

1550 nm-VCSELs 在偏振保持光反馈和正交光注入下的偏振转换特性

张晓旭 张胜海 吴天安 孙巍阳

Polarization switching characteristics of polarization maintaining optical feedback and orthogonal optical injection of 1550 nm-VCSEL

Zhang Xiao-Xu Zhang Sheng-Hai Wu Tian-An Sun Wei-Yang

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 65, 214206 (2016) DOI: 10.7498/aps.65.214206

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.214206>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2016/V65/I21>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

外光注入半导体环形激光器同时产生两路宽带混沌信号

Two broadband chaotic signals generated simultaneously by semiconductor ring laser with parallel chaotic injection

物理学报.2016, 65(20): 204203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.204203>

基于偏振旋转耦合 1550 nm 垂直腔面发射激光器环形系统产生多路高质量混沌信号

Generations of multi-channel high-quality chaotic signals based on a ring system composed of polarization rotated coupled 1550 nm vertical-cavity surface-emitting lasers

物理学报.2016, 65(19): 194207 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.194207>

高功率、高效率 808nm 半导体激光器阵列

High-power, high-efficiency 808 nm laser diode array

物理学报.2016, 65(16): 164203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.164203>

可变偏振光注入下 1550nm 垂直腔面发射激光器的偏振开关及双稳特性

Investigations on the polarization switching and bistability in a 1550 nm vertical-cavity surface-emitting laser under variable-polarization optical injection

物理学报.2016, 65(16): 164204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.164204>

894nm 高温垂直腔面发射激光器及其芯片级铯原子钟系统的应用

894 nm high temperature operating vertical-cavity surface-emitting laser and its application in Cs chip-scale atomic-clock system

物理学报.2016, 65(13): 134204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.134204>

1550 nm-VCSELs在偏振保持光反馈和正交光注入下的偏振转换特性*

张晓旭 张胜海[†] 吴天安 孙巍阳

(信息工程大学理学院, 郑州 450001)

(2016年4月26日收到; 2016年7月11日收到修改稿)

基于自旋反转模型, 研究了1550 nm垂直腔面发射激光器(1550 nm-VCSELs)在偏振保持光反馈和正交光注入下的偏振转换特性. 结果表明: 正交光注入下的从激光器会随着注入强度的增加产生偏振转换. 在归一化注入电流较小时, 改变反馈强度, 会使从激光器发生偏振转换的注入强度出现规律不同的变化; 改变频率失谐, 会使从激光器发生偏振转换的注入强度出现规律相同的变化.

关键词: 1550 nm垂直腔面发射激光器, 偏振保持光反馈, 正交光注入, 偏振转换

PACS: 42.55.Px, 42.25.Ja, 42.65.Sf, 42.65.Pc

DOI: 10.7498/aps.65.214206

1 引言

垂直腔面发射激光器(VCSELs)相对常规边发射激光器(EELs)而言具有尺寸小、阈值电流低、发散角小、可单纵模圆形光输出且易与光纤耦合等优点^[1]. 因此在光转换、光通信、光互连、光存储以及光读写等领域具有广阔的应用前景. 与EELs不同, 由于VCSELs的增益有源区或激光腔中存在微弱的各向异性, 从而导致其输出包含两个正交的偏振分量. 阈值电流附近, 其输出通常是以一个方向的偏振分量为主导, 而另一个正交方向的偏振分量处于抑制状态. 通过增加注入电流^[2,3]、改变其他内部工作参量^[4]或引入外部扰动^[5-8], 可出现偏振分量的突然跳变, 从而使原被抑制的非主导偏振分量转变为主导偏振分量, 同时原主导偏振分量被抑制转变为非主导偏振分量, 这种现象称为偏振转换(PS). 注入电流增加引起PS的可能原因是, 注入电流的焦耳作用引起的热效应使增益频谱和谐振腔频率都发生红移, 由于谐振腔频率的红移较慢, 导致两个偏振分量的增益差可能改变符号, 从而发生PS^[2].

VCSELs的PS可以广泛应用到光交换、光开关和光调制等领域, 因此有必要对VCSELs的PS进行研究. 目前关于VCSELs的PS研究主要集中在850, 980 nm等短波长范围^[7-10], 而对于长波长1550 nm-VCSELs的PS研究还不够深入. 1550 nm-VCSELs的发射波长位于光纤的零色散和低损窗口, 同时具有易于实现二维面阵输出的特点, 因此在信息的长距离、并行传输领域具有广阔的应用前景^[11-13]. 近年来, 随着1550 nm-VCSELs材料和制作工艺的不断改进, 性能正逐步得到提升^[14]. 因此在现阶段对1550 nm-VCSELs的PS进行深入研究显得十分必要. 最近Al-Seyab等^[15]研究了1550 nm-VCSELs在任意角度偏振光注入下的动力学特性, 并与实验结果进行了比较. Torre等^[13]从理论和实验两方面研究了1550 nm-VCSELs正交光注入的PS特性. 郑安杰等^[4]研究了1550 nm-VCSELs偏振保持光反馈的PS特性和非线性动力学特性. Wei等^[5]研究了1550 nm-VCSELs正交光注入对偏振保持光反馈的PS特性和非线性动力学特性的影响. Che等^[6]研究了1550 nm-VCSELs光电反馈对PS的影响. Chen等^[16]研究了1550 nm-VCSELs注入强度对PS的

* 河南省重点科技攻关项目(批准号: 152102210012)资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: ccstshz@163.com

影响. 周桢力等^[17]研究发现连续改变互注入强度, 1550 nm-VCSELs 可产生多次的 PS.

本文对 1550 nm-VCSELs 自由运行激光器正交注入自由运行激光器、自由运行激光器正交注入偏振保持光反馈激光器、偏振保持光反馈激光器正交注入自由运行激光器、偏振保持光反馈激光器正交注入偏振保持光激光器的 PS 特性进行了研究.

2 理论模型

图 1 为主和/或从激光器偏振保持光反馈以及正交光注入下的 1550 nm-VCSELs 系统结构模型. 主激光器 M-VCSELs 输出的光经过准直透镜 L1, 被分束器 BS1 分成两路, 一路经过中性密度滤波片 NDF1, 外腔反馈镜 M1 反射回主激光器中. 其中 NDF1 用来调节主激光器反馈强度, A 点用来控制主激光器反馈光路的通断. 从激光器 S-VCSELs 输出的光经过准直透镜 L2、分束器 BS2、中性密度滤波片 NDF2、外腔反馈镜 M2 反射回从激光器中. 其中 NDF2 用来调节从激光器的反馈强度. B 点用来控制从激光器反馈光路的通断. 主激光器被 BS1 分出的另一路光又经半波片 (HWP), 光隔离器 (ISO) 正交注入到从激光器. 其中 ISO 用来保证单向注入, 这里特将 HWP 的快轴方向与主激光器的 X 偏振分量方向之间的夹角设定为 45°, 目的是保证正交注入.

通过阻断和连通 A, B 和 C 点可以获得正交注入的四种方案.

方案 1 阻断 A 和 B 点, 连通 C 点. 实现自由运行主激光器正交注入自由运行从激光器, 主、从激光器场强方程中都不包含偏振保持光反馈项.

方案 2 阻断 A 点, 连通 B 和 C 点. 实现自由运行主激光器正交注入偏振保持光反馈从激光器, 主激光器场强方程中不包含偏振保持光反馈项, 从激光器场强方程中包含偏振保持光反馈项.

方案 3 连通 A 和 C 点, 阻断 B 点. 实现偏振保持光反馈主激光器正交注入自由运行从激光器, 主激光器场强方程包含偏振保持光反馈项, 从激光器场强方程中不包含偏振保持光反馈项.

方案 4 连通 A, B 和 C 点. 实现偏振保持光反馈主激光器正交注入偏振保持光反馈从激光器, 主、从激光器场强方程中包含偏振保持光反馈项.

基于自旋反转模型^[18], 描述主和/或从激光器偏振保持光反馈以及正交光注入下的 VCSELs 系

统速率方程可表示为

$$\begin{aligned} \frac{dE_{x,y}^m}{dt} = & k(1 + i\alpha)[(N^m - 1)E_{x,y}^m \pm in^m E_{y,x}^m] \\ & \mp (\gamma_a + i\gamma_p)E_{x,y}^m + k_f E_{x,y}^m(t - \tau_1) \\ & \times \exp(-i2\pi\nu^m \tau_1) + F_{x,y}^m, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{dE_{x,y}^s}{dt} = & k(1 + i\alpha)[(N^s - 1)E_{x,y}^s \pm in^s E_{y,x}^s] \\ & \mp (\gamma_a + i\gamma_p)E_{x,y}^s + k_f E_{x,y}^s(t - \tau_1) \\ & \times \exp(-i2\pi\nu^s \tau_1) + k_j E_{y,x}^m(t - \tau_2) \\ & \times \exp[-i2\pi(\nu^s \tau_2 - \Delta\nu t)] + F_{x,y}^s, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{dN^{m,s}}{dt} = & \gamma_N[\mu - N^{m,s}(1 + |E_x^{m,s}|^2 + |E_y^{m,s}|^2) \\ & + in^{m,s}(E_x^{m,s} E_y^{m,s*} - E_y^{m,s} E_x^{m,s*})], \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{dn^{m,s}}{dt} = & -\gamma_s n^{m,s} - \gamma_N[n^{m,s}(|E_x^{m,s}|^2 + |E_y^{m,s}|^2) \\ & + iN^{m,s}(E_y^{m,s} E_x^{m,s*} - E_x^{m,s} E_y^{m,s*})]. \end{aligned} \quad (4)$$

上述方程中, 上标 m 和 s 分别对应于 M-VCSELs 和 S-VCSELs, 下标 x 和 y 分别表示 X 偏振分量和 Y 偏振分量, E 表示光场的慢变复振幅, N 表示导带和价带之间总的反转载流子密度, n 表示自旋向上和自旋向下反转载流子密度的差值, k 表示光场衰

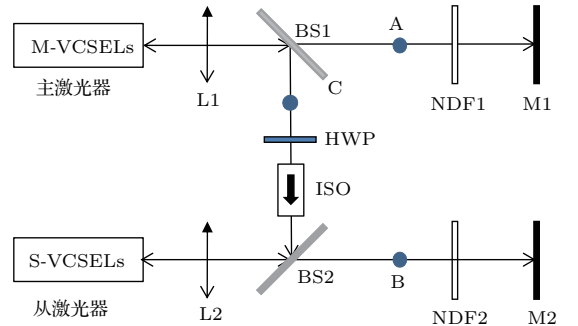


图 1 主和/或从激光器偏振保持光反馈以及正交光注入下的 1550 nm-VCSELs 系统结构示意图. 图中 M-VCSELs 为主激光器; S-VCSELs 为从激光器; L1, L2 为准直透镜; BS1, BS2 为分束器; NDF1, NDF2 为中性密度滤波片; M1, M2 为反射镜; HWP 为半波片; ISO 为光隔离器; A, B 为反馈光路阻断和连通点; C 为注入光路阻断和连通点.

Fig. 1. Schematic diagram of the 1550 nm-VCSELs system structure for the master and / or the slave laser polarization maintaining optical feedback and orthogonal optical injection. Where M-VCSELs is master VCSEL; S-VCSELs is slave VCSEL; L1, L2 are collimator lens; BS1, BS2 are beam splitters; NDF1, NDF2 are neutral density filters; M1, M2 are reflectors; HWP is half wave plate; ISO is optical isolator; A, B are feedback optical path blocking and connecting points; C is injection optical path blocking and connecting point.

减速率, α 表示线宽增强因子, $\mu = J/J_{th}$ 表示在阈值归一化为1时的归一化注入电流, γ_N 表示总载流子的衰减速率, γ_s 表示自旋反转速率, γ_a 表示有源介质的线性色散效应, γ_p 表示有源介质的双折射效应, k_f 表示偏振保持光反馈的反馈强度, τ_1 表示偏振保持光反馈的延迟反馈时间, k_j 表示 M-VCSELS 注入到 S-VCSELS 的注入强度, τ_2 表示 M-VCSELS 注入到 S-VCSELS 的注入延迟时间, ν^m 表示 M-VCSELS 的中心频率, ν^s 表示 S-VCSELS 的中心频率, $\Delta\nu = \nu^m - \nu^s$ 表示主、从激光器间的频率失谐.

F 表示自发辐射噪声, 具体形式如下:

$$F_x^{m,s} = \sqrt{\frac{\beta_{sp}}{2}} \left(\sqrt{N^{m,s} + n^{m,s}} \xi_1^{m,s} + \sqrt{N^{m,s} - n^{m,s}} \xi_2^{m,s} \right), \quad (5)$$

$$F_y^{m,s} = -i \sqrt{\frac{\beta_{sp}}{2}} \left(\sqrt{N^{m,s} + n^{m,s}} \xi_1^{m,s} - \sqrt{N^{m,s} - n^{m,s}} \xi_2^{m,s} \right), \quad (6)$$

其中, ξ_1 和 ξ_2 表示两个相互独立的平均值为0方差为1的高斯白噪声, β_{sp} 表示自发辐射速率.

3 结果与讨论

利用四阶 Runge-kutta 算法对 (1)—(4) 式数值求解, 模拟采用参数如下: $k = 125 \text{ ns}^{-1}$, $\alpha = 2.2$, $\gamma_N = 0.67 \text{ ns}^{-1}$, $\gamma_p = 192 \text{ ns}^{-1}$, $\nu^m = \nu^s = 194.33 \text{ THz}$ (对应中心波长为 1543 nm) [15]. 由于 γ_a 和 γ_s 的取值对发生 PS 时的归一化注入电流值有较大影响, 随着 γ_a , γ_s 的增大, 发生 PS 所需的归一化注入电流值逐渐增大, 过大的 γ_a 和 γ_s 导致在模拟归一化注入电流区域内不出现 PS. 固定激光器内部参数 $\gamma_a = 1 \text{ ns}^{-1}$, $\gamma_s = 1000 \text{ ns}^{-1}$, 断开 A, B, C 点, 使主和从激光器自由运行状态下, 模拟两偏振分量的平均功率随归一化注入电流变化的曲线, 在模拟归一化注入电流区域内没有出现 PS [4], 激光器 Y 偏振分量为主导分量, X 偏振分量受到抑制为非主导分量.

3.1 1550 nm-VCSELS 在偏振保持光反馈下的偏振特性

连通 A, B 点, 断开 C 点, 使主和从激光器引入偏振保持光反馈, 取反馈时间 $\tau_1 = 2 \text{ ns}$. 通过对两偏振分量的平均功率随归一化注入电流变化的模拟, 在不同偏振保持光反馈强度 (0—20 GHz) 下,

模拟归一化注入电流区域内仍然没有出现 PS, 但两偏振分量的平均功率出现非线性起伏.

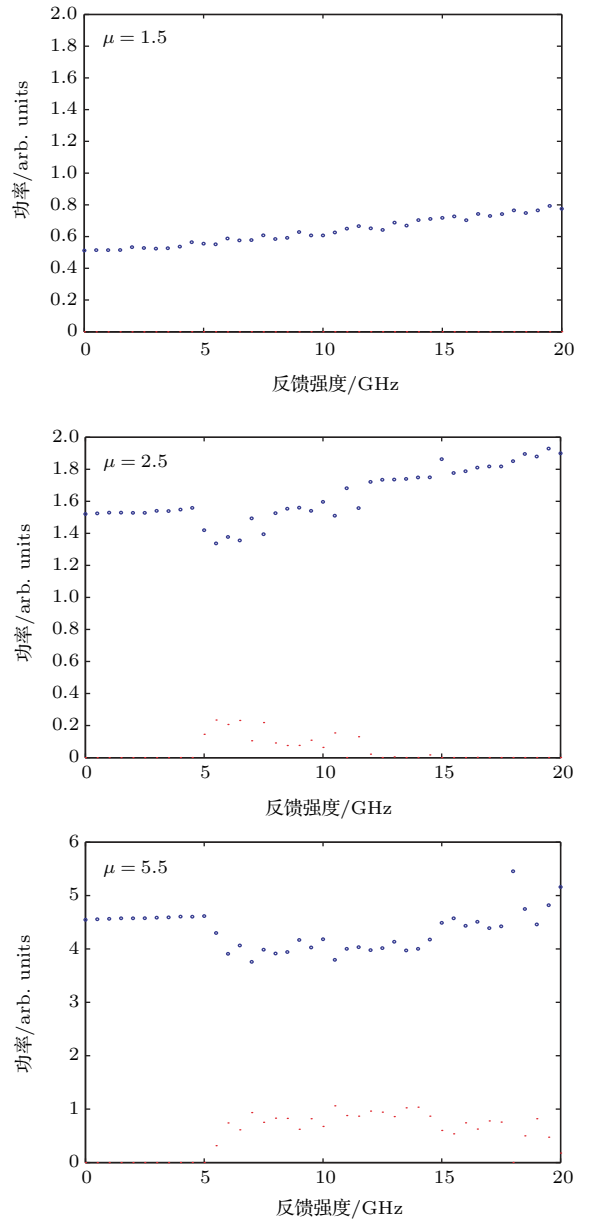


图2 (网刊彩色) 偏振保持光反馈 1550 nm-VCSELS X, Y 偏振分量的平均功率随反馈强度的变化, 其中, 红色实点表示从激光器 X 偏振分量, 蓝色圆圈表示从激光器 Y 偏振分量

Fig. 2. (color online) The curve diagrams of the average power of the X and Y polarization components of the polarization maintaining optical feedback 1550 nm-VCSELS with the feedback intensity. The red real points represent the X polarization component from the salve laser, and the blue circles represent the Y polarization component from the salve laser.

为进一步说明引入偏振保持光反馈后对两个偏振分量的影响, 图2给出了不同归一化注入电流下, 1550 nm-VCSELS X, Y 偏振分量的平均功率随反馈强度的变化. 由图2可知: 1) 在归一化注入

电流较小 ($\mu = 1.5$) 时, 增大偏振保持光反馈强度不足以使被抑制的 X 偏振分量起振, 但可以使 Y 偏振分量出现混沌而呈现非线性起伏, 且两偏振分量的差值整体增大; 2) 在归一化注入电流适中 ($\mu = 2.5$) 时, 增大偏振保持光反馈强度可以先使被抑制的 X 偏振分量起振和 Y 偏振分量起伏, 出现两偏振分量混沌态共存, 在两偏振分量共存区域, 随着反馈强度的增大, 没有出现随着反馈强度的增大两偏振分量的差值增大, 而是具有波动性, 继续增大反馈强度又起到抑制 X 偏振分量起振和 Y 偏振分量起伏, 并且 X 偏振分量被成功抑制后, 仍然会出现随反馈强度的增大, 两偏振分量的差值整体增大; 3) 在归一化注入电流过大 ($\mu = 5.5$) 时, 增大偏振保持光反馈强度可以使被抑制的 X 偏振分量起振和 Y 偏振分量起伏, 两种偏振分量共存, 继续增大反馈强度, 由于归一化注入电流过大, 混沌状态特征明显, 引起的非线性效应较强, X 偏振分量不能被抑制, 因此两偏振分量的非线性起伏显著, 随着反馈强度的增大, 并不会出现两偏振分量的差值增大, 而是具有波动性.

3.2 1550 nm-VCSELs 在正交光注入下的 PS 特性

为了方便地研究正交光注入下的 PS, 定义:

$$P_{Nx}^{m,s} = \frac{|E_x^{m,s}|^2}{|E_x^{m,s}|^2 + |E_y^{m,s}|^2}, \quad (7)$$

$$P_{Ny}^{m,s} = \frac{|E_y^{m,s}|^2}{|E_x^{m,s}|^2 + |E_y^{m,s}|^2}, \quad (8)$$

其中 P_N 表示归一化平均功率.

主和从激光器都为自由运行激光器时, 正交光注入下的从激光器可以发生 PS. 图 3 给出了方案 1 情况下, $\mu = 1.5$ 、频率失谐 $\Delta\nu = 0$ 时, 两偏振分量归一化平均功率随注入强度的变化. 由图 3 可知, 从激光器 Y 偏振分量先是主导分量, 随着注入强度的增大, 从激光器 X 偏振分量逐步增大, Y 偏振分量逐步减小, 在注入强度达到 270 GHz 时, 产生了一个由注入引起的 PS, 继续增大注入强度到 390 GHz, 从激光器 Y 偏振分量完全被抑制. 当改变归一化注入电流时, 发生 PS 的注入强度点不产生改变, 仍是 270 GHz.

主和/或从激光器引入偏振保持光反馈后, 会使由正交光注入所导致的 PS 点发生移动. 图 4 给出了较小归一化注入电流 $\mu = 1.5$, $\Delta\nu = 0$ 时, 主

和/或从激光器引入偏振保持光反馈后, 三种方案发生 PS 的注入强度随反馈强度的变化. 方案 2 黑色正方形显示, 随着从激光器偏振保持光反馈强度的增加, 引起从激光器 PS 所需的注入强度值增大. 原因是从激光器偏振保持光反馈的引入增大了从激光器两个偏振分量的差值, 如图 2 (a) 所示, 这就需要主激光器更大的注入强度才能出现 PS. 方案 3 红色圆实点显示, 随着主激光器偏振保持光反馈强度的增加, 引起从激光器 PS 所需的注入强度值减小, 原因是主激光器偏振反馈的引入增大了主激光器两个偏振分量的差值, 因此仅需主激光器更小的注入强度就能出现 PS. 方案 4 绿色上三角显示, 随着主和从激光器反馈强度的同时增加, 引起从激光器 PS 所需的注入强度值和自由运行激光器时引起 PS 的注入强度基本一致, 呈现无规律非线性起伏, 原因在于偏振反馈的引入同时增大了主、从激光器两个偏振分量的差值.

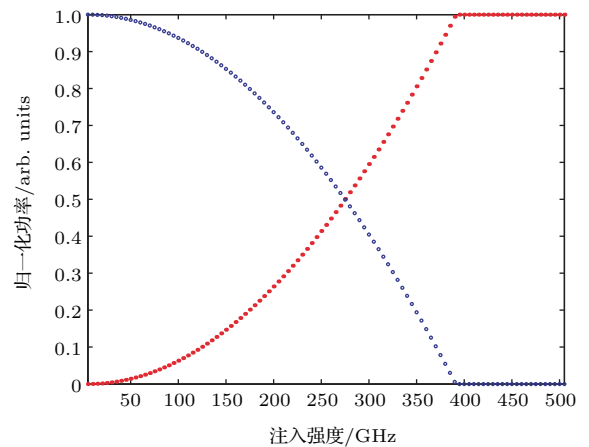


图 3 (网刊彩色) $\mu = 1.5$ 、频率失谐 $\Delta\nu = 0$ 时方案 1 的从激光器归一化平均功率随注入强度的变化, 其中, 红色实点表示从激光器 X 偏振分量, 蓝色圆圈表示从激光器 Y 偏振分量

Fig. 3. (color online) When $\mu = 1.5$, frequency detuning $\Delta\nu = 0$, scheme 1, the curve diagram of normalized average power of the slave laser with the variation of injection intensity. The red real points represent the X polarization component from the slave laser, and the blue circles represent the Y polarization component from the slave laser.

主和/或从激光器引入偏振保持光反馈, 频率失谐 $\Delta\nu = 0$ 时, 通过对较大归一化注入电流三种方案发生 PS 的注入强度随反馈强度变化的模拟, 并没有出现如图 4 所示的鲜明规律性趋势, 三种方案的 PS 点都在自由运行激光器引起的 PS 点附近呈现无规律的非线性起伏.

频率失谐也会使由正交光注入所导致的 PS 点

发生移动. 图 5(a) 给出了自由运行 $\mu = 1.5$ 时发生 PS 的注入强度随频率失谐的变化. 由图 5(a) 可知, 在考察的频率失谐区间内, 发生 PS 所需要的注入强度先减小后增大, 在频率失谐约 -60 GHz 处达到最小, 且以 $\Delta\nu \approx -60$ GHz 为轴呈现“V”字型对称分布. 当改变归一化注入电流时, 发生 PS 的注入强度随频率失谐变化的曲线图完全一致.

图 5(b) 给出了偏振保持光反馈的其他三种方案在 $\mu = 1.5$, $k_f = 5$ GHz 时, 发生 PS 的注入强度随频率失谐的变化. 由图 5(b) 可以看出, 此三种方案发生 PS 的注入强度随频率失谐的变化和图 5(a) 有相似的趋势, 只是对于相同的频率失谐, 发生 PS 所需要的注入强度从大到小依次为方案 2、方案 4、方案 3. 当 $\mu = 1.5$, $k_f = 15$ GHz 时, 对于相同的频率失谐, 发生 PS 所需要的注入强度方案 2 > 方案 4 > 方案 3 将会更加明显, 如图 5(c) 所示, 这一结果也和图 4 相符合. 当改变较大的归一化注入电流时, 偏振保持光反馈的其他三种方案发生 PS 的注入强度随频率失谐的变化仍然具有图 5(a) 的趋

势, 只是没有图 5(b) 和图 5(c) 呈现的发生 PS 所需要的注入强度方案 2 > 方案 4 > 方案 3, 而是方案 2 \approx 方案 3 \approx 方案 4, 这也与前面的分析相符合.

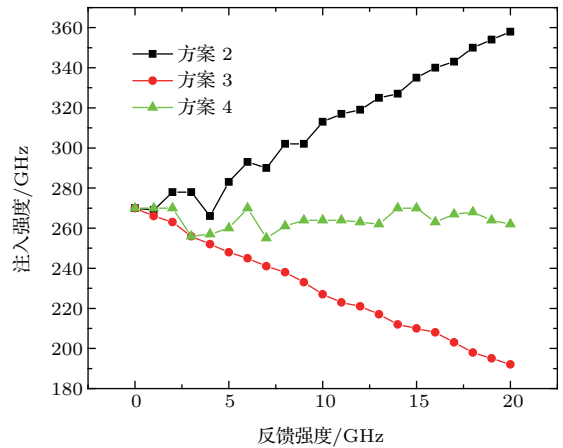


图 4 $\mu = 1.5$, $\Delta\nu = 0$ 时, 发生 PS 所需要的注入强度随反馈强度的变化

Fig. 4. When $\mu = 1.5$, $\Delta\nu = 0$, the curve diagram of the change of injection intensity with the feedback intensity needed for the PS.

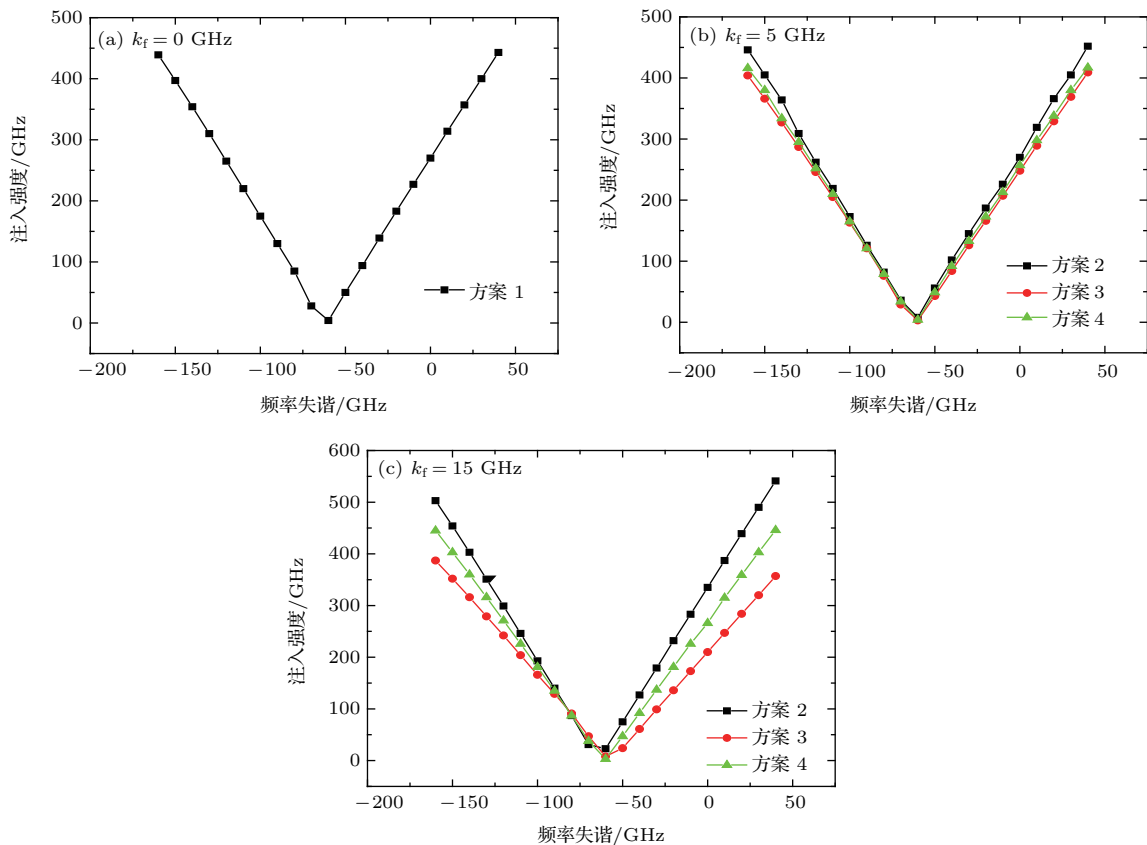


图 5 (网刊彩色) $\mu = 1.5$ 时, 发生 PS 所需要的注入强度随频率失谐的变化

Fig. 5. (color online) When $\mu = 1.5$, the curve diagrams of the change of injection intensity with the frequency detuning needed for the PS.

4 结 论

基于自旋反转模型, 在偏振保持光反馈和正交光注入作用下, 1550 nm-VCSELs产生的PS现象呈现一定规律, 即只有在较小归一化注入电流时, 改变反馈强度可以使PS点发生规律性移动: 即自由运行激光器正交注入偏振保持光反馈激光器, 发生PS需要的注入强度随反馈强度的增大而增大; 偏振保持光反馈激光器正交注入自由运行激光器, 发生PS需要的注入强度随反馈强度的增大而减小; 偏振保持光反馈激光器正交注入偏振保持光激光器, 发生PS所需要的注入强度随反馈强度的增大呈现非线性起伏. 原因在于归一化注入电流较小时, 非主导 X 偏振分量不能起振, 随着反馈强度的增大, 两偏振分量的差值将会增大. 较大归一化注入电流时, 改变反馈强度只能使PS点发生无规律的非线性波动. 原因在于归一化注入电流较大时, 非主导 X 偏振分量起振和主导 Y 偏振分量形成显著的非线性波动.

改变频率失谐可以使PS点发生规律性移动, 正交光注入的四种方案发生PS所需要的注入强度先减小后增大, 在频率失谐约 -60 GHz处达到最小, 且以 $\Delta\nu = -60$ GHz为轴呈现“V”型对称分布, 此PS点发生的规律性移动并不随着归一化注入电流的改变而显著改变.

参考文献

- [1] Miguel M S, Feng Q, Moloney J V 1995 *Phys. Rev. A* **52** 1728
- [2] Masoller C, Torre M S 2005 *IEEE J. Quantum Electron* **41** 483
- [3] Zhong D Z, Ji Y Q, Deng T, Zhou K L 2015 *Acta Phys. Sin.* **64** 114203 (in Chinese) [钟东洲, 计永强, 邓涛, 周开利 2015 物理学报 **64** 114203]
- [4] Zheng A J, Wu Z M, Deng T, Li X J, Xia G Q 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 234203 (in Chinese) [郑安杰, 吴正茂, 邓涛, 李小坚, 夏光琼 2012 物理学报 **61** 234203]
- [5] Wei B, Wu Z M, Deng T, Xia G Q 2013 *Front. Optoelectron.* **6** 243
- [6] Che H J, Xie Y Y, Zhao W L 2013 *Inform. Technol. J.* **12** 6191
- [7] Yan X J, Xia G Q, Wu J G, Wu Z M 2008 *J. Optoelectron. Adv. M.* **10** 2502
- [8] Jiao X M, Fan L, Xia G Q, Wu Z M 2010 *Optoelectron. Adv. Mat.* **4** 592
- [9] Paul J, Masoller C, Hong Y H, Spencer P S, Shore K A 2007 *J. Opt. Soc. Am. B* **24** 1987
- [10] Li X F, Pan W, Luo B, Ma D, Deng G 2006 *IEE Proc.-Optoelectron* **153** 67
- [11] Kapon E, Sirbu A 2009 *Nat. Photon.* **3** 27
- [12] Pérez P, Quirce A, Pesquera L, Valle A 2011 *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron* **17** 1228
- [13] Torre M, Hurtado A, Quirce A, Valle A, Pesquera L, Adams M 2011 *IEEE J. Quantum Electron* **47** 92
- [14] Muller M, Hofmann W, Grundl T, Horn M, Wolf P, Nagel R D, Ronneberg E, Bohm G, Bimberg D, Amann M C 2011 *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron* **17** 1158
- [15] Al-Seyab R, Schires K, Khan N A, Hurtado A 2011 *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron* **17** 1242
- [16] Chen J J, Xia G Q, Wu Z M 2015 *Chin. Phys. B* **24** 024210
- [17] Zhou Z L, Xia G Q, Deng T, Zhao M R, Wu Z M 2015 *Acta Phys. Sin.* **64** 024208 (in Chinese) [周楨力, 夏光琼, 邓涛, 赵茂茂, 吴正茂 2015 物理学报 **64** 024208]
- [18] Martin-Regalado J, Prati F, Miguel M S, Abraham N B 1997 *IEEE J. Quantum Electron* **33** 765

Polarization switching characteristics of polarization maintaining optical feedback and orthogonal optical injection of 1550 nm-VCSEL*

Zhang Xiao-Xu Zhang Sheng-Hai[†] Wu Tian-An Sun Wei-Yang

(College of Science, Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China)

(Received 26 April 2016; revised manuscript received 11 July 2016)

Abstract

Based on the spin flip model, four schemes for the polarization switching of the 1550 nm vertical cavity surface emitting laser are studied by using numerical simulation, which are free running laser orthogonal injection free running laser, free running laser orthogonal injection polarization maintaining optical feedback laser, polarization maintaining optical feedback laser orthogonal injection free running laser, and polarization maintaining optical feedback laser orthogonal injection polarization maintaining optical laser. We can draw three conclusions from the numerical results. Firstly, changing the feedback strength can make the polarization switching point of the injection intensity in the different regular movements when the normalized injection current is small. The injection intensity of the polarization switching point increases with the increase of the feedback strength for the free running laser orthogonal injection polarization maintaining optical feedback laser; the injection intensity of the polarization switching point decreases with the increase of the feedback strength for the polarization maintaining optical feedback laser orthogonal injection free running laser; the injection intensity of the polarization switching point is nonlinear and fluctuates with the increase of the feedback strength for the polarization maintaining optical feedback laser orthogonal injection polarization maintaining optical laser. The reason is that the non dominant X polarization component cannot go up when the normalized injection current is small, then, as the feedback intensity increases, the difference between the two polarization components will be increased. Secondly, when the normalized injection current is large, changing the feedback intensity can make the polarization switching point of the injection intensity in the irregular movement. The reason is that the non dominant X polarization component can go up when the normalized injection current increases up to a certain value, which can form the significant nonlinear wave together with the dominant Y polarization component. Thirdly, changing the frequency detuning can make the polarization switching point of the injection intensity in the same regular movement. The injection strength required for the occurrence of polarization switching point first decreases and then increases for the four schemes, when the frequency detuning is from approximately -60 GHz to the minimum, presenting the symmetrical distribution of "V" type with -60 GHz as the axis. The same regular movement of the polarization switching point of the injection intensity is not changed with the change of the normalized injection current.

Keywords: 1550 nm vertical cavity surface emitting laser, polarization maintaining optical feedback, orthogonal optical injection, polarization switching

PACS: 42.55.Px, 42.25.Ja, 42.65.Sf, 42.65.Pc

DOI: 10.7498/aps.65.214206

* Project supported by the Key Science and Technology Program of Henan Province, China (Grant No. 152102210012).

[†] Corresponding author. E-mail: ccstshz@163.com