

结构参数对串联微环谐振腔编解码器性能的影响

吉喆 贾大功 张红霞 张德龙 刘铁根 张以谟

Study of structure parameters effect on performance of optical en/decoder based on parallel-cascaded microring resonators

Ji Zhe Jia Da-Gong Zhang Hong-Xia Zhang De-Long Liu Tie-Gen Zhang Yi-Mo

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 034218 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.034218

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.034218>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I3>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于注入锁定法布里珀罗激光器的光学双稳态及光存储研究

Optical bistability and optical storage based on injection locked Fabry-Perot semiconductor laser

物理学报.2015, 64(4): 044204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.044204>

基于谐波拟合产生周期性三角形光脉冲串的实验研究

Experimental demonstration on triangular-shaped pulse train generation based on harmonic fitting

物理学报.2014, 63(15): 154210 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.154210>

基于半导体光放大器中非线性偏振旋转效应单一光缓存环全光时隙交换处理能力研究

Capability of single optical buffer loop implementing all-optical time slot interchange based on nonlinear polarization rotation in semiconductor optical amplifier

物理学报.2014, 63(8): 084205 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.084205>

基于双平行马赫曾德调制器的动态可调光载波边带比光单边带调制: 理论分析与实验研究

Optical single sideband modulation with continuously tunable optical carrier-to-sideband ratio by employing a dual-parallel Mach-Zehnder modulator

物理学报.2013, 62(22): 224210 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.224210>

基于少模光纤的模分复用系统多输入多输出均衡与解调

Demodulation and multi-input multi-output equalization for mode division multiplexing system using a novel few-mode fiber

物理学报.2013, 62(14): 144215 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.144215>

结构参数对串联微环谐振腔编解码器性能的影响*

吉喆 贾大功† 张红霞 张德龙 刘铁根 张以谟

(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 光电信息科学与技术教育部重点实验室, 天津 300072)

(2014年7月7日收到; 2014年8月4日收到修改稿)

光码分多址系统中, 光编解码器是影响系统性能的关键因素之一. 自相关峰值旁瓣比(P/W)、自互相关峰值比(P/C)是衡量编解码器性能的两个重要指标. 以硅基SOI微环谐振腔为载体, 提出了一种串联三环阵列的二维相干OCDMA编解码器模型. 详细研究了耦合系数、损耗系数、阵列间距以及通道间隔对微环谐振腔编解码器性能的影响. 结果表明, 半径为50 μm 的微环, 环与直波导间耦合系数在0.6—0.7之间, 环与环间耦合系数在0.1—0.2之间, 损耗系数 $< 2 \text{ dB/cm}$, 阵列间距大于3 mm, 通道间隔在25—36 GHz间时, 编解码器能够获得良好的性能.

关键词: 光码分多址编解码器, 自相关峰值旁瓣比, 互相关峰值比, 微环谐振腔

PACS: 42.79.Sz, 42.82.-m, 42.60.Da

DOI: 10.7498/aps.64.034218

1 引言

光码分多址(OCDMA)系统结合码分多址接入技术与光纤通信的优点, 以光编/解码器为高速光信号处理器, 具有用户接入方便、地址分配灵活、信息安全性高、抗干扰性强等优点, 成为未来高速光纤局域网和用户接入网的最佳方案之一^[1-3]. 光编/解码器作为OCDMA系统的关键技术与核心部件, 其性能直接决定OCDMA系统的成本、用户容量、系统误码率及系统灵活性、工作稳定性等特性. 在众多光编/解码器方案中, 基于微环谐振腔的OCDMA编/解码器作为一种新型的方案, 凭借其模式体积小, 选频特性优越, 支持多调谐方式, 结构可拓展性强以及兼容微电子批量加工等优点^[4-6], 得到研究者的广泛关注和研究^[7-12]. 目前, 国际上Agarwal、Wang等小组围绕该类型编解码器先后提出了基于四环串联阵列一维编解码方案和基于双环阵列的二维编解码方案, 从理论和结构方面论证了该类编解码器的可行性^[7-10]. 然而微环谐振腔的结构参数对编解码特性影响的研究并不十分完

善, 尤其是微环谐振腔整体结构参数, 包括耦合系数、损耗系数、阵列间距以及通道间隔对编解码性能的影响尚未见到系统报道.

一般来说, 常采用自相关峰旁瓣比(P/W)、自互相关峰值比(P/C)两个参量作为衡量编解码器性能的主要指标^[7]. 通常, 影响这两个指标的参数主要是编解码器结构参数. 本文构造了一种基于硅基SOI材料的串联三微环阵列的二维相干OCDMA编解码器模型. 详细研究了编解码器结构参数, 即耦合系数、损耗系数、阵列间距以及通道间隔对编解码器性能的影响. 和现有的基于微环谐振腔的编解码器相比, 深入讨论了结构参数, 对后续进一步优化编解码器性能以及编解码器实用化、器件加工制备具有很好地指导意义.

2 串联三环阵列编/解码模型

2.1 串联三环结构

串联三环结构如图1(a)所示. E_{in} , E_{through} , E_{add} 和 E_{out} 分别代表输入端, 传输端和上/下载端的光场复振幅. 为了减少额外的损耗, 假设环与

* 国家重点基础研究发展计划(973计划)(批准号: 2014CB340103)和国家自然科学基金(批准号: 61377077, 61404119)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: dagongjia@tju.edu.cn

上/下波导耦合区域的传输系数相等, 均为 t_{rb} , 对应的耦合系数均为 k_{rb} ; 类似的, 将环与环耦合区域的传输系数均相等, 均为 t_{rr} , 对应的耦合系数均为 k_{rr} , 并且满足 $k_{rb}^2 + t_{rb}^2 = 1$, $k_{rr}^2 + t_{rr}^2 = 1$. $[T_N]$ 表示串联三环结构 E_{in} , E_{out} 两端口间的传输矩阵^[13], 如图 1 (b) 所示, 其中 N 代表串联三环级联阵列的列数. 假设无上载信号 ($E_{add} = 0$), 以第一列串联三环为例对 $[T_N]$ 进行讨论, 此时 $N = 1$. 设微环和直波导间的传输矩阵为 Q_i , 根据耦合模

理论, 可以得到 $Q_i = \frac{1}{-ik_i} \begin{bmatrix} -t_i & 1 \\ -1 & t_i \end{bmatrix}$ ($i = rb, rr$).

同理, 令环与环间的传输矩阵为 P_m , 那么 $P_m = \begin{bmatrix} 0 & \exp(-i\varphi_m) \\ \exp(i\varphi_m) & 0 \end{bmatrix}$ ($m = 1, 2, 3$, 分别代表自上而下的三个微环). 这里, $\varphi_m = \pi R_m(\beta - i\alpha)_m$, 表示光绕微环传输半周产生的光程差; R 为微环的

半径, β 为微环传输常数. 根据传输矩阵 Q_i , P_m 可以得到 E_{add} , E_{out} 与 E_{in} , $E_{through}$ 间的传输方程

$$\begin{pmatrix} E_{add} \\ E_{out} \end{pmatrix} = Q_{rb}P_1Q_{rr}P_2Q_{rr}P_3Q_{rb} \begin{pmatrix} E_{in} \\ E_{through} \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} E_{in} \\ E_{through} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

对方程 (1) 进行矩阵变换, 即可得到 E_{in} , E_{out} 与 E_{add} , $E_{through}$ 的传输矩阵方程

$$\begin{pmatrix} E_{in} \\ E_{out} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{A_{12}}{A_{11}} & \frac{1}{A_{11}} \\ A_{22} - \frac{A_{12}A_{21}}{A_{11}} & \frac{A_{21}}{A_{11}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_{through} \\ E_{add} \end{pmatrix} = [T_1] \begin{pmatrix} E_{through} \\ E_{add} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

其中 $[T_1]$ 即为图 1 (b) 中第一列串联三环结构上/下两端口的传输矩阵.

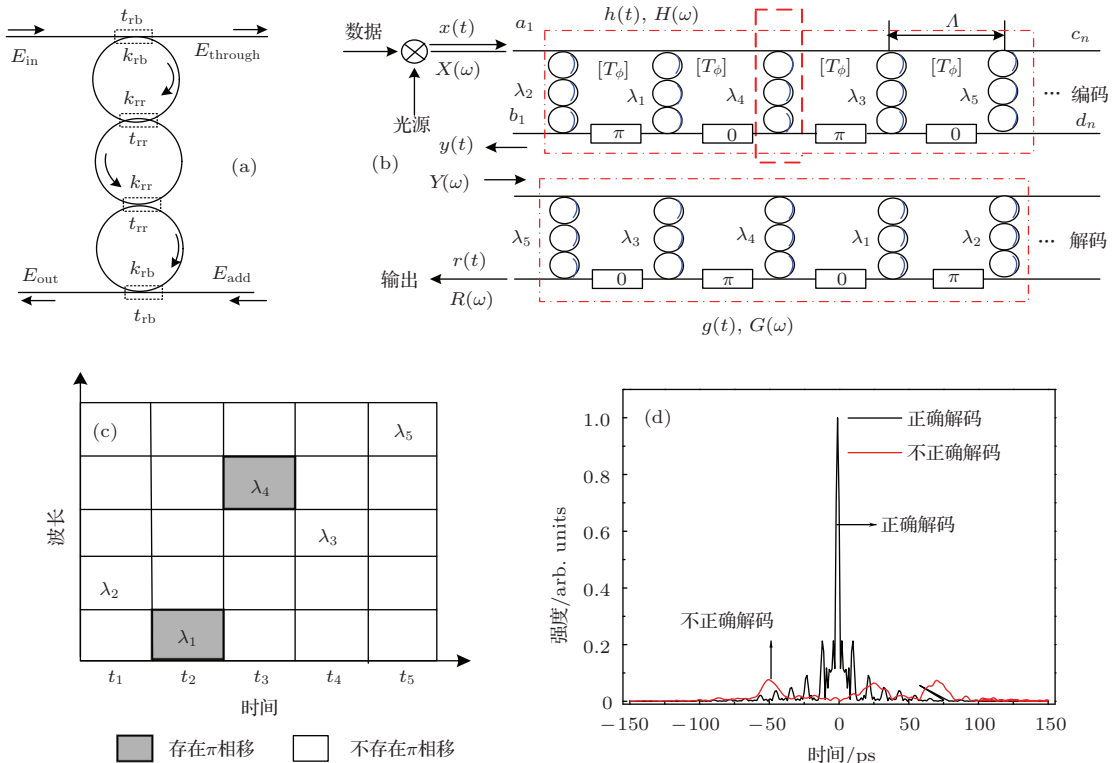


图 1 (网刊彩色) 串联三环阵列编/解器 (a) 串联三环结构示意图; (b) 串联三环级联阵列编解码原理示意图; (c) 二维地址码示意图; (d) 匹配与非匹配的光解码器波形图

2.2 编/解码模型

本文中的编/解器是基于串联三环级联阵列实现的, 如图 1 (b) 所示. 利用串联三环级联阵列进

行二维相干编/解码, 实际上是利用串联三环下载端反射波长的跳频以及集成于总线的相移器的相位变化实现. 结合图 1 (b) 说明具体编解码过程. 假设编码器由五组串联三环结构组成. 按照时间顺序,

跳频码为 {2, 1, 4, 3, 5}, 对应波长分别为 $\{\lambda_2, \lambda_1, \lambda_4, \lambda_3, \lambda_5\}$; 双极性为 {1, -1, -1, 1, 1}, 其中 π 相位用“-1”表示, 0 相位用“1”表示. 对应相位分别为 $\{0, \pi, \pi, 0, 0\}$. 当光脉冲耦合进入直波导后, t_1 时刻, 根据地址码, 波长为 λ_2 , 相位为 0, 利用热光效应, 调节热阻器件和热电冷却器^[14], 图 1(b) 中环上的蓝色标志, 使得第一组三环阵列只能反射波长 λ_2 , 无相位改变, 如图 1(c) 所示. 与此同时, 剩余的光信号继续传输. t_2 时刻, 第二组三环阵列只能反射波长 λ_1 , 并且经过相移器后相位改变 π . 以此类推, $\lambda_4, \lambda_3, \lambda_5$ 以相同的方式反射, 相位分别改变 $\pi, 0$ 和 0 , 如图 1(c) 所示. 在接收端, 将发射端用户的串联三环阵列的位置反向排布, 相移器改变相反的相位 ($0 \rightarrow \pi, \pi \rightarrow 0$), 其他参数不变, 便可构成匹配的解码器. 当解码阵列与编码阵列匹配时, 输出尖

锐的自相关峰; 当二者不匹配时, 输出类似于白噪声的互相关, 如图 1(d) 所示.

对于串联三环级联阵列, 根据图 1(b) 可知, n 组串联三环阵列编解码器的传输矩阵由矩阵 $[T_N] (N = 1, 2, 3, \dots, n)$ 与 $[T_\Phi]$ 组成, 这里 $[T_\Phi]$ 表示微环阵列间的传输矩阵^[15]. 假设阵列间的直波导传输常数为 β_b , 当阵列间距为 Λ 时, 相应直波导的传输方程 T_Φ 为 $T_\Phi = \begin{pmatrix} e^{-jP_s(C)} e^{j\beta_b\Lambda} & 0 \\ 0 & e^{jP_s(C)} e^{-j\beta_b\Lambda} \end{pmatrix}$, C 为所采用的地址码, $P_s(C)$ 为与地址码相关的函数, 取值为 $0, \pi$, 它决定了相邻微环阵列间的相移. 结合 (2) 式以及 $[T_\Phi]$ 的表达式, 即可得到 n 列串联三环级联阵列的输入端 (a_1), 下载端 (b_1), 传输端 (c_n) 与上载端 (d_n) 的传输方程^[16]

$$\begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \end{pmatrix} = T_1 \cdot T_\Phi \cdot T_2 \cdot T_\Phi \cdots T_n \begin{pmatrix} c_n \\ d_n \end{pmatrix} = \prod_{i=1}^n \left[\begin{pmatrix} -\frac{A_{12}}{A_{11}} & \frac{1}{A_{11}} \\ A_{22} - \frac{A_{12}A_{21}}{A_{11}} & \frac{A_{21}}{A_{11}} \end{pmatrix}_i \begin{pmatrix} e^{-jP_s(C)} e^{j\beta_b\Lambda} & 0 \\ 0 & e^{jP_s(C)} e^{-j\beta_b\Lambda} \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} c_n \\ d_n \end{pmatrix} = G(\omega) \begin{pmatrix} c_n \\ d_n \end{pmatrix}, \quad (3)$$

式中 $G(\omega)$ 为串联三环级联阵列的频域响应函数.

当光脉冲 $x(t)$ 耦合进入串联三环阵列编码器, 经过编码器反射后的信号可以表示为 $y(t) = x(t) * h(t)$, “*” 表示卷积, 其频域表示为 $Y(\omega) = X(\omega)H(\omega)$, 这里 $X(\omega)$ 为输入信号 $x(t)$ 的傅里叶变换, $H(\omega)$ 为串联三环阵列的频率响应. 当编码信号经过解码器进行解码时, 让具有频率响应为 $G(\omega)$ 的解码器对编码波形进行反射, 如图 1(b) 所示, 则

解码器的输出频响 $R(\omega)$ 为 $R(\omega) = Y(\omega)G(\omega)$. 当解码器的频率响应 $G(\omega) = H^+(\omega)$ 时, 此时解码器就是对应编码器的一个匹配滤波器, 此时则可得自相关峰输出. 当 $G(\omega) = H_c^+(\omega) \neq H^+(\omega)$, 则解码不成功, 输出互相关信号, 这里 $H_c^+(\omega)$ 代表与编码器不匹配的滤波器的频率响应. 那么相应的, 编码后的自相关峰值旁瓣比 P/W 与自互相关峰值比即为

$$P/W = \frac{\max(|F^{-1}(X(\omega)) * F^{-1}(G(\omega)) * F^{-1}(H^+(\omega))|^2)}{\max_{\text{sec}}(|F^{-1}(X(\omega)) * F^{-1}(G(\omega)) * F^{-1}(H^+(\omega))|^2)}, \quad (4)$$

$$P/C = \frac{\max(|F^{-1}(X(\omega)) * F^{-1}(G(\omega)) * F^{-1}(H_c^+(\omega))|^2)}{\max(F^{-1}(X(\omega)) * F^{-1}(G(\omega)) * F^{-1}(H_c^+(\omega))^2)}, \quad (5)$$

其中, \max_{sec} 表示自相关输出的最大旁瓣值.

3 编解码器性能影响参数

编解码器性能的优劣可通过自相关峰值旁瓣

比 P/W 和自互相关峰值比 P/C 进行评价. P/W 越大, 则光码字越容易识别. P/C 越大, 表明抗干扰能力越强. 影响微环谐振腔编解码器性能的主要参数有耦合系数, 损耗系数, 阵列间距和通道间隔. 根据 (3)—(5) 式详细讨论这四种参数对于 P/W 和

P/C 的影响.

3.1 耦合系数对编解码器性能的影响

耦合系数对编解码器性能的影响主要是通过反射谱的 3 dB 带宽的影响来体现的. 利用串联三环阵列的反射峰进行波长跳频编码, 首先需要满足反射峰不发生分裂, 并且具有箱状的滤波特性. 根据方程 (1) 可得到满足单一反射峰时的 k_{rb} 与 k_{rr} 的关系曲线, 如图 2 所示. 阴影部分表示 k_{rb} 与 k_{rr} 的关系可以满足单一反射峰; 相应的, 当 k_{rb} 与 k_{rr} 的取值在空白部分的区间时, 反射峰将发生分裂.

根据图 2 曲线, 当 k_{rb} 分别为 0.65, 0.675, 0.7 时, k_{rr} 在区间 0.1—0.2 均能满足单一反射峰的前提, 此时考虑编解码器 P/W, P/C 的性能变化, 如图 3(a) 所示. 当 k_{rb} 一定时, 随着 k_{rr} 的增大, P/W 呈现先迅速增加, 其值从 2 迅速增加到 5.5 附近, 随后缓慢增加趋于平缓的趋势, 其值此时变化范围约为 0.2. 这种变化趋势主要是由于对于固定的 k_{rb} , 当 k_{rr} 增加时, 反射峰 3 dB 带宽随之呈近线性增加, 从 0.05 nm 增加到 0.25 nm, 如图 3(b) 所示. 3 dB

带宽的增加使得反射峰越接近箱状的滤波特性, 如图 3(c) 所示, 从而得到较高的自相关峰值. 此外, 耦合系数的变化对于 P/C 值影响不大, 其值主要在 8.1—9 之间上下浮动, 这主要是由于互相关峰值由各个用户传输特性的相对值决定的. 综上, 对比不同 k_{rb} 与 k_{rr} 值的变化, 发现在满足单一反射峰传输前提下, 当 k_{rb} 变化范围在 0.65—0.7 之间, k_{rr} 在 0.15—0.2 之间时, 能同时获得较高的 P/W 值与 P/C 值.

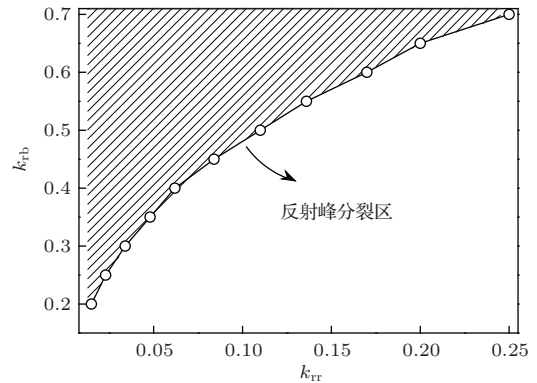


图 2 满足单一反射峰时 k_{rb} 和 k_{rr} 的关系

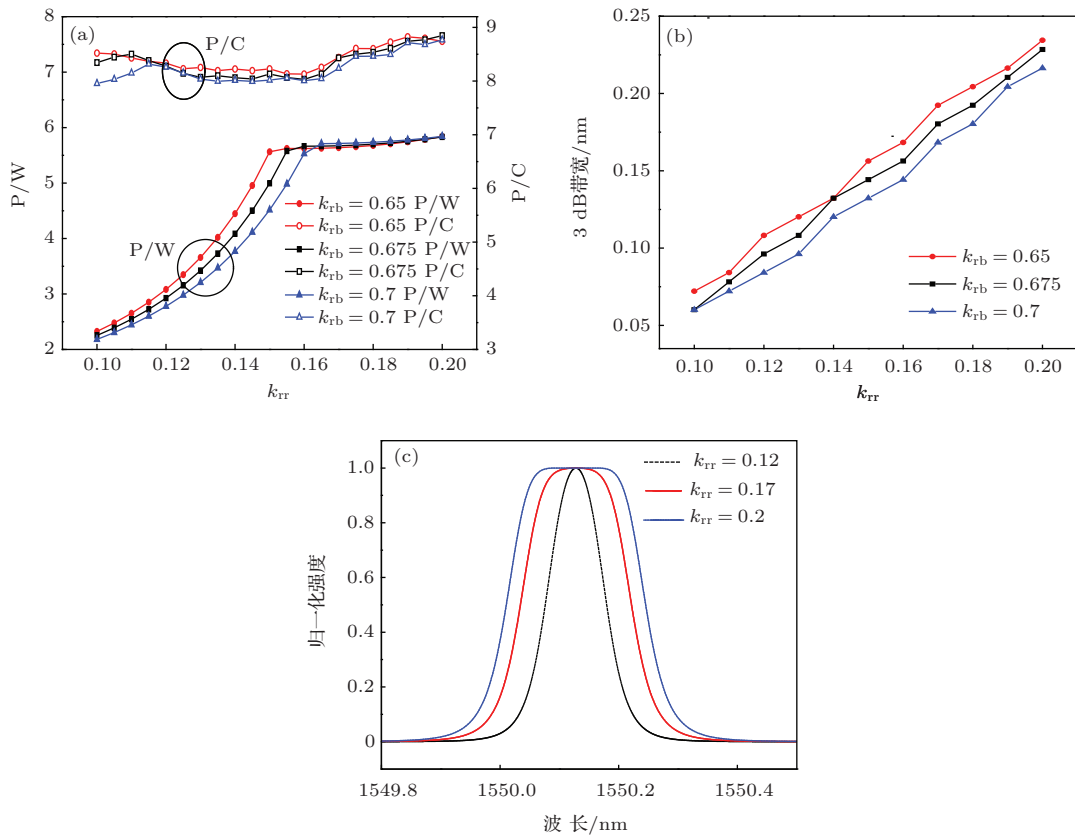


图 3 (网刊彩色) 耦合系数对编解码器性能的影响 (a) P/W, P/C 与 k_{rr} , k_{rb} 的关系; (b) 反射峰 3 dB 带宽与 k_{rr} , k_{rb} 的关系; (c) $k_{rb} = 0.65$ 时, 不同 k_{rr} 对应的反射谱

3.2 损耗系数对编解码器性能的影响

除了耦合系数, 微环损耗在实际的加工和制备中不可避免, 它是通过影响反射峰值从而影响编解码器性能. 根据(1)式可以得到在满足单一反射峰的前提下, 损耗系数与反射峰值的关系. 从图4(a)可以看出, 随着损耗系数 α 的增加, 峰值反射率逐渐下降. 当 $\alpha = 2$ dB/cm时, 反射率已经下降为无损耗时的40%. 由于反射率的下降, 使得P/W逐渐下降, 如图4(b)P/W曲线所示. 与此同时, 对比图4(b)中(i)与(ii)可以发现, 损耗系数的增加, 使得互相关信号的峰值增加. 与无损耗解码曲线输出相比, $\alpha = 2$ dB/cm不正确解码出现更多旁瓣, 因此相应的P/C值也逐渐下降. 当损耗系数 $\alpha > 2$ dB/cm, 反射峰值反射率将迅速下降, 小于无损耗

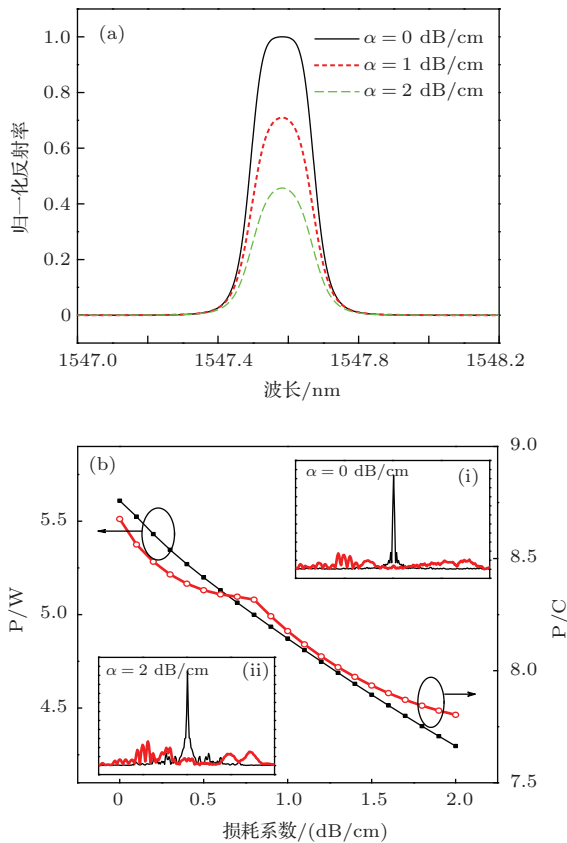


图4 (网刊彩色) 损耗系数对编解码器性能的影响 (a) 不同损耗系数时的反射峰反射率; (b) P/W, P/C与损耗系数的关系; (i), (ii) 不同损耗系数下的解码输出波形

时的15%, 由于峰值过小, 将无法继续解码, P/W与P/C值相应的也趋近0. 因此, 为了保证较好的编解码性能, 应尽量减小微环和直波导的损耗, 使得损耗系数 $\alpha < 2$ dB/cm.

3.3 阵列间距对编解码器性能的影响

阵列间距对编解码器性能的影响是通过串联微环阵列间的直波导长度体现的. 当直波导长度即阵列间距为 Λ 时, 码片周期约为 $T = n_{\text{eff}}\Lambda/c$, 那么相应的码片速率即为 $f = 1/T = c/n_{\text{eff}}\Lambda$, 这里 c 为光速, n_{eff} 为三环阵列的有效折射率. 根据上述关系可以得到阵列间距对应的码片速率, 如表1所示. 阵列间距距离用mm表示, 相应的码片速率为Gchip/s.

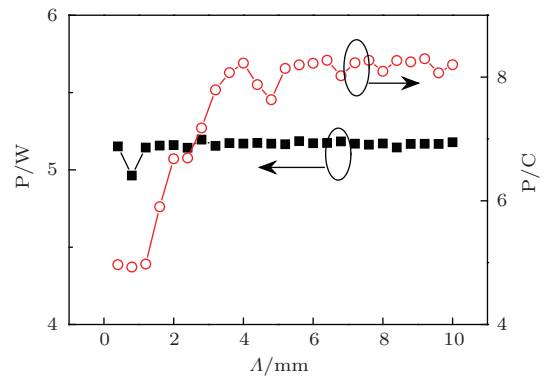


图5 (网刊彩色) P/W, P/C与阵列间距的关系

图5描述了不同的阵列间距对编解码器P/W, P/C值的影响. 从图中可以看出, P/W的值基本不受阵列间距的影响, 这主要是由于自相关峰主要是由于自身信号的干涉形成的, 更取决于结构本身的参数, 如耦合系数、损耗系数等, 因而基本不受阵列间距的影响. 而P/C的值则随着阵列间距长度的先增加后趋于稳定, 这是因为当阵列间距值在较小的情况下(< 2 mm), 对应较高的码片速率(> 50 Gchip/s), 使得码片间的干扰和叠加相应增加, 造成了P/C处于较低的值. 当伴随阵列间距增加(> 3 mm), 码片速率相应下降(< 33 Gchip/s), 此时码片间的串扰明显降低, 使得P/C值增高. 但

表1 阵列间距对应的码片速率值

Λ/mm	0.6	0.8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
码片速率/Gchip·s ⁻¹	166.7	125	100	50	33.3	25	20	16.7	14.3	12.5	11.1	10

是P/C 的值不会随着直波导长度的增加而无限限制增高. 这主要是因为, 当码片间的距离达到不能发生重叠的长度时, 即使继续减小码片速率, 码片间的信号也不会再发生串扰, 此时P/C值只是进行上下小规模浮动, 基本保持不变. 通过曲线可以发现, 当P/C值开始趋于稳定时, 阵列间距约为3—4 mm, 此时对应的码片速率约为25—33.3 Gchip/s. 因此, 在设计中阵列间距至少要大于3 mm.

3.4 通道间隔对编解码器性能的影响

在编解码过程中, 通道间隔由串联三环相邻列间的反射波长差决定. 根据跳频的原理, 调谐波长的变化与温度变化之间的关系为 $\Delta\lambda/\Delta T = \lambda_0/n_{\text{eff}}(\Delta n_{\text{eff}}/\Delta T)^{[17]}$, λ_0 为微环的谐振波长, $\Delta n_{\text{eff}}/\Delta T$ 在这里表示微环材料的热光系数, 本文中微环材料为Si, 其热光系数约为 $1.86 \times 10^{-4} \text{ C}^{-1}$ ^[18,19]. 根据该式可得到谐振波长随温度改变的变化关系. 如图6(a)所示, 当温度变化为1 °C时, 对应信道间隔约为12 GHz, 波长变化约为0.09 nm. 由于波长变化对应温度变化为线性的, 因此信道间隔对应温度变化也为线性的, 即当温度变化分别为2 °C, 3 °C, 4 °C时, 信道宽度对应为24 GHz, 36 GHz, 48 GHz, 依次类推.

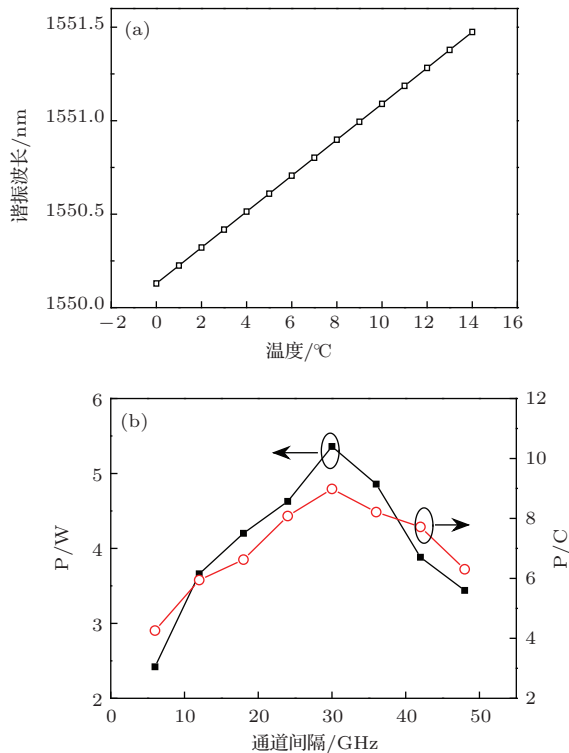


图6 (网刊彩色) 通道间隔对编解码器性能的影响 (a) 谐振波长变化与温度变化对应关系; (b)P/W, P/C与通道间隔的关系

图6(b)仿真了不同通道间隔与编解码性能的关系曲线. 图中可以发现较小的通道间隔和过大的通道间隔都会造成P/W与P/C下降. 较小的通道间隔下, 不同通道间的串扰严重, 有效地址码长度相对缩短, 因而会造成较高的旁瓣; 过大的通道间隔下, 波长也不能被有效利用, 导致了P/W和P/C的下降. 而对于OCDMA系统而言, 在选择通道间隔时候要与反射谱带宽相匹配, 根据3.1节耦合系数的区间, 当反射谱3 dB带宽在0.12—0.25 nm (对应15—32.5 GHz) 之间时, 通道间隔确定在25—36 GHz间, 可以保证编解码的性能.

结合上述对各个结构参数的分析, 仿真中, 采用五组半径均为50 μm的串联三环进行编解码, 地址码选用跳频码{2, 1, 4, 3, 5}/双极性码{1, -1, -1, 1, 1}, $k_{\text{rr}} = 0.15$, $k_{\text{rb}} = 0.65$, $L = 4 \text{ mm}$, 相应码片周期约为0.04 ns, 码片速率约为25 Gchip/s, 通道间隔约为25 GHz. 该参数下可以获得的P/W约为5.1, P/C约为8.6, 可容纳用户数为960.

4 结 论

在光码分多址系统中, 选择一个好的编解码方案至关重要, 在编解方案相对固定时, 编解码器本身的结构参数将对编解码性能产生至关重要的影响. 本文在串联三环阵列的二维相干编解码模型的基础上, 详细阐述分析了影响该编解码性能的主要结构参数: 耦合系数, 损耗系数, 阵列间距和通道间隔. 仿真结果表明, 半径为50 μm的微环阵列, 环-直波导耦合系数在0.65—0.7之间, 环-环耦合系数在0.15—0.2之间, 损耗系数 < 2 dB/cm, 阵列间距至少要大于3 mm, 同时通道间隔在25—36 GHz时, 可以保证编解码性能拥有好的性能, 此时P/W介于4.5—6之间, P/C介于8—9之间, 满足OCDMA系统对编解码性能的要求. 本文的数值分析与结论为后续进一步优化编解码器性能奠定理论基础和数据支持, 对于编解码器的实用化有较为重要的实践指导意义.

参考文献

- [1] Heritage J P, Weiner A M 2007 *IEEE J. Quantum Electron* **13** 1351
- [2] Zhang Y, Dai Y T, Sun J 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 7034 (in Chinese) [张邺, 戴一堂, 孙杰 2007 物理学报 **56** 7034]

- [3] Zheng J L, Wang R, Pu T 2011 *Chinese Journal of Lasers* **38** s105007 (in Chinese) [郑吉林, 王荣, 蒲涛 2011 中国激光 **38** s105007]
- [4] Dong X W, Lu S H, Feng SC 2008 *Chinese Phys. B* **17** 1029
- [5] Huang Q Z, Yu J Z, Chen S W 2008 *Chinese Phys. B* **17** 2562
- [6] Cao T T, Zhang L B, Fei Y H 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 194210 (in Chinese) [曹彤彤, 张利斌, 费永浩 2013 物理学报 **62** 194210]
- [7] Agarwal A, Toliver P, Menendez R 2006 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **18** 1952
- [8] Agarwal A, Toliver P, Menendez R 2006 *J. Lightw. Technol.* **24** 77
- [9] Wang X, Gao Z S 2011 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **23** 591
- [10] Wang X, Gao Z S 2011 *Proceedings of Photonics and Optoelectronics Meetings Wuhan, China, November 02 2011* 833302
- [11] Akhavan H 2013 *Optics & Laser Technology* **45** 717
- [12] Ji Z, Jia D G, Zhang H W 2014 *Acta Optica Sinica* **34** 0506002 (in Chinese) [吉喆, 贾大功, 张海伟 2014 光学学报 **34** 0506002]
- [13] Zhang X B, Huang D X, Hong W 2007 *Acta Optica Sinica* **27** 1939 (in Chinese) [张小贝, 黄德修, 洪伟 2007 光学学报 **27** 1939]
- [14] Nawrocka M S, Liu T, Wang X 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 071110
- [15] Tian H, Zhang Y D, Wang H 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 6400 (in Chinese) [田赫, 掌蕴东, 王号 2008 物理学报 **57** 6400]
- [16] Grover R, Van V, Ibrahim T A 2002 *J. Lightw. Technol.* **20** 900
- [17] Han-Yong Ng, Michael Wang R, Daqun Li 2008 *Opt. Eng.* **47** 044601
- [18] Guha B, Kyotoku B B C, Lipson M 2010 *Optics Express* **18** 3487
- [19] Ren G H, Chen S W, Cao T T 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 034215 (in Chinese) [任光辉, 陈少武, 曹彤彤 2012 物理学报 **61** 034215]

Study of structure parameters effect on performance of optical en/decoder based on parallel-cascaded microring resonators*

Ji Zhe Jia Da-Gong[†] Zhang Hong-Xia Zhang De-Long Liu Tie-Gen Zhang Yi-Mo

(Key Laboratory of Opto-electronics Information Technology, Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

(Received 7 July 2014; revised manuscript received 4 August 2014)

Abstract

Optical en/decoder is one of the most crucial factors affecting the performance of the optical code division multiple access (OCDMA). The autocorrelation peak to maximum wing ratio (P/W) and cross-correlation ratio (P/C) are two important parameters to quantitatively evaluate the performance of the en/decoder. Based on the SOI parallel-cascaded coupled micro-ring reflector, a mathematical model of two-dimensional coherent optical en/decoder is established. Influences of the structure parameters including the coupling coefficient, the loss factor, the array distance, and the channel spacing on P/W and P/C ratios are discussed in detail. Results show that for the micro-ring with a radius of 50 μm , when the ring-bus and ring-ring coupling coefficients are 0.6—0.7 and 0.1—0.2, respectively, the propagation loss is lower than 2 dB/cm, the array distance is greater than 3 mm, and when the channel spacing is given between 25—36 GHz, the proposed structure can have an optimal performance of en/decoding.

Keywords: optical en/decoder of OCDMA, auto-correlation peak level over the maximum wing level (P/W), auto-correlation peak level over the maximum cross-correlation level (P/C), micro-ring resonator

PACS: 42.79.Sz, 42.82.-m, 42.60.Da

DOI: 10.7498/aps.64.034218

* Project supported by the National Basic Research Program of China (Grant No. 2014CB340103), and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61377077, 61404119).

[†] Corresponding author. E-mail: dagongjia@tju.edu.cn