技术不相容的缺点, 同时还可弥补 Si 探测器长波段为 $1.1\mu\text{m}$ 、响应峰值在 $0.8\mu\text{m}$ 处的不足, 将红外探测器的响应波长与光通信窗口 ($1.3\sim 1.6\mu\text{m}$) 匹配 因此, 可望实现用 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 材料制作的 WSD 和红外探测器的集成器件

用 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金作为红外探测器的光吸收层, 虽然可通过调节 Ge 含量 x 来研制不同波段的光探测器, 但由于 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金与单晶 Si 的晶格常数不同, 在 Si 上共度生长的 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 层不能太厚 为了增加用作光吸收的 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 层厚度, 就必须采用 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ SL S 结构 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ SL S 红外探测器具有响应快、量子效率高、波长可变、带宽可变的特点, 并有室温工作以及实现大面积集成和制作大面积面阵的可能性^[5], 将成为新一代的红外探测器 国内外已相继出现了一些可喜的研究报道^[6~11]. 可惜的是这些报道都只是针对 $1.3\mu\text{m}$ 波长而言的, 且都只是分离结构的器件 由于 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 是光纤通信的两个重要窗口, 因而, 在 OEIC's 器件的研究中, 将波长拓宽到 $1.55\mu\text{m}$ 至关重要 为此, 本文利用 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 材

料上述诸多优点和在研制光波导方面的成功^[4], 率先对 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 的 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ WSD 和 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ SL S 探测器及其集成进行了系统的分析和优化设计, 为下一步的实验制作奠定了基础

2 器件结构

图 1 是波导型 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ WSD 和 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ SL S 探测器集成的基本结构 SL S 探测器的顶部由约 100nm 厚的 Si 缓冲层和约 50nm 厚的 n^+ -Si 接触层组成 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 波长的光沿波导的端面耦合进入 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 波导, 在 WSD 的分支处被分离后分别沿分支 1 和分支 2 在波导中向前传播, 同时一部分向上耦合进入 SL S 探测器被吸收, 从而产生电子—空穴对 在外加反向偏压下, 这些电子—空穴对的漂移形成光电流

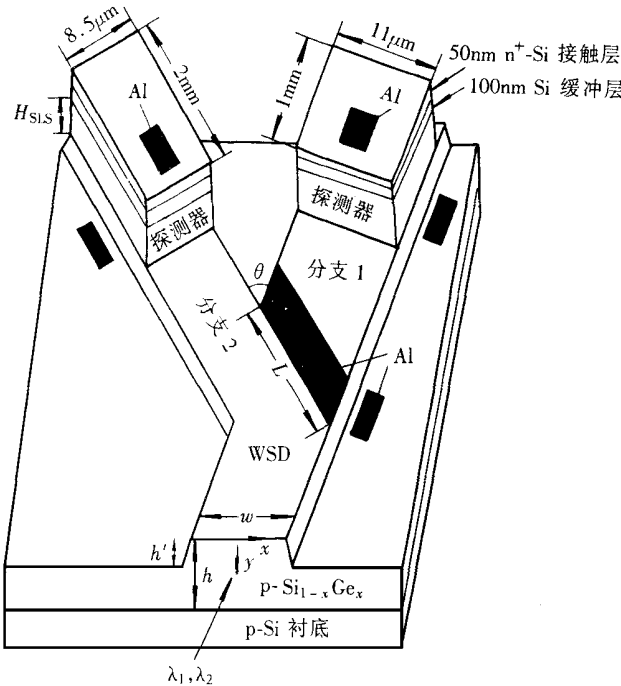


图 1 波导形 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ WSD 和 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ SL S 探测器的集成结构

3 理论分析

3.1 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 应变层的临界厚度

$\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金的晶格常数与 Ge 含量 x 有关, 其测量结果已有很多报道, 根据最新研究结果, 其晶格常数为^[12]

$$a_{\text{SiGe}(x)} = a_{\text{Si}} + 0.214x + 0.0105x^2 \quad (1)$$

应变 Si_{1-x}Ge_x 合金是生长在面密度为 $6.8 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 的 Si (100) 面上的, 其禁带宽度^[13]

$$E_{\text{g}}^{\text{strained}} = 1.0905 - 0.962x + 0.4306x^2 - 0.1672x^3 \quad (\text{eV}) \quad (2)$$

由此可知, Si_{1-x}Ge_x/Si 是一种典型的晶格失配异质结构体系, 晶格失配率 $f_{\text{m}}(x) = 0.042x$. 为了减少 Si_{1-x}Ge_x/Si 界面间的失配位错, 就必须控制合金层的厚度, 使之小于产生失配的最大临界厚度 h_{c} . 由于 h_{c} 的精确程度影响到对光的限制和与光纤的耦合损耗, 因而在计算探测器的效率中是一个非常重要的量. People 给出 Si_{1-x}Ge_x 层临界厚度的关系式为^[14]

$$h_{\text{c}} = \left(\frac{1-\nu}{1+\nu} \right) \left(\frac{1}{20\pi\sqrt{2}} \right) \left[\frac{b^2}{a(x)} \right] \left[\left(\frac{1}{f_{\text{m}}^2(x)} \right) \ln \left(\frac{h_{\text{c}}}{b} \right) \right] \quad (3)$$

其中 b 是 Burger 矢量模数; ν 是 Poisson 比 (0.3), $f_{\text{m}}(x)$ 是衬底-合金的失配率, (3) 式可简化为:

$$x^2 h_{\text{c}} = 1.33 \times \ln(h_{\text{c}}/4) \quad (4)$$

3.2 Si_{1-x}Ge_x 合金材料的等离子体色散效应

当在图 1 所示的 Si_{1-x}Ge_x WSD 分支 1 的 pn^+ 结上加正向偏压 V 时, 就有大量的电子从 n^+ 区注入到波导区. 为了保持电中性, p 区就会积累等量的空穴 ΔN_{h} . 由于 n^+ 层很薄, 因此 n^+ p 结注入可视为沿 y 方向的扩散和漂移. 在大注入情况下, 注入的电子浓度 $\Delta N_{\text{p}}(0)$ 很大, 接近或超过 p 区多子浓度 $p_{\text{p}0} \approx N_{\text{A}} (N_{\text{A}} = 10^{18} \text{ cm}^{-3})$. 注入的电子在 p 区边界处形成积累, 它们向 p 区内部扩散时, 在电子扩散区内形成一定的浓度分布 $\Delta N_{\text{p}}(y)$. 又由于波导芯的厚度 h 远小于载流子的扩散长度, 因此把扩散区内电子的分布近似看为线性分布, 可得

$$\frac{d\Delta N_{\text{p}}(y)}{dy} = \frac{N_{\text{i}}(x)}{h} \exp\left(\frac{qV}{2k_{\text{0}}T}\right) \quad (5)$$

因而有

$$\Delta N_{\text{p}}(y) = \Delta N_{\text{p}}(0) (1 - y/h) \quad (6)$$

$\Delta N_{\text{p}}(0)$ 满足

$$\Delta N_{\text{p}}(0) = \frac{N_{\text{i}}^2(x)}{N_{\text{A}}} \exp(qV/k_{\text{0}}T) \quad (7)$$

它是 $y = 0$ 处注入的电子浓度. 式中 V 为 n^+ p 结外加的正偏压; T 为绝对温度; k_{0} 为玻耳兹曼常数; $N_{\text{i}}(x)$ 是 Si_{1-x}Ge_x 的本征载流子浓度. 经推导, $N_{\text{i}}(x)$ 与 Si 的本征载流子浓度 $N_{\text{i}}(\text{Si})$ 有关系式

$$N_{\text{i}}(x) = \sqrt{A(x) N_{\text{i}}(\text{Si})} \exp(\Delta E_{\text{v}}/2k_{\text{0}}T) \quad (8)$$

式中 $N_{\text{i}}(\text{Si}) = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ($T = 300\text{K}$), ΔE_{v} 为导带的不连续性, $x < 0.5$ 时

$$\Delta E_{\text{v}} = 0.74x \quad (9)$$

$A(x)$ 是 Si_{1-x}Ge_x 合金与单晶 Si 的总有效状态密度之比值, 即

$$A(x) = (N_{\text{c}} N_{\text{v}})_{\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x} / (N_{\text{c}} N_{\text{v}})_{\text{Si}} \quad (10)$$

大注入时, ΔN_{h} 超过 p 区热平衡空穴浓度, p 区增加的电子浓度 ΔN_{e} 和空穴浓度 ΔN_{h} 将引起 Si_{1-x}Ge_x 合金材料的折射率变化. 由于 Si_{1-x}Ge_x 合金材料中 Ge 的组分很小 ($x = 10\%$), 因而, Si_{1-x}Ge_x 仍以 Si 为主体, 其等离子体色散效应可用下面关系式表示^[15]:

$$\Delta n = - \frac{q^2 \lambda^2}{8\pi^2 c^2 \epsilon_0 n} \left(\frac{\Delta N_e}{m_{ce}^*} + \frac{\Delta N_h}{m_{ch}^*} \right) \quad (11)$$

其中 $\Delta n = n_{Si} + 0.18x$; q 是电子电荷; c 是光速; ϵ_0 是真空介电常数; λ 是波长; ΔN_e 和 ΔN_h 分别是 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金中电子和空穴的浓度变化 m_{ce}^* 和 m_{ch}^* 分别是 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 中电子和空穴的导电有效质量, 满足

$$m_{ce}^* = m_{ce(Si)}^* (1-x) + m_{ce(Ge)}^* x \quad (12)$$

$$m_{ch}^* = m_{ch(Si)}^* (1-x) + m_{ch(Ge)}^* x \quad (13)$$

可见, WSD 分支 1 中自由载流子浓度增大时, 引起材料的折射率变小 ($n - \Delta n$). 在相同注入载流子浓度下, 波长 λ 越大, 折射率的变化越大. 当注入的载流子引起分支 1 的折射率变小后, 波长为 $\lambda_1 = 1.3 \mu\text{m}$ 和 $\lambda_2 = 1.55 \mu\text{m}$ 的两种光就在 WSD 分支 1 和分支 2 的两交界处处发生折射或反射. 由 Snell 定律知, 这两种光在两分支界面处发生全反射时的临界角 φ_1 和 φ_2 是不同的, 由于 $\varphi_1 > \varphi_2$, 所以, 若入射角满足 $\varphi_1 > \varphi > \varphi_2$, 则可使 $1.3 \mu\text{m}$ 的光折射, 而波长为 $1.55 \mu\text{m}$ 的光发生全反射

3.3 波导的单模截止特性

要在脊形 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 波导中只传播 $1.3 \mu\text{m}$ 和 $1.55 \mu\text{m}$ 的单模光, 要求波导在 x 和 y 方向上同时满足单模的承载条件. 根据有效折射率法得到脊形波导在 y 方向上的模截止方程为

$$(n_1^2 - n_2^2)^{1/2} k_0 h = \gamma \pi + \text{tg}^{-1} \sqrt{S} \quad (14)$$

$$S = (n_2^2 - n_0^2) / (n_1^2 - n_2^2) \quad (15)$$

式中 h 是脊形波导的内脊高; $k_0 = 2\pi/\lambda$ 为真空中波数; γ 是导模阶数, 对于单模光波导, $0 < n < 1$, n_1 是 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 的折射率, n_2 是衬底 Si 的折射率, $n_0 = 1$.

脊形波导在 x 方向上的单模截止方程为

$$\frac{4k_0}{T} \left[\left(\frac{WT}{2} + 1 \right) (n_1^2 - R^2 - N_{mn}^2)^{1/2} - R \text{tg}^{-1} \frac{(n_1^2 - R^2 - N_{mn}^2)^{1/2}}{R} \right] = (2m+1)\pi \quad (16)$$

$$R = \frac{(n+1)\pi}{S + k_0 h} \quad (17)$$

$$T = \frac{k_0 \text{tg} \alpha}{S + k_0 h} \quad (18)$$

$$S = (n_1^2 - n_2^2)^{-1/2} + (n_1^2 - n_0^2)^{-1/2} \quad (19)$$

其中 $\alpha = 54.7^\circ$; m, n 分别是 x 和 y 方向上的模数; N_{mn} 为 m, n 阶导模的有效折射率

3.4 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ SLS 探测器的吸收系数和有效吸收系数

$\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 是间接带隙半导体, 在本征吸收过程中, 电子不仅吸收光子, 同时还和晶格交换一定的振动能量, 即放出或吸收一个声子. 因而, $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 间接带隙半导体的跃迁过程是电子、光子和声子三者同时参与的过程, 在理论上是一种二级过程. 理论分析可得^[16], 当 $h\nu$ (光子能量) $> E_g$ (禁带宽度) $+ E_p$ (声子能量) 时, 吸收声子和发射声子的跃迁均可发生, 吸收系数为

$$\alpha(h\nu) = A \alpha \frac{(h\nu - E_g + E_p)^2}{\exp(E_p/kT) - 1} + A e \frac{(h\nu - E_g - E_p)^2}{1 - \exp(-E_p/kT)} \quad (20)$$

当 $E_g - E_p < h\nu < E_g + E_p$ 时, 只能发生吸收声子的跃迁, 吸收系数为

$$\alpha(h\nu) = A \alpha \frac{(h\nu - E_g + E_p)^2}{\exp(E_p/kT) - 1} \quad (21)$$

当 $h\nu = E_g - E_p$ 时, 跃迁不能发生, $\alpha = 0$ 式 (20)、(21) 中 $A \propto A_e$ 基本为一常数

对 Si_{1-x}Ge_x/Si 交替组成的超晶格结构, 其组分 x 可用一等效组分 x_{av} 表示

$$x_{av} = [t_{GeSi} / (t_{GeSi} + t_{Si})]x = rx \quad (22)$$

其中 t_{GeSi} 和 t_{Si} 分别是 SLS 中 Si_{1-x}Ge_x 和 Si 层的总厚度, Si_{1-x}Ge_x/Si SLS 的总厚度 H_{SLS} 满足

$$(rx)^2 H_{SLS} = 1.33 \times \ln(H_{SLS}/4) \quad (23)$$

其吸收系数可用一有效吸收系数代替^[17]

$$\alpha_{eff} = r\Gamma\alpha \quad (24)$$

式中 Γ 是有源的 SLS 对光的限制因子, Γ 可通过计算矩形波导中的横向电场分布 $E(x, y)$ 得到, 用进入 Si_{1-x}Ge_x/Si SLS 有源区的光功率与总的光功率比值表示为

$$\begin{aligned} \Gamma &= \frac{\iint_{x\text{-active-region}} |E(x, y)|^2 dx dy}{\iint |E(x, y)|^2 dx dy} \\ &= \frac{\int_{x\text{-active-region}} |E_x(x)|^2 dx}{\int |E_x(x)|^2 dx} \frac{\int_{y\text{-active-region}} |E_y(y)|^2 dy}{\int |E_y(y)|^2 dy} \\ &= \Gamma_x \Gamma_y \end{aligned} \quad (25)$$

4 优化设计

4.1 Si_{1-x}Ge_x WSD 的优化设计

对 1.3 μm 和 1.55 μm 波长的光, 当注入载流子浓度为 $\Delta N_e (= \Delta N_h) = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 时, 根据 (11) 式计算出由等离子体色散效应所引起的折射率变化为 10^{-2} 量级时, $x = 0.03 \sim 0.06$ 再由 (4) 式得到对应于 $x = 0.04, 0.05, 0.06$ 时 Si_{1-x}Ge_x 层的临界厚度分别为 6.5, 4, 2.6 μm. 考虑到工艺条件及波导与光纤数值孔径匹配等问题, 选取 $x = 0.05$ 从而得到波长分别为 1.3 μm 和 1.55 μm 时, Si_{1-x}Ge_x 折射率的变化 Δn 分别为 0.0143 和 0.0205. 再由 $\sin \varphi = 1 - \Delta n/n$ 得出其在 WSD 两分支交界面处发生全反射的临界角分别为 $\varphi_1 = 84.88^\circ, \varphi_2 = 83.70^\circ$. 若入射角满足 $\varphi_1 > \varphi > \varphi_2$, 则可实现 $\lambda_1 = 1.3 \mu\text{m}$ 的光被折射, 而 $\lambda_2 = 1.55 \mu\text{m}$ 的光发生全反射. 因而取 $\varphi = \varphi_2 + (\varphi_1 - \varphi_2)/2 = 84.29^\circ$; 从而得到 WSD 的分支角 $\theta = 5.7^\circ$. 再由 (5)~(10) 式得到 n⁺p 结上所需加的正向偏压 $V = 0.97 \text{ V}$. 另外, 由图 1 中的几何关系 $L = w / \text{tg} \theta$ 计算得到 WSD 的分支区长度 $L = 110.2 \mu\text{m}$.

为了获得 $x = 0.05$ 时光波导的内脊高 h 、脊宽 w 和腐蚀深度 h 的数据, 由 (14)~(19) 式得到模截止特性随 Ge 含量 x 的变化关系如图 2 所示. 则得到对应于 1.3 μm 的脊高 $h = 1.29 \sim 3.88 \mu\text{m}$, 对应于 1.55 μm 的脊高 $h = 1.54 \sim 4.0 \mu\text{m}$. 由于 h 的值不能超过临界厚度, 并兼顾到下一步工艺制作的问题, 取两分支的内脊高均为 3 μm. 再由脊宽 w 与腐蚀深度 h 的变化关系图 3 确定出, 传播 $\lambda_1 = 1.3 \mu\text{m}$ 和 $\lambda_2 = 1.55 \mu\text{m}$ 光的 Si_{0.95}Ge_{0.05} 形波导宽度分别为 11 μm 和 8.5 μm, 腐蚀深度均为 $h = 2.6 \mu\text{m}$.

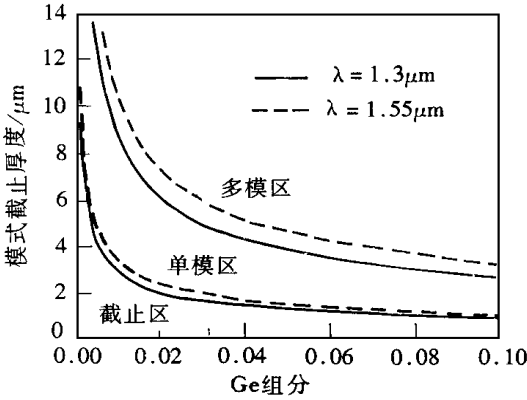


图 2 Si_{1-x}Ge_x 波导的模式截止特性与 Ge 组分 x 的关系

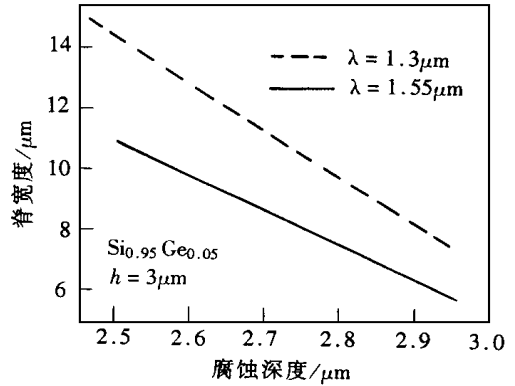


图 3 Si_{1-x}Ge_x 波导的脊宽 w 与 腐蚀深度 h 的关系

4 2 Si_{1-x}Ge_x/Si SLS 探测器的优化设计

对 Si_{1-x}Ge_x/Si SLS 探测器, Si_{1-x}Ge_x 是吸收层, 其本征吸收长波限 $\lambda = 1.24/E_g$ (μm), 将 (2) 式代入后得到对应于 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 的最小 Ge 含量分别为 0.15 和 0.31. 为了能对光进行有效地吸收, 现取 $x = 0.5$. 由于 $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ 的光子能量 $h\nu = 0.953\text{eV}$, $\lambda = 1.55\mu\text{m}$ 的光子能量 $h\nu = 0.8\text{eV}$, Si_{0.5}Ge_{0.5} 的禁带宽度 $E_g = 0.69625\text{eV}$, 而声子的能量 E_p 通常小于百分之几. 因而, Si_{0.5}Ge_{0.5} 的吸收系数满足 (20) 式. 图 4 是其吸收系数随波长的变化关系.

为了设计出 SLS 探测器的总厚度, 得到 SLS 探测器有效吸收系数与探测器厚度 H_{SLS} 的关系如图 5. 由图 5 知, 若 H_{SLS} 较小, 虽然 α_{eff} 较大, 但探测器会很长; 若 H_{SLS} 选取的较大, 可使探测器长度变短, 易于实现高度集成, 但会降低 α_{eff} . 为此选取 H_{SLS} 约 550nm . 则得到对应于 $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ 和 $\lambda = 1.55\mu\text{m}$ 的有效吸收系数 α_{eff} 分别 42.5cm^{-1} 和 10.6cm^{-1} . 再由 (23) 式得 $r = 0.2643$. 由于 $x = 0.5$ 时 Si_{1-x}Ge_x 层的最大临界厚度 $h_c = 21\text{nm}$, 现取 $t_{\text{SiGe}} = 6\text{nm}$, 则由 $r = t_{\text{SiGe}} / (t_{\text{Si}} + t_{\text{SiGe}})$ 可得 $t_{\text{Si}} = 17\text{nm}$. 进而确定出 SLS 探测器的周期数 ($< H_{\text{SLS}} / (t_{\text{Si}} + t_{\text{SiGe}}) = 23.9$) 为 23.

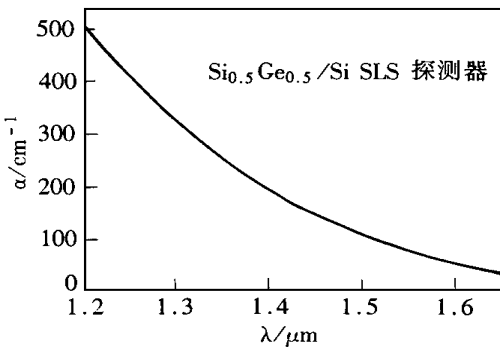


图 4 探测器的吸收系数与波长的关系

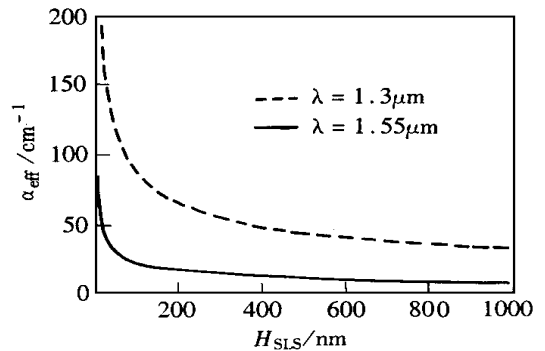


图 5 探测器的有效吸收系数与探测器厚度 H_{SLS} 的关系

对图 1 所示的 WSD 和 SLS 探测器集成的器件, 1.3 μm 和 1.55 μm 的光是在波导中边传播边耦合进入探测器被探测的, 其内量子效率为

$$\eta = 1 - \exp(-\alpha L) \quad (26)$$

式中 L 是探测器的长度 图 6 是 $H_{\text{SL}} = 550\text{nm}$ 时探测器的内量子效率随其长度的变化关系 从图 6 可看出, 在探测器厚度一定的情况下, 探测器越长, 内量子效率越高 但考虑到探测器太长时导致大的器件面积而限制其响应速度, 并使暗电流增大, 噪声因子也变大 因而, 探测 1.3 μm 的探测器长度取 1mm, 探测 1.55 μm 的探测器长度取 2mm 为宜, 且其内量子效率均高达 88%.

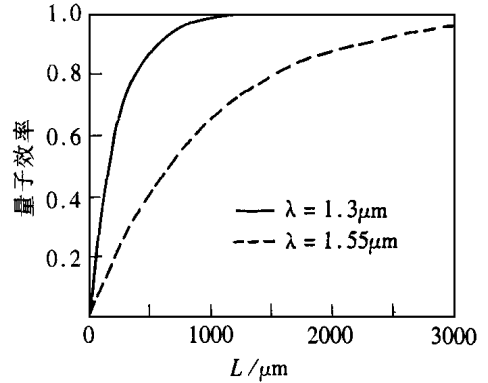


图 6 探测器的内量子效率与探测器长度的关系

5 结论

针对光纤通信的两个重要窗口 1.3 μm 和 1.55 μm , 对以 Si_{1-x}Ge_x 合金材料为主的, 由波长信号分离器和应变超晶格红外探测器组成的光电子集成器件, 优化设计预示所得的结构具有高达 88% 的内量子效率, 所得参数均符合光电子集成的要求, 工艺上也是完全可以实现的

参 考 文 献

- [1] N. Goto and G. L. Yip, *Electron Lett*, 1990, **26**(2): 102~103
- [2] F. Xiang and G. L. Yip, *IPR Tech Dig*, 1994, **3**(2): 130~132
- [3] F. Xiang and G. L. Yip, *J. Lightwave Technol*, 1996, **14**(7): 1690~1694
- [4] J. Schmidtchen, B. Schuppert, A. Splett *et al*, *IEEE Photon Technol Lett*, 1992, **4**(8): 875~877
- [5] D. S. Shen, J. P. Conde, V. Chu *et al*, *IEEE Electron Device Lett*, 1992, **13**(1): 5~7
- [6] B. Jalali, A. F. J. Levi, F. Ross *et al*, *Electron Lett*, 1992, **28**(3): 269~271
- [7] X. Xiao, J. C. Sturm, S. R. Parihar *et al*, *IEEE Electron Device Lett*, 1993, **14**(4): 199~201
- [8] T. L. Lin, J. S. Park, S. D. Gunapala *et al*, *IEEE Electron Device Lett*, 1994, **15**(3): 103~105
- [9] A. Splett, T. Zinke, K. Petemann *et al*, *IEEE Photon Technol Lett*, 1994, **6**(1): 59~61
- [10] 刘育梁, 杨沁清, 王启明, *半导体学报*, 1996, **17**(9): 667~673
- [11] R. T. Carline, D. J. Robbins, M. B. Stanaway *et al*, *Appl Phys Lett*, 1996, **68**(4): 544~546
- [12] G. Theodorou, P. C. Kelires and C. Tserbak, *Phys Rev B*, 1994, **50**(24): 18355~18359
- [13] R. People and S. A. Jackson, *New York: Academic*, 1990, 119~174
- [14] R. People, *IEEE J. Quantum Electron*, 1986, **22**(9): 1696~1710
- [15] R. A. Soref and J. P. Lorenzo, *IEEE J. Quantum Electron*, 1986, **22**(6): 873~879
- [16] R. Braunstein, A. R. Moore, F. Heman, *Phys Rev*, 1958, **109**(3): 695~710
- [17] S. Luryi, T. P. Pearsall, H. Temkin *et al*, *IEEE Electron Device Lett*, 1986, **7**(2): 104~107

Integration of Si_{1-x}Ge_x Wavelength Signal Divider and Si_{1-x}Ge_x/Si Strained-Layer Superlattices Photodetector for 1.3 μ m and 1.55 μ m Operation

Li Baojun, Li Guozheng and Liu Enke

(Microelectronic Engineering Department, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Received 12 December 1996, revised manuscript received 8 May 1997

Abstract A systematical analysis and optimizing design have been reported for the integration of Si_{1-x}Ge_x wavelength single divider (WSD) and Si_{1-x}Ge_x/Si strained-layer superlattices (SLS) infrared detector at $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ and $1.55\mu\text{m}$ operation. The optimizing design results are as follows: (1) For Si_{1-x}Ge_x WSD, Ge content $x = 0.05$. Rib height and etched depth of the waveguide are 3 and 2.6 μm , respectively. For $\lambda_1 = 1.3\mu\text{m}$ and $\lambda_2 = 1.55\mu\text{m}$, the rib widths of waveguide are 11 and 8.5 μm , respectively. (2) For Si_{1-x}Ge_x/Si SLS infrared detector, Ge content $x = 0.5$. Total thickness of the detector is 550nm consisted by 23 periods 6nm Si_{0.5}Ge_{0.5} + 17nm Si. For $\lambda_1 = 1.3\mu\text{m}$ and $\lambda_2 = 1.55\mu\text{m}$, the lengths of the detectors are 1mm and 2mm, respectively.

PACC: 6150C, 7230, 4130, 2530C, 2520