

引用格式: YIN Xiaojie, ZHENG Zhiyuan, ZI Xingzhuang, et al. Integrated Optical Chip Based on Y-branch and Bragg Grating Structure[J]. Acta Photonica Sinica, 2021, 50(5):0513002

尹小杰, 郑之远, 訾幸壮, 等. 基于 Y 型分支与布拉格光栅结构的集成光芯片研究[J]. 光子学报, 2021, 50(5):0513002

基于 Y 型分支与布拉格光栅结构的集成光芯片研究

尹小杰^{1,2}, 郑之远³, 訾幸壮³, 晁明举¹

(1 郑州大学 物理学院, 郑州 450001)

(2 中国科学院半导体研究所 集成光电子国家重点实验室, 北京 100083)

(3 河南仕佳光子科技股份有限公司 河南省光电芯片与集成重点实验室, 河南 鹤壁 458030)

摘要:采用 Y 型分支与深刻蚀布拉格波导光栅相集成的方案, 制备了带有通道监控功能的 1×8 光分路器集成芯片。耦合封装后的集成光芯片同时实现了稳定的通道光信号传输与监控功能。集成光芯片 8 通道反射谱中心波长范围为 $1\ 597\ \text{nm} \sim 1\ 639\ \text{nm}$, 间隔为 $6\ \text{nm}$, $3\ \text{dB}$ 带宽最大为 $0.67\ \text{nm}$, 通道反射率最低为 88.24% 。 $1\ 550\ \text{nm}$ 波长下测试 8 通道的平均插损为 $11.92\ \text{dB}$, 输出均匀性为 $0.19\ \text{dB}$ 。本文设计并制备的集成光芯片结构简单、集成化高, 可以应用于光纤到户建设及其他光网络传输中, 实现网络链路状态的实时监控。

关键词:集成光芯片; Y 型分支波导; 布拉格波导光栅; 光分路器; 光纤到户

中图分类号: TN2

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20215005.0513002

Integrated Optical Chip Based on Y-branch and Bragg Grating Structure

YIN Xiaojie^{1,2}, ZHENG Zhiyuan³, ZI Xingzhuang³, CHAO Mingju¹

(1 School of Physics and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

(2 State Key Laboratory of Integrated Optoelectronics, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

(3 Henan Key Laboratory of Optoelectronic Circuit and Integration, Henan Shi Jia Photons Technology Co., Ltd, Hebi, Henan 458030, China)

Abstract: A 1×8 optical splitter integrated chip with channel monitoring function was fabricated by integrating Y-branch with deep etched Bragg grating structure. The integrated optical chip after coupling and packaging realizes stable optical signal transmission and monitoring function at the same time in the channel. The central wavelength range of 8-channel reflectance spectrum of the integrated optical chip is $1\ 597\ \text{nm} \sim 1\ 639\ \text{nm}$, with an interval of $6\ \text{nm}$. The maximum of $3\ \text{dB}$ bandwidth is $0.67\ \text{nm}$, and the minimum of channel reflectance is 88.24% . The average insertion loss of 8 channels is $11.92\ \text{dB}$ and the output uniformity is $0.19\ \text{dB}$ in the wavelength of $1\ 550\ \text{nm}$. The integrated optical chip designed and fabricated in this study has simple structure and high integration, which can be widely used in the construction of fiber to home and other optical network transmission, and realize the function of real-time

基金项目: 国家重点研发计划(No.2019YFB2203004), 河南省中国科学院科技成果转化项目(No.2019203)

第一作者: 尹小杰(1982—), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为平面光波导芯片技术。Email: yinxiaojie@semi.ac.cn

通讯作者: 晁明举(1964—), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为光电材料、负热膨胀材料等。Email: chaomingju@zzu.edu.cn.

收稿日期: 2021-01-14; 录用日期: 2021-02-22

<http://www.photon.ac.cn>

monitoring of network link status.

Key words: Integrated optical chip; Y-branch waveguide; Bragg waveguide grating; Optical splitter; Fiber to the home

OCIS Codes: 130.1750; 230.7380; 230.1360; 050.2770

0 引言

在当前三网大融合的背景下,提速、降费已经成为宽带网络建设的重要战略工程。光纤到户技术凭借其超高带宽、灵活组网等优势得到了迅速发展,也因此成为了当前宽带网络建设的主流技术方案^[1],为了实现超高带宽与多通道的网络信息传输,无源光分路器得到了广泛的应用与发展。光分路器作为连接光网络终端和光网络单元的核心器件,是实现光信号分路、光信号功率分配和耦合控制的主要光学器件之一。Y型分支波导结构是集成光学中重要且最为常用的光分路波导结构之一^[2],由于其结构简单、分光均匀、额外损耗对器件本身影响较小等优点,被广泛用于光调制器^[3]、光开关^[4]、马赫-曾德尔干涉仪^[5]等集成光学器件中。研究者们对基于Y分支波导器件的无源光分路器的研究也越来越多。涂兴化等^[6]利用Y型分支波导结构制作了一种新型 1×8 平面波导光分路器,研究了平面波导折射率、弧形波导长度、分支角度及输入波长对该平面波导光分路器输出特性影响,并对优化后的结构进行仿真模拟,得出分路器的插入损耗、输出均匀性的最佳值分别为9.96 dB、0.41 dB。徐子杰等^[7]利用Y分支制备 1×8 平面波导光芯片,从偏振相关损耗、回波损耗等方面研究光分路器良好的传输性能,并在1 310 nm、1 550 nm处对8个输出口的传输特性进行了表征,偏振损耗都小于0.05 dB,回波损耗大于50 dB,表明了光分路器具有良好的传输性能。研究大多都是提高光分路器的分路性能,增加传输信息容量以及对接更多的网络终端,没有考虑到更多的网络通道所带来复杂的网络监控机制。

近年来,针对网络监控机制的研究也得到了迅速发展,在无源光纤网络中常用的网络链路监控手段大多都是利用软件手段去读取链路中某个点的信息进行监控,监控手段较为单一,研究者们研究方向也主要是在软件编码上进行研究发展。范沥丹等^[8]阐述了基于广电网络的监控系统建设,利用特殊编码技术、云计算技术、存储技术实现网络监控功能。王志东等^[9]编写了一套以ASP(Active Server Pages)服务器端脚本环境为依托,Dreamweaver网页代码编辑器为框架的网络监控程序,通过运用ping网络命令查找主机或者网络交换机的地址达到监控目的,虽然能够在软件层面实现光链路监控目的,但无法精确定位光链路的故障位置,且会使整个光链路复杂化。随着光分路器的成熟发展与应用,无源光纤网络的光链路会更加复杂,会导致软件代码的复杂程度越来越高,监控稳定性难以得到保障。通过利用无源光纤网络中硬件本身特性进行网络信号的监控不仅能够降低软件代码的复杂程度,还可以利用硬件本身所处的位置快速定位故障所在。目前利用光网络中硬件本身进行网络通道的监控研究应用较少。

本文针对现有的无源光网络监控机制存在的不足,优化设计光分路器硬件部分,将平面波导光分路器与深刻蚀布拉格波导光栅集成设计在同一个光芯片上,同时实现多通道网络信息传输与网络通道状态监控功能,大幅降低了整个光网络结构传输与监控并行的实现难度。本文设计并制作的集成光芯片集成度高、传输性能优良、结构简单,能对光网络链路状态监控实现快速响应,在光纤到户及其他光传输领域具有应用价值。

1 集成光芯片的设计原理与仿真

1.1 集成光芯片设计原理

基于Y型分支波导与布拉格波导光栅集成的光芯片不仅能够实现 1×8 的光分路功能,还可以利用在输出波导端口所设计的深刻蚀布拉格波导光栅所具备的波分复用功能(Wavelength Division Multiplexing WDM)进行通道反射信号的监控,芯片结构示意图如图1所示。

集成光芯片的光分路功能以Y分支结构为基础,将其逐级扩展至 1×8 光分路器,8路输出波导位置等间距 $250\ \mu\text{m}$ 排列。输出端的布拉格波导光栅主要实现每个通道的WDM,进行特定波长的滤波反射功能,通过对光芯片每一路反射的光信号进行监控达到对通道网络状态监控的功能。

常见的Y分支结构中,在分支波导结处,由于突变会引起很大的辐射损耗,导致Y型分支辐射损耗增

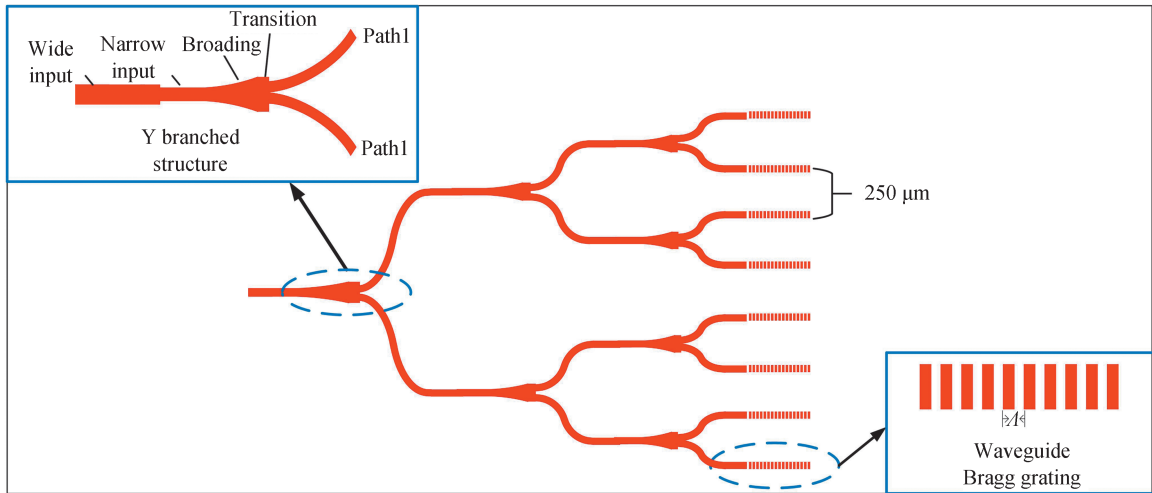


图1 集成光芯片结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of integrated optical chip structure

大,为了降低损耗,在分支结构前进行了预分支,降低了器件本身带来的损耗,Y型分支波导结构示意图如图1所示。Y型分支波导结构输入直波导由宽波导和窄波导两部分组成,窄波导可以有效滤除上一级Y型分支结构的输出宽波导中产生的高阶模,改善器件输出的均匀性;同时,在Y型分支波导结构中也引入了展宽波导结构,可以减少倾斜效应对光场模式末端的影响,经过展宽波导的光束展宽会发生缓慢变化,过渡直波导使变化后的展宽光束趋于稳定。

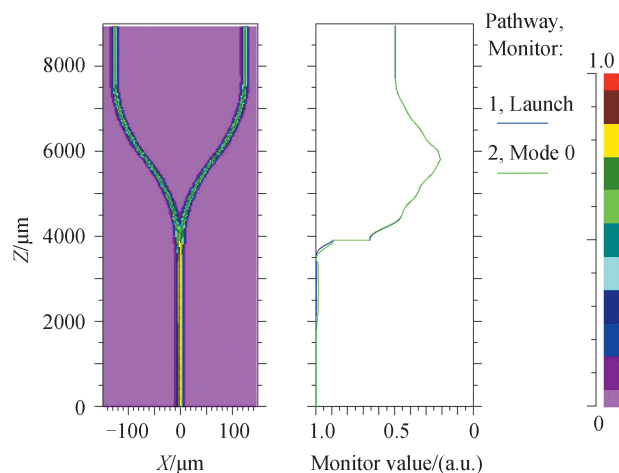
布拉格波导光栅原理与布拉格光纤光栅原理一致,在芯片输出端的波导区域采用相位掩膜法实现布拉格光栅在波导区域固定周期的写入,结构示意图如图1所示。布拉格光栅,也称反射光栅,根据设计参数不同,将入射光中的某一特定波长的光进行反射,且具有反射谱线宽窄,反射率高等特点。其中反射方程为

$$m\lambda_B = 2\Lambda n_{\text{eff}} \quad (1)$$

式中, m 为反射光栅的阶数, Λ 为光栅的周期, n_{eff} 为波导芯区的有效折射率, λ_B 为反射波长。

1.2 集成光芯片设计仿真

为了保证设计的集成光芯片能够满足使用需求,采用光束传播方法(Beam Propagation Method, BPM)对Y型分支波导与布拉格波导光栅进行仿真验证。为了更好的匹配现有成熟的生产工艺,将Y分支波导结构与布拉格波导光栅的参数设置为:波导包层折射率1.444 7,芯层折射率1.455 6,波导的横截面为 $6 \mu\text{m} \times 6 \mu\text{m}$,输入直波导、展宽波导、过渡直波导的长度分别为 $3\ 300 \mu\text{m}$ 、 $500 \mu\text{m}$ 、 $90 \mu\text{m}$,光栅占空比50%,光栅长度为 $8\ 000 \mu\text{m}$,固定波导布拉格光栅的反射阶数为9阶,定义8个通道的反射波长范围为 $1\ 600 \text{ nm} \sim 1\ 642 \text{ nm}$,中心波长间隔为 6 nm ,利用反射方程式(1)计算光栅周期。仿真结果分别如图2、表1所示。



(a) Simulation results of Y-branch spectral ratio

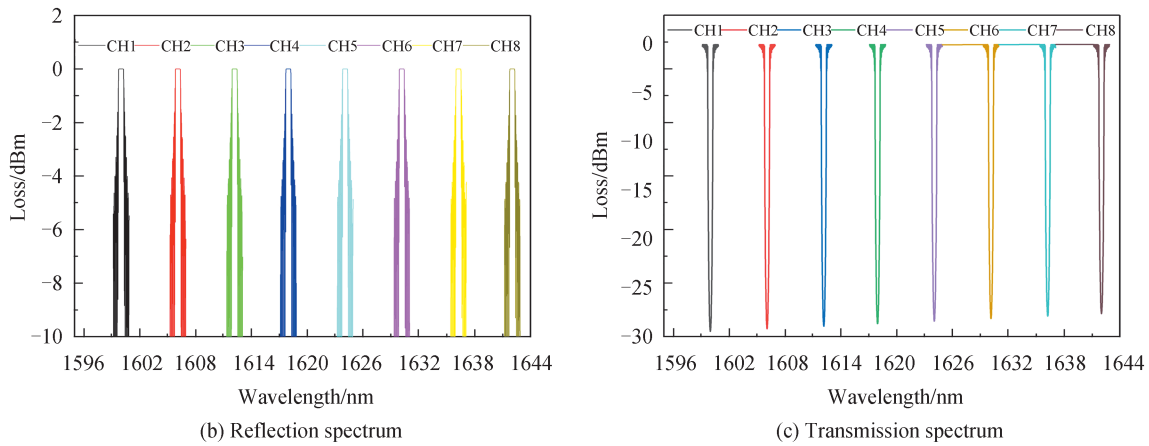


图2 仿真结果

Fig. 2 Results of simulation

表1 布拉格波导光栅仿真数据

Table 1 The simulation data of Bragg waveguide grating

| Channel | Peak wavelength/nm | Period/ μm | FWHM/nm | Channel reflectance |
|---------|--------------------|-----------------------|---------|---------------------|
| CH1 | 1 600 | 4.974 | 0.56 | 99.89% |
| CH2 | 1 606 | 4.993 | 0.56 | 99.88% |
| CH3 | 1 612 | 5.012 | 0.56 | 99.87% |
| CH4 | 1 618 | 5.03 | 0.56 | 99.87% |
| CH5 | 1 624 | 5.049 | 0.56 | 99.86% |
| CH6 | 1 630 | 5.068 | 0.56 | 99.86% |
| CH7 | 1 636 | 5.087 | 0.56 | 99.84% |
| CH8 | 1 642 | 5.105 | 0.56 | 99.83% |

从图2(a)中发现,输入光经过设计的Y型分支结构,两路光的分光比为50:50,通道光功率输出的均匀性为0 dB,设计的Y分支型结构具有良好的光分路性能。从图2(b)、表1中发现,8通道的布拉格波导光栅的反射波长均在设计波长1 600~1 642 nm的范围内,相邻通道的中心波长间隔为6 nm,3 dB带宽均为0.56 nm,通道反射率最低为99.83%。从图2(c),表1发现,8通道的布拉格波导光栅在保证特定波长能够具有较高反射率的情况下,其他波段的信号光可以进行高透射率的传输。

2 集成光芯片制备与性能研究

2.1 集成光芯片制备

集成光芯片的制备采用成熟的硅基平面光波导(Planar Lightwave Circuit, PLC)工艺,主要包括 SiO_2 的薄膜生长、光刻技术和刻蚀技术,对制作完成的芯片进行耦合封装之后的得到相应的器件,如图3所示。

2.2 测试结果与分析

利用宽带光源、环形器、光谱分析仪、集成光芯片器件、与若干单模光纤跳线搭建实验平台,进行集成光芯片器件的性能测试,测试结果分别如图4、表2所示。

从图4、表2发现,制作的集成光芯片的反射波长范围1 597~1 639 nm,相邻通道的中心波长间隔为6 nm,与设计仿真的中心波长存在3 nm的偏差,在工艺误差允许的范围内,其中3 dB带宽最大为0.67 nm,通道反射率最低为88.24%,符合使用需求。

为了验证所设计制备的集成光芯片的数据通信功能,对常用的1 550 nm通信波长进行通道插损测试,测试结果如表3所示。

设计的每级 1×2 Y型分支结构插损为3 dB, 1×8 光分路为三级直连,理论插损为9 dB。对表3中的数据进行平均值计算为11.92 dB,与设计理论值相差2.92 dB,考虑到光纤耦合损耗及输出端刻蚀光栅工艺带来的通道损耗,损耗差值在误差之内,8通道插损均匀性为0.19 dB,光分路器的分光比均匀,符合使用需求,

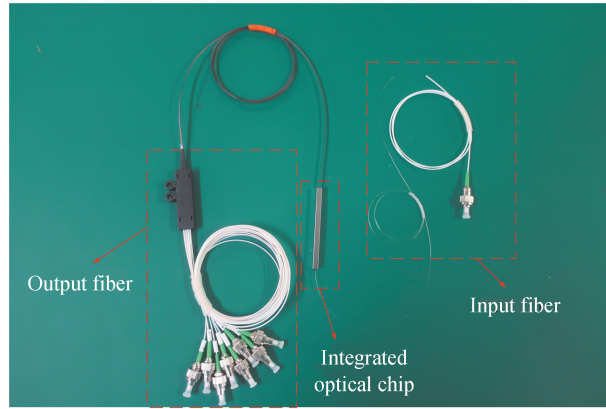


图3 耦合封装后器件照片

Fig. 3 Photography of coupled and packaged device

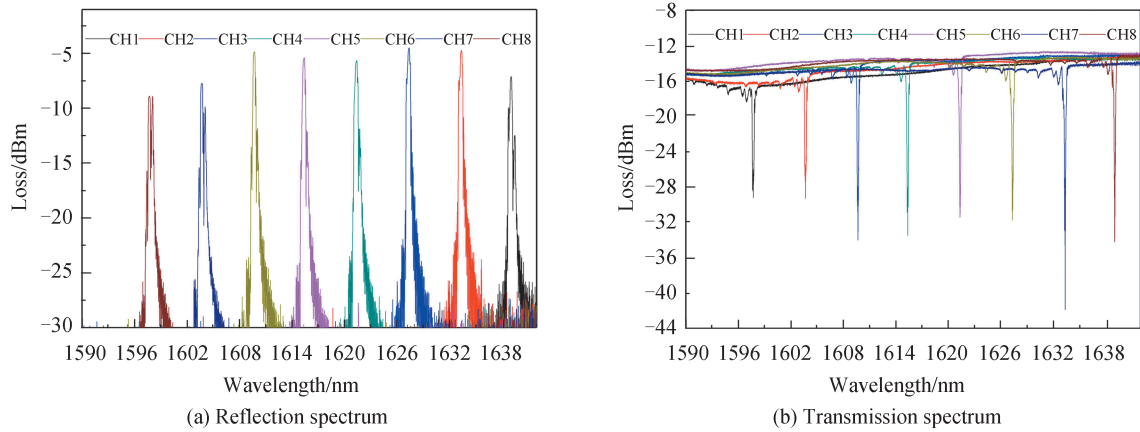


图4 实验结果

Fig. 4 The results of the experiment

表2 实验数据

Table 2 The data of the experiment

| Channel | Peak wavelength/nm | FWHM/nm | Channel reflectance |
|---------|--------------------|---------|---------------------|
| CH1 | 1 597 | 0.67 | 88.24% |
| CH2 | 1 603 | 0.67 | 91.70% |
| CH3 | 1 609 | 0.33 | 96.92% |
| CH4 | 1 615 | 0.36 | 93.68% |
| CH5 | 1 621 | 0.39 | 95.25% |
| CH6 | 1 627 | 0.49 | 97.26% |
| CH7 | 1 633 | 0.46 | 98.00% |
| CH8 | 1 639 | 0.46 | 97.58% |

表3 1 550 nm 通道插损数据

Table 3 The channel insertion loss data of 1 550 nm

| Channel | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 | CH8 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Loss/dB | 11.83 | 11.85 | 11.84 | 12.02 | 11.97 | 11.90 | 11.92 | 11.90 |

下一步将继续优化,降低插损。

3 结论

设计并制作了基于Y型分支波导与布拉格波导光栅集成的光芯片。集成光芯片同时实现了通道信息

传输与通道状态实时监控功能。制备的集成光芯片器件反射波长与理论设计仿真的波长存在 3 nm 的偏差, 反射波长范围为 1 597 nm~1 639 nm, 在工艺误差允许的范围内, 相邻通道的中心波长间隔为 6 nm, 3 dB 带宽最大为 0.67 nm, 通道反射率最低为 88.24%。8 通道的平均插损为 11.92 dB, 输出均匀性为 0.19 dB。设计并制作的带有通道监控功能的 1×8 集成光分路器芯片结构简单、具有良好的性能参数, 而且可拓展更多通道数, 实现更多网络终端连接与链路状态监控, 在光网络传输与监控领域具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] MORANT M, LIORENTE R, HERRERA J, et al. Integrated FTTH and in-building fiber-coax OFDM field trial[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2014, 26(8): 809-812.
- [2] TU Xinghua, NI Bin, YANG Shuo, et al. Optimization design of 1×4 planar lightwave circuit splitter[J]. Journal of Computer Applications, 2015, (s2): 24-26.
涂兴华;倪彬;杨烁,等. 平面波导型 1×4 光分路器的优化设计[J]. 计算机应用, 2015, (s2): 24-26.
- [3] WEI Hongzhen, YU Jingzhong, XIA Jingsong, et al. Fast response SOI Mach Zehnder thermo-optic modulator[J]. Acta Semiconductor Sinica, 2002, 23(5): 509-512.
魏红振,余金中,夏金松,等. 快速响应 SOI 马赫曾德热光调制器[J]. 半导体学报, 2002, 23(5): 509-512.
- [4] GEORGIOS I P, CHRISOULA P, ANDREAS S P. Optical switching: switch fabrics, techniques, and architectures[J]. Journal of Lightwave Technology, 2003, 21(2): 384-405.
- [5] WEI Hongzhen, SHI Wei. Multimode interference Mach Zehnder optical switch model[J]. Acta Optica Sinica, 2001, 21(3): 367-370.
魏红振,史伟. 多模干涉马赫—曾德尔光开关模型[J]. 光学学报, 2001, 21(3): 367-370.
- [6] TU Xinghua, GENG Shengge. Design of a novel 1×8 planar waveguide optical splitter [J]. Acta Quantum Electronics Sinica, 2018, 35(1): 102-107.
涂兴华,耿胜各. 一种新型 1×8 平面波导光分路器的设计[J]. 量子电子学报, 2018, 35(1): 102-107
- [7] XU Zijie, ZHANG Rongjun, ZHANG Fan, et al. Development of Y-branch planar waveguide optical splitter [J]. Laboratory Research and Exploration, 2013, 32(7): 5-7+27.
徐子杰,张荣君,张帆,等. Y 分支平面波导型光分路器的研制[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(7): 5-7+27.
- [8] FAN Lidan. Construction of video monitoring system based on radio and television network[J]. Television Engineering, 2014, (1): 47-49 + 53.
范沥丹. 基于广电网络的视频监控系统建设[J]. 电视工程, 2014, (1): 47-49+53.
- [9] WANG Zhidong. Real time monitoring program for LAN network channel[J]. Sci Tech Information, 2006 (31): 210-212
王志东. 局域网通道实时监控程序[J]. 科技资讯, 2006 (31): 210-212.