

**基于半导体光纤环形腔激光器的全光广播式超宽带信号源**

赵赞善 李培丽

**All-optical broadcast ultra-wideband signal source based on semiconductor fiber ring laser**

Zhao Zan-Shan Li Pei-Li

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 68, 140401 (2019) DOI: 10.7498/aps.68.20182301

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.68.20182301>

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

---

**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 <https://doi.org/10.7498/aps.65.204203>

一种基于石墨烯的超宽带吸波器

An ultra-wideband absorber based on graphene

物理学报. 2016, 65(5): 054101 <https://doi.org/10.7498/aps.65.054101>

基于开口椭圆环的高效超宽带极化旋转超表面

High-efficiency ultra-wideband polarization conversion metasurfaces based on split elliptical ring resonators

物理学报. 2015, 64(17): 178101 <https://doi.org/10.7498/aps.64.178101>

基于半导体环形激光器的高速双向双信道混沌保密通信

High speed bidirectional dual-channel chaos secure communication based on semiconductor ring lasers

物理学报. 2015, 64(15): 154205 <https://doi.org/10.7498/aps.64.154205>

高斯切趾型光纤布拉格光栅外腔半导体激光器的混沌输出特性

Characteristics of chaotic output from a Gaussian apodized fiber Bragg grating external-cavity semiconductor laser

物理学报. 2017, 66(24): 244207 <https://doi.org/10.7498/aps.66.244207>

半导体激光器输出混沌光的延时特性和带宽

Time delay characteristics and bandwidth of chaotic laser from semiconductor laser

物理学报. 2018, 67(14): 140501 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20180035>

# 基于半导体光纤环形腔激光器的全光广播式超宽带信号源

赵赞善<sup>1)†</sup> 李培丽<sup>2)</sup>

1) (中国科学院声学研究所南海研究站, 海口 570100)

2) (南京邮电大学电子与光学工程学院、微电子学院, 南京 210023)

(2018年12月29日收到; 2019年4月8日收到修改稿)

提出一种新型的基于半导体光纤环形腔激光器 (semiconductor fiber ring laser, SFRL) 全光超宽带 (ultra-wideband, UWB) 信号源的方案, 该方案可以同时产生 3 路高斯脉冲一阶导数脉冲 (monocycle) UWB 信号. 建立了这种全光 UWB 信号源的宽带理论模型, 通过数值模拟的方法研究 SFRL 中的半导体光放大器 (semiconductor optical amplifier, SOA) 的注入电流、激光光波长、输入信号光功率和波长对 monocycle 信号性能的影响. 结果表明: SOA 的注入电流在 200—220 mA 时可以获得对称性较好的 monocycle 脉冲; 输出 monocycle 脉冲平均功率和正、负脉冲振幅随激光光波长增加而增加; 较低的输入信号光功率可以获得性能较好的 monocycle 信号; 输入信号光波长对输出 monocycle 信号有一定的影响, 但影响很小.

**关键词:** 超宽带, 高斯脉冲一阶导数脉冲, 半导体光纤环形腔激光器, 交叉增益调制

**PACS:** 04.30.Db, 88.80.ht, 42.70.Nq, 42.55.Wd

**DOI:** 10.7498/aps.68.20182301

## 1 引言

超宽带 (ultra-wideband, UWB) 射频技术是一种短距离无线传输技术, 具有高速率、低功耗和低成本的优点<sup>[1]</sup>, 但其发射功率受限制, 传输距离一般限制在几米到几十米. 为了克服这个不足, 人们提出了在光纤中传输 UWB 信号 (UWB-over-fiber) 的技术, 并开始研究光学产生 UWB 信号的技术.

高斯脉冲的一阶导数 (monocycle)、二阶导数 (doublet) 及高阶导数因为没有直流分量, 只要在时域上选择合适的脉冲宽度就能得到符合美国联邦通信委员会 (Federal Communications Commission, FCC) 定义的 UWB 信号频谱. 利用调制出的极性相反、时间相对延迟的脉冲叠加, 形成高斯脉冲的导数, 从而获得 UWB 信号<sup>[2–13]</sup>, 文献<sup>[14]</sup>利用高斯脉冲在半导体光放大器 (semiconductor optical

amplifier, SOA) 中传输峰值向前倾的特点, 两个极性相反的脉冲直接叠加不会全部抵消, 从而形成 monocycle 信号, 由于极性相反的脉冲由不同波长光承载, 传输一段距离后会因色散发生形变; 利用相位调制和频率鉴别器相结合, 通过选择合适的波长获得各种高斯脉冲的导数<sup>[15–19]</sup>; 利用 SOA 的增益饱和效应, 负脉冲信号通过 SOA 放大, 并在脉冲的上升沿产生过冲 (overshoot) 形成一个正脉冲, 从而形成高斯脉冲导数波形<sup>[6,20–23]</sup>.

目前光学产生 UWB 方法主要产生的是单一信号源, 但对输出多路 UWB 信号源的研究少. 文献<sup>[24]</sup>利用光子晶体光纤中四波混频效应 (four-wave mixing, FWM) 同时产生 4 路 monocycle 信号, 但该方案需要输入 3 路光源, 且转换效率低. 本文提出一种基于半导体光纤环形腔激光器 (semiconductor fiber ring laser, SFRL) 的全光 UWB 信号源方案, 可以同时产生 3 路 monocycle

† 通信作者. E-mail: zhaozanshan@163.com

信号, 而只需要 1 束输入光信号, 结构简单且适合应用于广播式通信场景. 输出的 3 路 monocycle 信号均承载在一个波长上, 避免正、负脉冲由不同波长组成, 在光纤传输受到色散影响导致正、负脉冲产生相对时延导致变形. 本文建立了这种全光 UWB 信号源的宽带理论模型, 通过数值模拟的方法研究 SFRL 中的 SOA 的注入电流、激射光波长、输入信号光功率和波长对 monocycle 信号的影响.

## 2 工作原理

图 1 为基于 SFRL 全光广播式 UWB 信号源的结构示意图. SFRL 由 SOA、两个耦合器、偏振控制器、隔离器和梳状滤波器组成. SOA 是 SFRL 的增益介质、偏振控制器对输入 SOA 的光进行偏振控制; 隔离器可以防止环中发生反向反射, 使 SFRL 工作在行波状态; 梳状滤波器具有许多间隔相同的通带和阻带, 是 SFRL 的选频元件. 基于 SFRL 全光广播式 UWB 信号源的工作原理: 当带有调制信号的信号光通过耦合器 1 输入到 SFRL, 与 SFRL 的激射光一起输入到 SOA 中, 在 SOA 中发生交叉增益调制 (cross-gain modulation, XGM), 激射光被调制成反相的高斯脉冲, 由于增益饱和效应, 反相高斯脉冲在 SOA 中传播产生一个过冲, 从而形成 monocycle 脉冲. 通过对梳状滤波器的波道数量设置, 可以实现多路 monocycle 信号产生.

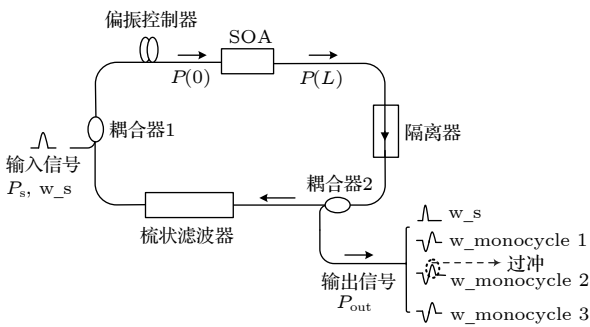


图 1 基于 SFRL 全光广播 UWB 信号源的结构示意图

Fig. 1. The structure of all-optical UWB broadcast signal source based on SFRL.

## 3 理论模型

### 3.1 增益模型

SOA 作为 SFRL 核心部件, 其材料增益系数

$g(\nu, N)$  和受激发射系数  $R_{st}(\nu, N)$  可以表示为<sup>[25–27]</sup>:

$$g(\nu, N) = \frac{e^2 |M|^2}{4\pi^2 \epsilon_0 m_0^2 c n_a \nu} \left( \frac{8\pi^2}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} (h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} \times \left\{ m_{th}^{\frac{3}{2}} [f_{ch}(\nu) + f_{vh}(\nu) - 1] + m_{tl}^{\frac{3}{2}} [f_{cl}(\nu) + f_{vl}(\nu) - 1] \right\}, \quad (1)$$

$$R_{st}(\nu, N) = \frac{e^2 |M|^2}{4\pi^2 \epsilon_0 m_0^2 c n_a \nu} \left( \frac{8\pi^2}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} (h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} \times \left[ m_{th}^{\frac{3}{2}} f_{ch}(\nu) f_{vh}(\nu) + m_{tl}^{\frac{3}{2}} f_{cl}(\nu) f_{vl}(\nu) \right], \quad (2)$$

$$m_{th} = \frac{m_c m_{hh}}{m_c + m_{hh}}, \quad (3)$$

$$m_{tl} = \frac{m_c m_{lh}}{m_c + m_{lh}}, \quad (4)$$

其中  $|M|^2$  为动量矩阵,  $e$  为电子电荷量,  $h$  为普朗克常量,  $\epsilon_0$  为真空中介电常数,  $m_0$  为自由电子质量,  $c$  为真空中的光速,  $f_{ch}(\nu)$  和  $f_{vh}(\nu)$  分别为导带和价带中重空穴的狄拉克分布,  $f_{cl}(\nu)$  和  $f_{vl}(\nu)$  分别为导带和价带中轻空穴的狄拉克分布,  $n_a$  为折射率,  $E_g$  为带隙能量,  $m_c$  为导带中电子有效质量,  $m_{hh}$  为价带中重空穴有效质量,  $m_{lh}$  为价带中轻空穴有效质量.

### 3.2 光传输方程

在 SFRL 中, SOA 作为非线性介质, 所以在数值模拟中主要研究光在 SOA 中的传输. 在建模过程中, 对 SOA 采用分段模型, 将整个 SOA 在沿着光传输方向分成  $n$  小段, 当  $n$  足够大时, 每小段的载流子浓度分布近似为均匀, 则在第  $i$  小段中, 信号光和第  $j$  束波长激射光的传输方程可以分别表示为:

$$\frac{dA_{s,i}}{dz} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\Gamma g_{s,i}}{1 + \frac{P_i}{P_{sat}}} (1 - i\alpha_{s,i}) - \alpha_{int} \right] A_{s,i} + \mu_{s,i}(z, t), \quad (5)$$

$$\frac{dA_{j,i}}{dz} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\Gamma g_{j,i}}{1 + \frac{P_i}{P_{sat}}} (1 - i\alpha_{j,i}) - \alpha_{int} \right] A_{j,i} + \mu_{j,i}(z, t), \quad (6)$$

式中  $A$  代表光场的慢幅变化, 下标  $i$  表示 SOA 的第  $i$  个子段;  $\Gamma$  为限制因子;  $\alpha_{int}$  为 SOA 的内部损耗系数;  $g_{s,i}$  和  $g_{j,i}$  ( $j = p1, p2, p3$ ) 表示第  $i$  子段中光波的材料增益系数;  $\alpha_{s,i}$  和  $\alpha_{i,j}$  是线宽增强因

子,  $P_{\text{sat}}$  为饱和功率.

放大自发辐射 (amplifier spontaneous emission, ASE) 噪声  $\mu_{s,i}(z, t)$  和  $\mu_{j,i}(z, t)$  ( $j = p1, p2, p3$ ) 表示为两个统计学上的高斯随机分布过程, 自相关函数为:

$$\begin{aligned} & \langle \mu_{s,i}(z, t) \mu_{s,i}^*(z', t') \rangle \\ &= \beta \Gamma R_{\text{sp}} \delta(t - t') \delta(z - z') (\nu_g E_s A_{\text{cross}}), \quad (7) \\ & \langle \mu_{j,i}(z, t) \mu_{j,i}^*(z', t') \rangle \\ &= \beta \Gamma R_{\text{sp}} \delta(t - t') \delta(z - z') (\nu_g E_j A_{\text{cross}}), \\ & (j = p1, p2, p3), \quad (8) \end{aligned}$$

式中  $\beta$  为自发辐射耦合因子,  $R_{\text{sp}}$  为自发辐射率,  $\nu_g$  为群速度,  $E_s$  和  $E_j$  为光子能量,  $A_{\text{cross}}$  为有源区的横截面积.

### 3.3 载流子速率方程

载流子速率方程如下:

$$\begin{aligned} \frac{dN_i}{dt} &= \frac{I}{ewdL} - (c_1 N_i + c_2 N_i^2 + c_3 N_i^3) \\ & - g_{s,i} \frac{G_{s,i} - 1}{\ln G_{s,i}} \frac{|A_{s,i}|^2 \lambda_s}{hcw} - g_{j,i} \frac{G_{j,i} - 1}{\ln G_{j,i}} \frac{|A_{j,i}|^2 \lambda_j}{hcw}, \\ & (j = p1, p2, p3), \quad (9) \end{aligned}$$

式中  $I$  为 SOA 的注入电流;  $L$ ,  $w$  和  $d$  分别为 SOA 有源区的长、宽和厚度;  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  分别为缺陷和俘获中心引起的非辐射复合系数、双分子复合系数和 Auger 复合系数;  $G_{j,i}$  为经过 SOA 第  $i$  子段获得的增益, 表示为

$$\overline{g_{j,i}} = \Gamma (g_{j,i} - \alpha_a) - (1 - \Gamma) \alpha_c - \alpha_{\text{scat}}, \quad (10)$$

$$G_{j,i} = \exp(\overline{g_{j,i}} l). \quad (11)$$

由于 SFRL 中隔离器的单向传输性, 因此边界条件为

$$A_j(0) = A_j(L) \varepsilon_1 k_1 k_2, \quad (12)$$

其中  $\varepsilon_1$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  分别为 SFRL 中不包括两个耦合器的耦合比的所有损耗, 耦合器 1 的耦合比和耦合器 2 的耦合比.

## 4 理论结果

利用前面建立的宽带理论模型对这种全光广播 UWB 信号源进行数值模拟, 计算所用参数如表 1 所示. 输入信号波特率为 10 GBd/s 无啁啾理

想归零高斯脉冲; 输入码元序列为周期性 1000000000 (即码元“1”的重复频率为 1 GHz); SOA 的注入电流为 200 mA; 通过设置梳状滤波器, 设置 3 路激光光的长分别为 1538, 1540 nm 和 1542 nm; 输入信号光波长为 1546 nm, 输入光功率为 -7 dBm.

表 1 计算采用的参数值  
Table 1. Parameters used in the mode.

参量符号	取值
有源区长度 $L/10^{-4}$ m	5.5
有源区宽度 $w/10^{-6}$ m	3.3
有源区厚度 $d/10^{-7}$ m	1.5
非辐射符合系统 $c_1/10^8$ s <sup>-1</sup>	1.5
双分子复合系数 $c_2/10^{-16}$ m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	2.5
Auger 复合系数 $c_3/10^{-40}$ m <sup>6</sup> ·s <sup>-1</sup>	1.5
光限制因子 $\Gamma$	0.3
折射率 $n_a$	3.22
饱和功率 $P_{\text{sat}}/10^{-2}$ W	1.0
有源区损耗 $\alpha_{\text{in}}/10^4$ m <sup>-1</sup>	1.4
涂覆层损耗 $\alpha_c/10^3$ m <sup>-1</sup>	2.0
散射损耗 $\alpha_s/10^3$ m <sup>-1</sup>	1.0
导带中电子有效质量 $m_c/10^{-32}$ kg	4.1
价带中电子有效质量 $m_{\text{hh}}/10^{-31}$ kg	4.19
价带中空穴有效质量 $m_{\text{lh}}/10^{-33}$ kg	5.06
不包含两个耦合器耦合比的所有损耗 $\varepsilon_1$	0.4
耦合器 1 的耦合比 $k_1$	0.5
耦合器 2 的耦合比 $k_2$	0.5
ASE 谱的起始波长 $\lambda_1/10^{-6}$ m	1.40
ASE 谱的结束波长 $\lambda_m/10^{-6}$ m	1.60
ASE 谱的分段数 $m$	10
SOA 的分段数 $n$	10
自发辐射因子 $\beta/10^{-5}$	2
群速度 $\nu_g/10^7$ m·s <sup>-1</sup>	7.5

图 2 给出了 3 路输出 monocycle 信号的时域波形和功率谱, 可以看出输出 monocycle 信号时域波形对称性良好, 如图 2(a)—(c) 所示; 3 路输出 monocycle 信号的中心频率 ( $f_c$ ) 分别为 6.5, 6.0 和 6.5 GHz, -10 dB 带宽 (band width, BW) 分别为 10, 11 和 10 GHz, 相对带宽 (-10 dB 频率带宽除以中心频率) 分别为 153.85%, 183.33% 和 153.85%, 均符合 FCC 对 UWB 信号的定义, 如图 2(d)—(f) 所示.

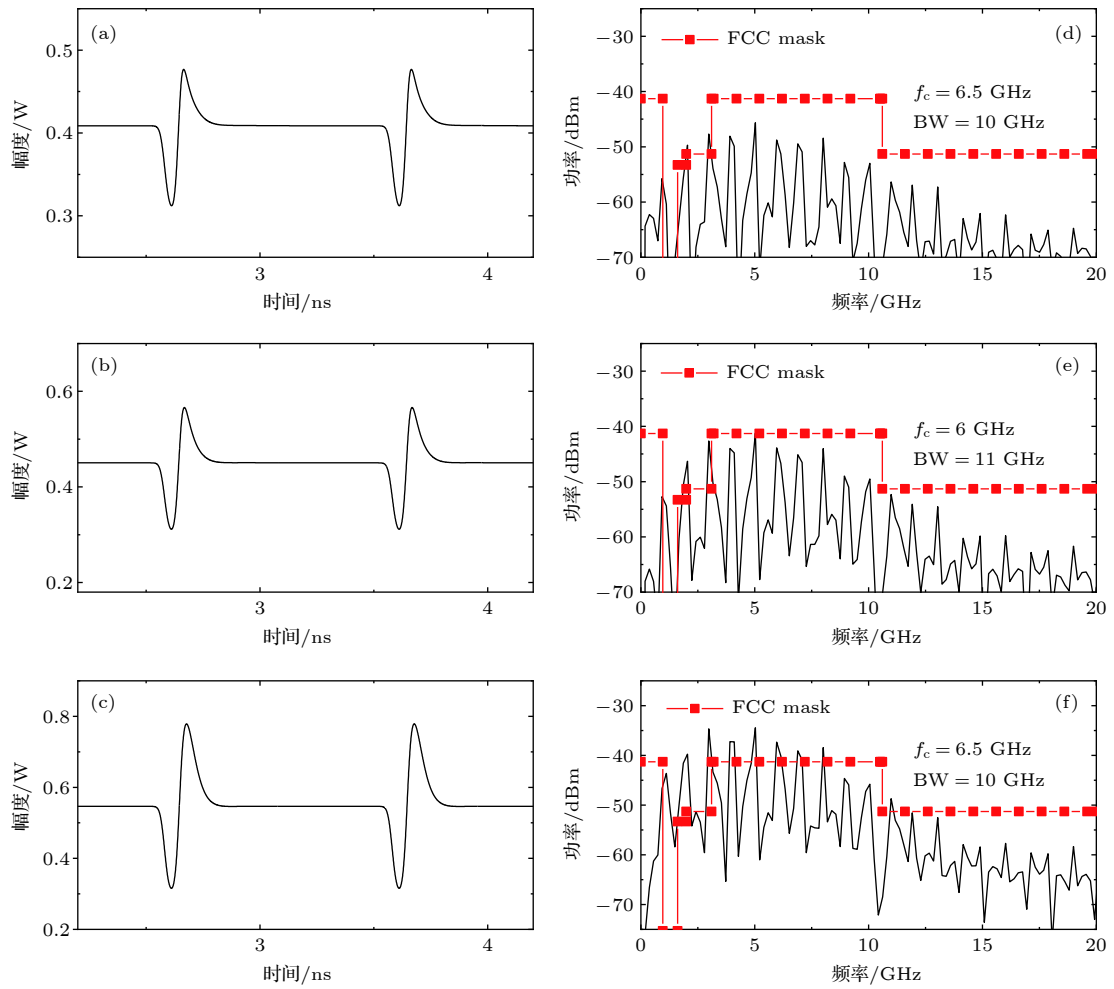


图 2 基于 SFRL 全光广播式 monocycle 信号源的输出 (a), (b), (c) 激光光波长分别为 1538, 1540, 1542 nm 对应的时域波形; (d), (e), (f) 激光光波长分别为 1538, 1540, 1542 nm 对应的功率谱

Fig. 2. The output of all-optical broadcast monocycle signal source based on SFRL: The waveform of monocycle signals when the lasing light wavelength of 1538 nm (a), 1540 nm (b), 1542 nm (c); the power spectrum of monocycle signals when the lasing light wavelength of 1538 nm (d), 1540 nm (e), 1542 nm (f).

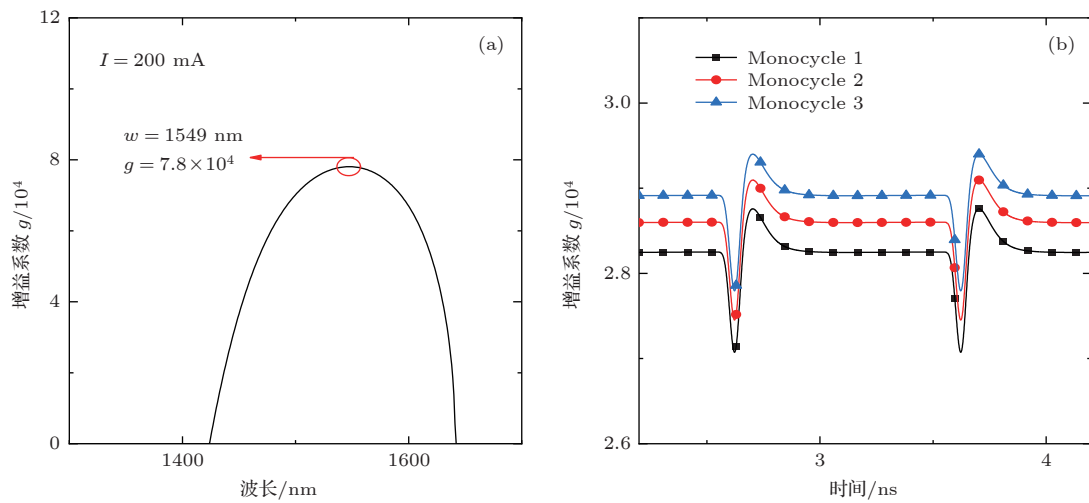


图 3 (a) 注入电流为 200 mA 时波长-增益系数曲线; (b) 在 SOA 输出端激光光 1—3 路的增益-时间曲线

Fig. 3. (a) Wavelength-gain coefficient curve with 200 mA SOA bias current; (b) the gain-time curve of monocycle 1—3 at the SOA output.

另外,从图 2(a)—(c) 还可以看出,随着激光光波长增加,输出 monocycle 信号的平均光功率和正、负脉冲幅值也逐渐增加,这是由于 SOA 对不同波长放大增益不同. 当注入电流为 200 mA 时,SOA 内部载流子形成稳态分布时,不同波长的增益系数曲线如图 3(a) 所示,此时峰值对应的波长

为 1549 nm, 由于信号光、激光光的波长均小于 1549 nm, 因此,增益系数随着波长的增大而增大;在 SOA 输出端,3 路激光光增益-时间曲线如图 3(b) 所示,此时增益系数随着激光光波长增加而增加,说明信号光、激光光在 SOA 传输过程中虽然消耗了载流子,但在 SOA 的输出端,3 路 monocycle

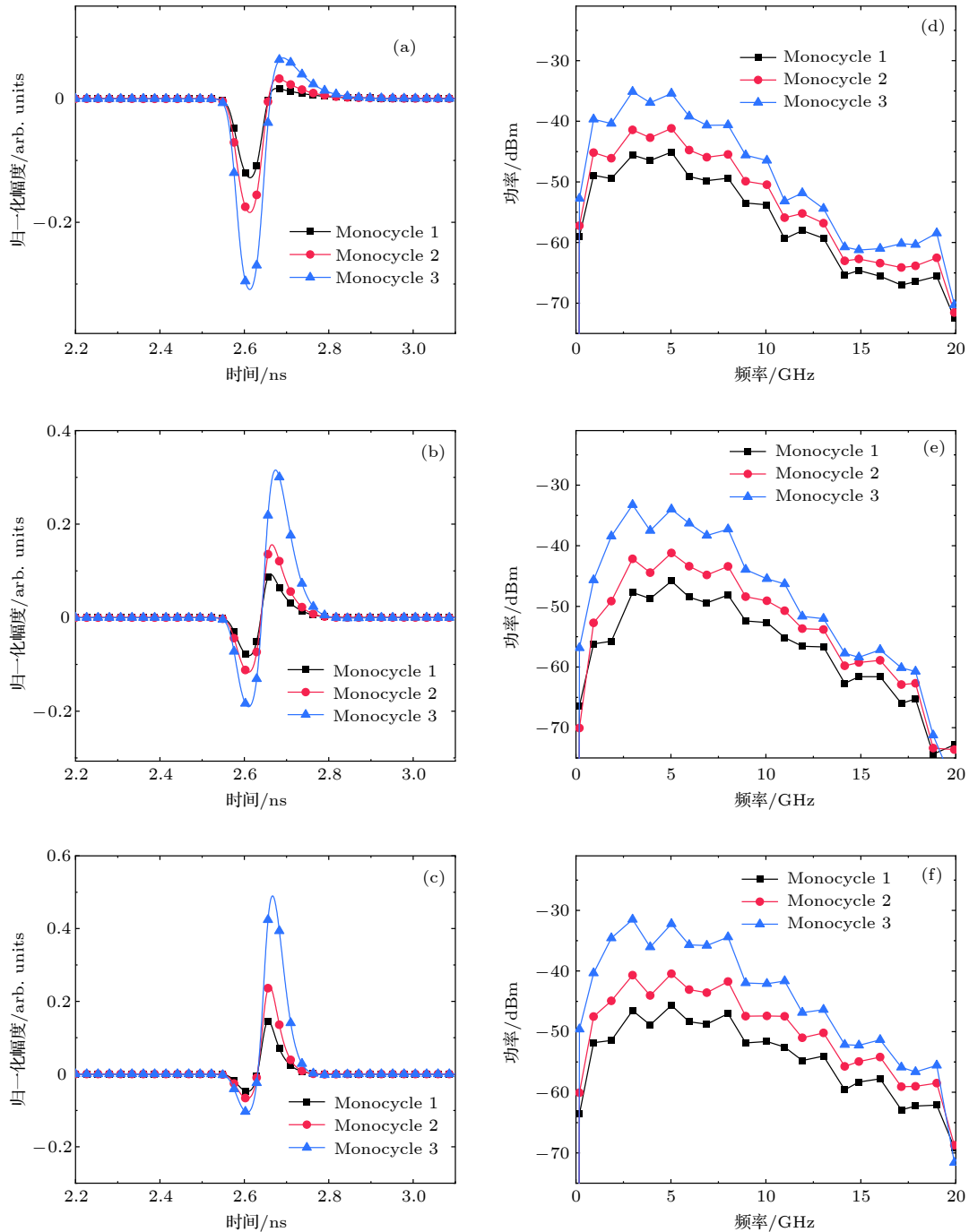


图 4 不同 SOA 注入电流输出的 monocycle 波形和功率谱 (a)  $I = 180$  mA, (b)  $I = 210$  mA, (c)  $I = 240$  mA 输出的 monocycle 波形; (d)  $I = 180$  mA, (e)  $I = 210$  mA, (f)  $I = 240$  mA 输出的 monocycle 功率谱

Fig. 4. The waveform and the power spectrum of monocycle with different SOA bias current: The waveform when  $I = 180$  mA (a),  $I = 210$  mA (b),  $I = 240$  mA (c); the power spectrum when  $I = 180$  mA (d)  $I = 210$  mA (e),  $I = 240$  mA (f).

信号光的波长都小于增益-波长曲线的峰值波长, 因此输出 monocycle 信号的正、负脉冲幅度随着 monocycle 信号光的波长增加而增加。

保持其他参数不变, 分别设置 SOA 的注入电流为 180, 210 mA 和 240 mA, 输出的 monocycle 信号时域波形和功率谱如图 4 所示。当 SOA 的注

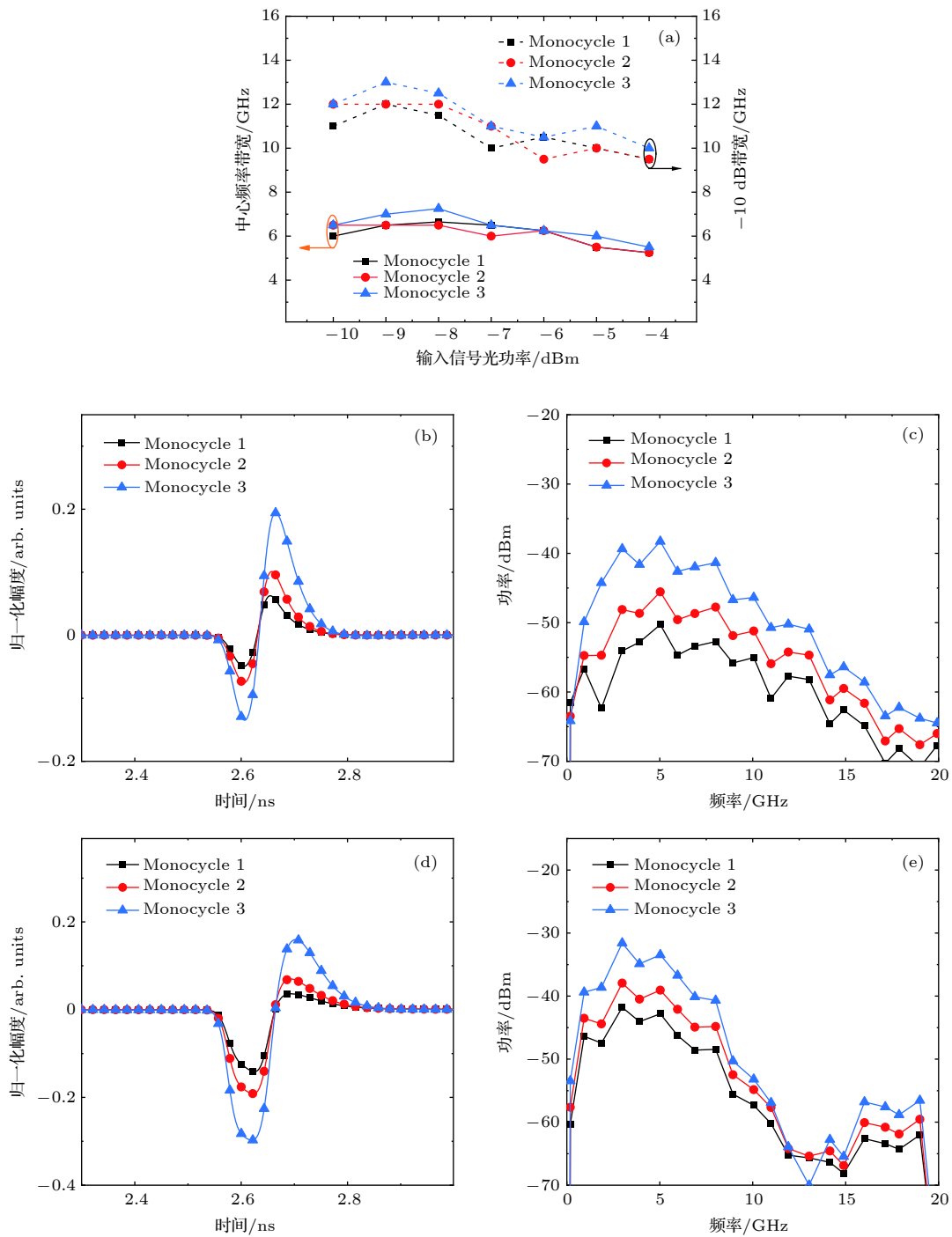


图 5 输入信号功率对输出 monocycles 信号性能的影响 (a) 不同输入信号功率情况下输出 monocycle 信号的中心频率和-10 dB 频率带宽曲线; (b) 输入功率为-10 dBm 时输出的 monocycle 信号时域波形; (c) 输入功率为-10 dBm 时输出的 monocycle 信号功率谱; (d) 输入光功率为-4 dBm 时输出的 monocycle 信号时域波形; (e) 输入光功率为-4 dBm 时输出的 monocycle 信号功率谱

Fig. 5. The effect of input signal power on the performance of the output monocycle signals: (a) The curve of center frequency and -10 dB frequency bandwidth width different input signal powers; (b) the monocycle signal waveform when input signal power is -10 dBm; (c) the power spectrum when input signal power is -10 dBm; (d) the monocycle signal waveform when input signal power is -4 dBm; (e) the power spectrum when input signal power is -4 dBm.

入电流比较小时, 由于此时注入载流子浓度低, 增益饱和和效果不明显, 产生过冲幅度很小, 如图 4(a) 所示; 随着 SOA 的注入电流增大, 过冲幅度慢慢增大, 并与负脉冲形成很好的对称性, 如图 4(b) 所示; 当注入电流继续增大, 由于载流子浓度过大, 正脉冲得到进一步放大, 导致正脉冲的幅度大于负

脉冲的幅度, 输出信号对称性变差, 如图 4(c) 所示.

从频域上看, 当注入电流过小或过大时, 即时域波形对称性较差时, 功率谱密度在 1—3 GHz 频段功率高, 更加偏离 FCC 对 UWB 功率谱的定义, 如图 4(d) 和 (f) 所示; 如当注入电流为 210 mA 时, 时域波形对称性较好, 3 路输出 monocycle 信

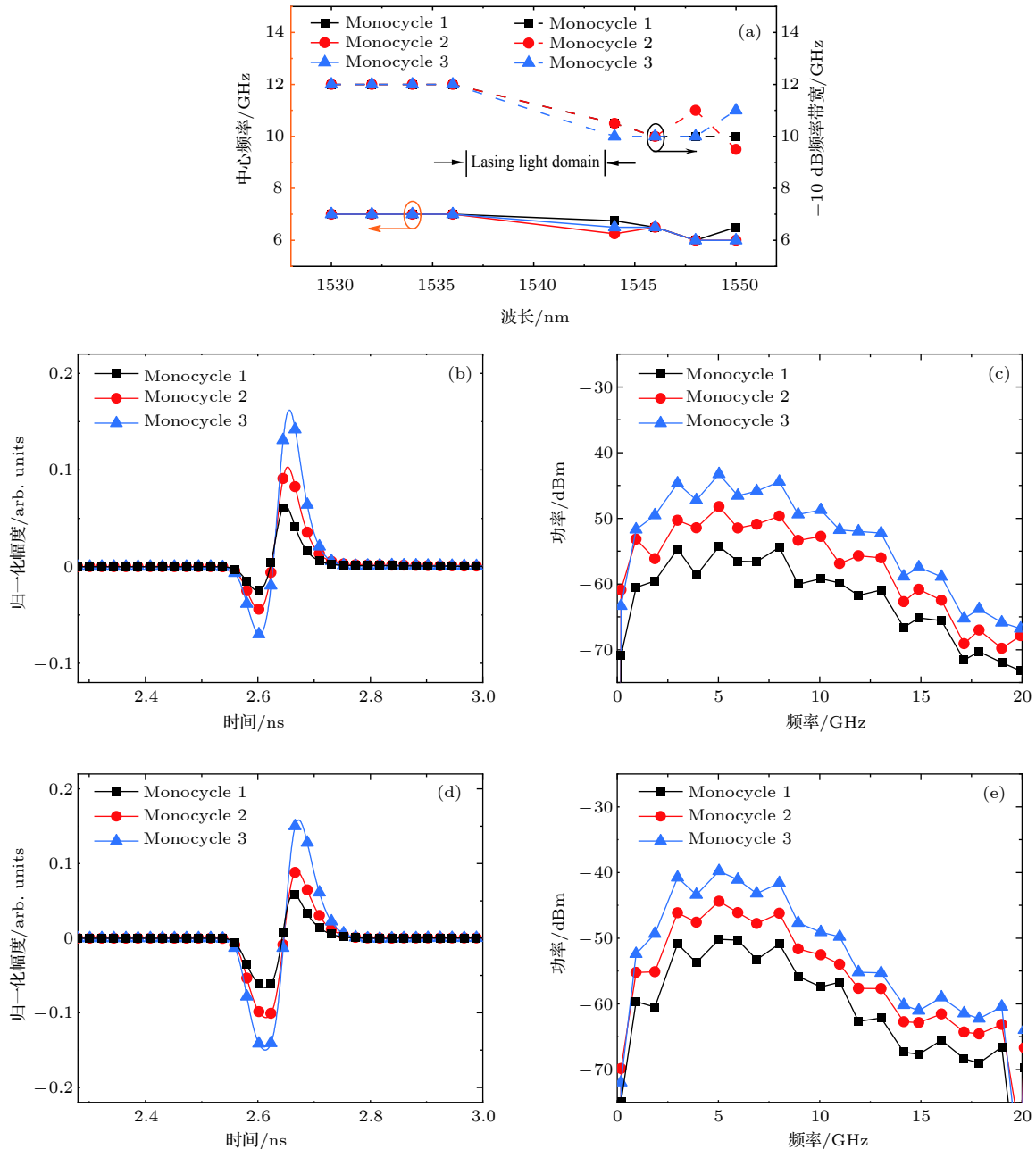


图 6 (a) 不同输入信号光波长情况下中心频率和-10 dB 频率带宽曲线; (b) 输入信号光波长 1530 nm 时输出的 monocycle 信号时域波形; (c) 输入信号光波长 1530 nm 时输出的 monocycle 信号功率谱; (d) 输入信号光波长为 1550 nm 时输出的 monocycle 信号时域波形; (e) 输入信号光波长为 1550 nm 时输出的 monocycle 信号功率谱

Fig. 6. (a) Curve of center frequency and -10 dB frequency bandwidth width different input signal wavelength; (b) monocycle signal waveform when input signal wavelength is 1530 nm; (c) power spectrum when input signal wavelength is 1530 nm; (d) monocycle signal waveform when input signal wavelength is 1550 nm; (e) power spectrum when input signal wavelength is 1550 nm.

号的-10 dB带宽和相对带宽均为6 GHz和166.67%,符合FCC对于UWB功率谱的定义.本方案SOA的注入电流为200—220 mA范围时,获得较好的monocycle信号.

保持其他参数不变,研究不同输入信号光功率情况下输出monocycle信号的特性.图5(a)给出输出3路monocycle信号的中心频率、-10 dB频率带宽随输入信号光的功率变化曲线,可以看出随着输入光功率的增加,输出的3路monocycle信号的-10 dB带宽呈现下降趋势,同时中心频率向低频移动.这是由于在输入信号光功率低的情况下,消耗的载流子较少,SOA对信号光和激射光都有着较高的增益系数,正脉冲得到足够放大,并且在高增益下,下脉冲出现压缩,可以获得对称性比较好的monocycle信号,并且由于时域脉冲压缩,对应的频谱变宽,图5(b)和(c)给出的输入信号光功率为-10 dBm(即输入信号低功率情况)输出的monocycle信号的时域波形和功率谱.随着输入信号光的光功率增加,信号光对载流子的消耗也在逐渐增加,SOA的增益系数下降,过冲得不到足够放大,而输入信号光功率较高的情况下,对激射光的反相调制强度加强,导致输出monocycle信号的正脉冲部分幅度减小而负脉冲部分幅度增加,出现严重的不对称性.图5(d)和(e)给出的输入信号光功率为-4 dBm(即输入信号高功率情况)输出的monocycle信号的时域波形和功率谱.因此本方案采用较低的输入信号光功率可以获得性能较好的monocycle信号.

保持其他参数不变,研究不同输入信号光波长情况下输出monocycle信号的特性.图6(a)给出3路输出monocycle信号的中心频率、-10 dB频率带宽随输入信号光波长变化的曲线图,输出monocycle信号的中心频率和-10 dB带宽都随着输入信号光波长的变化出现小幅度的变化.图6(b)和(c)给出输入信号光波长为1530 nm(输入信号光波长较小的情况)输出的monocycle信号的时域波形和功率谱,可以看出输出monocycle信号的时域波形对称性较差,但功率谱满足FCC对于UWB的定义.图6(d)和(e)给出输入信号光波长为1550 nm(输入信号光波长较大的情况)输出的monocycle信号的时域波形和功率谱,输出的monocycle信号时域对称性较好且功率谱同样满足FCC对于UWB的定义.因此,输入信号光波

长对输出monocycle信号的带宽都有一定的影响,当时影响比较小.

## 5 结 论

提出了一种基于SFRL的全光UWB信号源的方案.该方案可以同时产生3路monocycle信号.本文建立了这种信号源的宽带理论模型,研究了SOA注入电流、激射波长、输入信号光功率和波长对输出monocycle脉冲性能的影响.结果表明:SOA的注入电流在200—220 mA可以获得对称性较好的monocycle脉冲,电流过高或过低都会使得输出monocycle脉冲对称性变差;输出monocycle平均功率和正、负脉冲振幅随激射波长增加而增加;输入信号光功率过高将导致monocycle信号对称性变差、频谱变窄,因此本方案应采用低输入信号光功率;输入信号光波长对monocycle信号有一定的影响,但是影响很小.

## 参考文献

- [1] Aiello G R, Rogerson G D 2003 *IEEE Microw. Mag.* **4** 36
- [2] Wang Q, Zeng F, Blais S, Yao J P 2006 *Opt. Lett.* **31** 3083
- [3] Wang Q, Yao J P 2007 *Opt. Express* **15** 14667
- [4] Huang H, Xu K, Li J Q, Wu J, Hong X B, Lin J T 2008 *J. Lightwave Technol.* **26** 2635
- [5] Dridi K, Hamam H 2008 *IEEE International Conference on Signal Processing & Communications* Dubai, United Arab Emirates, November 24–27, 2008 p1167
- [6] Chen H W, Chen M H, Wang T L, Li M, Xie S Z 2008 *J. Lightwave Technol.* **26** 2492
- [7] Dong J J, Zhang X L, Zhang Y, Huang D X 2008 *Electron. Lett.* **44** 1083
- [8] Zhang W W, Sun J Q, Wang J, Cheng C, Zhang X L 2009 *IEEE Photonic Tech. L.* **21** 271
- [9] Hu Z F, Sun J Q, Shao J, Zhang X L 2010 *IEEE Photonic Tech. L.* **22** 42
- [10] Wang J, Sun Q Z, Sun J Q, Zhang W W 2009 *Opt. Express* **17** 3521
- [11] Wu T H, Wu J, Chiu Y J 2010 *Opt. Express* **18** 3379
- [12] Zhang W, Chen X Q, Chai J, Huang Y N 2016 *15<sup>th</sup> International Conference on Optical Communications and Networks* Hangzhou, China, September 24–27, 2016 p1
- [13] Mu H Q, Wang M G, Jian S S 2016 *15<sup>th</sup> International Conference on Optical Communications and Networks* Hangzhou, China, September 24–27, 2016 pp1
- [14] Dong J J, Fu S N, Shum P, Zhang X L 2007 *6<sup>th</sup> International Conference on Information, Communications & Signal Processing* Singapore, December 10–13, 2007 p1
- [15] Zeng F, Yao J 2006 *IEEE Photonic Tech. L.* **18** 823
- [16] Zeng F, Wang Q, Yao J 2007 *Electron. Lett.* **43** 119
- [17] Dong J J, Zhang X L, Xu J, Huang D X, Fu S N, Shum P 2008 *Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference* San Diego, California, United States,

- February 24–28, 2008 p1
- [18] Velanas P, Bogris A, Argyris A, Dimitris Syvridis 2008 *J. Lightwave Technol.* **26** 3269
- [19] Wang F, Dong J J, Xu E M, Zhang X L 2010 *Opt. Express* **18** 24588
- [20] Dong J J, Zhang X L, Xu J, et al. 2007 *Opt. Express* **32** 2158
- [21] TorresCompany, Víctor, Prince K, Monroy I T 2008 *IEEE Photonic. Tech. L.* **20** 1299
- [22] Zhao Z S, Li P L, Zheng J J, et al. 2012 *Optoelectr. Lett.* **8** 89
- [23] Zhang Y, Zhao M, Ma X L, et al. 2015 *Optik* **126** 340
- [24] Zhang F Z, Wu J, Fu S N, et al. 2010 *Opt. Express* **18** 15870
- [25] Sujit B, Hong Y H, Paul S, et al. 2004 *J. Opt. Soc. Am. B* **21** 1023
- [26] Hong Y H, Spencer P S, Shore K A 2004 *IEEE J. Quantum Electronics* **40** 152
- [27] Chow K K, Shu C, Mak M W K, et al. 2004 *IEEE J. Sel. Top. Quant.* **10** 1197

## All-optical broadcast ultra-wideband signal source based on semiconductor fiber ring laser

Zhao Zan-Shan <sup>1)†</sup> Li Pei-Li <sup>2)</sup>

1) (Nanhai Research Station, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Haikou 570100, China)

2) (College of Electronic and Optical Engineering and College of Microelectronics, Nanjing University of

Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China)

( Received 29 December 2018; revised manuscript received 8 April 2019 )

### Abstract

A novel scheme for all-optical ultra-wideband signal source based on semiconductor fiber ring laser (SFRL) is proposed, in which three monocycle signals can be generated simultaneously. The effect of the bias current of the semiconductor optical amplifier (SOA) in the SFRL, the wavelength of the lasing light, the power and the wavelength of input signal light on the performance of the monocycle signals are analyzed through numerical simulation. The results show that the output monocycle pulses with better symmetry can be obtained when the bias current of SOA is in a range of 200–220 mA. The average power, the amplitude of the positive and negative pulses of the output monocycle pulses increase as the wavelength of the lasing light increases. A better performance of the monocycle pulses can be obtained under lower input signal optical power. The wavelength of the input signal light has a little effect on the output monocycle pulses.

**Keywords:** ultra-wideband, monocycle, semiconductor fiber ring laser, cross-gain modulation

**PACS:** 04.30.Db, 88.80.ht, 42.70.Nq, 42.55.Wd

**DOI:** 10.7498/aps.68.20182301

† Corresponding author. E-mail: zhaozanshan@163.com