

doi:10.3788/gzxb20124112.1441

# 纳秒量级开关时间的全光纤磁光开关

翁梓华, 朱金攀, 何竞彦, 陈智敏, 卓勇

(厦门大学 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

**摘 要:**采用磁光晶体薄膜、半波片、偏振分束器、偏振合束器和高速法拉第转子等元器件研制了一种具有新型光路的  $1 \times 2$  全光纤磁光开关, 以用于全光网络通信. 采用雪崩晶体管设计和制作了多种纳秒脉冲发生器, 用于驱动法拉第转子中的微型螺线管. 对螺线管的尺寸和结构布局进行了优化设计, 并分析螺线管的磁场强度和自感系数等性能参量, 以提高磁光开关的开关速度. 磁光开关的性能测试结果表明, 纳秒脉冲上升时间为  $2 \sim 5$  ns、脉冲宽度为  $6 \sim 12$  ns、脉冲幅值为  $30 \sim 150$  V. 磁光开关的插入损耗为 1.55 dB, 串扰为 23.69 dB, 消光比为  $-23.69$  dB, 开关时间为  $100 \sim 400$  ns. 该全光纤磁光开关的开关时间已达到纳秒量级.

**关键词:**磁光开关; 法拉第转子; 纳秒脉冲; 磁光晶体薄膜; 偏振分束器

**中图分类号:** TN25

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4213(2012)12-1441-6

## 0 引言

全光开关(All-optical Switch)是全光网络(All-Optical Networking, AON)中的光分插复用设备(Optical Add/Drop Multiplexer, OADM)、光交叉连接(Optical Cross Connect, OXC)和光路由器(Optical Router)等关键设备的核心器件之一, 其性能在一定程度上影响甚至决定着整个全光网络的性能<sup>[1-2]</sup>. 磁光开关作为一种新近研究的全光开关, 其研究对 AON 的发展具有重要的学术价值和良好的应用前景. 目前, 磁光开关及其集成的研究已经成为国内外 AON 和光无源器件的重要研究热点和关键技术难点. 国内外许多大学、研究所和厂家竞相开展了磁光开关及其产品的研制<sup>[3-4]</sup>.

美国爱荷华州立大学的 R. J. Weber 研究小组采用薄膜型磁光晶体开展了  $1 \times 2$  型磁光开关的研究<sup>[5]</sup>; 奥地利维也纳科技大学的 Y. S. Didosyan 研究小组采用 Yttrium Orthoferrite 磁光晶体研制出了快速双稳态磁光开关<sup>[6-7]</sup>. 日本 Fujitsu 实验室、日本 FDK 公司、美国 Agiltron 公司和美国 Primanex 公司等厂家都分别提供了多种规格的磁光开关产品. 华中科技大学的研究小组研制了  $1 \times 2$  型磁光开关<sup>[8]</sup>; 电子科技大学的研究小组利用磁光晶体薄膜开展了磁光开关研究<sup>[9]</sup>; 厦门大学的研究小组开展了全光纤磁光开关的研究. 山东招金光电

子科技有限公司和上海玉光通信科技有限公司等厂家都分别提供了多种规格的磁光开关产品.

通过比较可以发现, 已有磁光开关的开关速度还比较低, 大部分磁光开关产品的开关时间都是微秒量级的<sup>[10]</sup>, 与 AON 进一步要求的纳秒量级甚至皮秒量级都还有一定的差距. 目前只有奥地利维也纳科技大学<sup>[11]</sup>、厦门大学<sup>[12]</sup>和美国爱荷华州立大学<sup>[13]</sup>的磁光开关样品的开关时间先后达到纳秒量级. 其次, 大部分磁光开关由于采用块状型的偏振分/合束器和块状型磁光晶体, 导致体积较大, 不利于大规模集成. 块状型的结构还增加了光开关的插入损耗并降低了磁场的利用率.

本文设计和制作了一种新型磁光开关—— $1 \times 2$  高速全光纤磁光开关. 该开关综合利用了纳秒脉冲技术和高速磁场结构特性, 成为一种原创性的磁光开关解决方案.

## 1 光路设计

光路设计是全光纤磁光开关设计的核心部分, 它决定了光开关的总体性能、成本和结构. 磁光开关应用了线偏振光在磁光材料中的法拉第效应. 通过控制线偏振光的偏振方向来控制光束的传播方向, 使入射光束按要求从不同的输出端口输出.

本文设计的  $1 \times 2$  全光纤磁光开关的光路如图 1. 它主要由半波片、偏振分束器(PBS, Polarized

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60677039)资助

第一作者: 翁梓华(1964—), 男, 教授, 博导, 博士, 主要研究方向为电磁场理论和光纤通信. Email: xmuwzh@xmu.edu.cn

通讯作者: 卓勇(1970—), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为光机电技术和自动化系统. Email: zhuoyong@xmu.edu.cn

收稿日期: 2012-05-21; 修回日期: 2012-09-12

Beam Splitter)、偏振合束器(PBC, Polarized Beam Combiner)、光纤准直器、Bi-RIG 磁光晶体薄膜和高速磁场装置组成. 该光路具有结构简单、偏振无关性、器件体积小、易于集成和通用性好等特点.

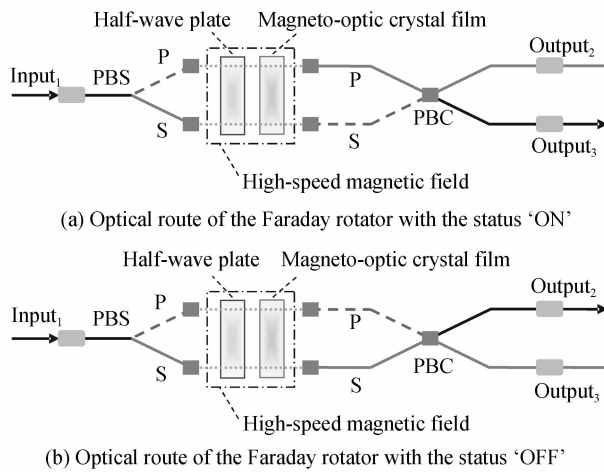


图1 全光纤磁光开关原理

Fig.1 Schematic of the all-fiber magneto-optical switch

来自光源的  $1550\text{ nm}$  的输入光经过  $1\times 2$  PBS 后被分解成两个偏振态正交的 P 光和 S 光. 由光纤准直器将两束偏振光转变成平行光后出射. 出射偏振光经过半波片和 Bi-RIG 磁光晶体薄膜后, 耦合进另一端的光纤准直器中. 这两个准直器连接着  $2\times 2$  PBC 的两端, 通过 PBC 将两束偏振光合束后从端口 2 或端口 3 输出. 实验过程中, P 光和 S 光走过的光程要求是相等的, 以保证信号光的良好传输性能.

偏振态正交的 P 光和 S 光经过半波片后, 它们的偏振面沿偏振方向都被偏转了  $45^\circ$ . 当高速磁场装置产生一个正向的外加磁场时(假定从端口 3 输出时所加的磁场为正向), P 光和 S 光将沿着偏振方向都继续偏转  $45^\circ$ . 这样 P 光和 S 光的偏振面都总共发生了  $90^\circ$  旋转, 从而使入射中的 P 光(或 S 光)变成了输出中的 S 光(或 P 光), 再经过 PBC 合束后从端口 3 输出, 如图 1(a) 所示. 当高速磁场装置产生一个反向的外加磁场时, P 光和 S 光都将逆着偏振方向旋转  $45^\circ$ , 这样 P 光和 S 光都总共旋转了  $0^\circ$ , 再经过 PBC 合束后从端口 2 输出, 如图 1(b). 因而该磁光开关可以实现  $1\times 2$  光路的切换.

光纤准直器的插入损耗受偏离角和横向间距的影响较大, 相应地磁光开关的插入损耗也随之增大. 在实验过程中, 需要采用专用装置对偏振光路进行对准耦合, 使光纤准直器之间的连接都达到最佳匹配, 以降低磁光开关的插入损耗.

光路中的磁光材料采用应用范围较广的磁光晶体薄膜<sup>[14]</sup>. 综合考虑磁光材料选择的各种因素, 特别是磁光材料的采购难度, 最终选择了 Granopt 公司的 GSF 和 GMF 两种型号的 Bi-RIG (Bismuth-

substituted Rare-earth Iron Garnet) 磁光晶体薄膜作为本项目实验用磁光材料. 为了实验中操作的方便, 使用的 GSF (SF means Saturation Field) 和 GMF (MF means Magnet-Free) 磁光晶体薄膜的尺寸都定制为  $1.5\text{ mm}\times 1.5\text{ mm}$ .

## 2 纳秒脉冲发生器

开关时间是磁光开关的一个重要性能参量. 为了保证全光纤磁光开关的开关时间满足要求的纳秒量级, 要求脉冲发生器的响应时间必须达到纳秒量级. 本文利用雪崩晶体管和阶跃恢复二极管的特性, 设计了不同电路结构的脉冲发生器. 实验中, 首先通过长时间的通电试验筛选出性能稳定的雪崩晶体管和阶跃恢复二极管等芯片. 实验结果表明, 制作的脉冲发生器具有稳定性好、纳秒级上升沿时间和幅值大等特点, 符合高速磁光开关的性能要求<sup>[15-16]</sup>.

本文采用 Tektronix TDS3054B  $500\text{ MHz}$  示波器来测量输出端的纳秒脉冲波形. 雪崩三极管脉冲发生器电子线路的各电容和电阻值如图 2. 在保持电路其它参量不变, 仅仅换用不同的雪崩三极管的情况下, 其输出脉冲性能的主要参量记录在表 1 中. 由表 1 可知, 雪崩三极管脉冲发生器可以产生上升时间为  $2\sim 5\text{ ns}$ 、脉冲宽度为  $6\sim 12\text{ ns}$ 、脉冲幅值为  $30\sim 150\text{ V}$  的纳秒脉冲, 具有幅值大、纳秒上升沿和稳定性好等特点. 其中 FMMT415 和 2N5551 两种晶体管产生的脉冲幅值较大, 相应地上升时间也比较大, 并且所需的驱动电压比较大. 其余晶体管产

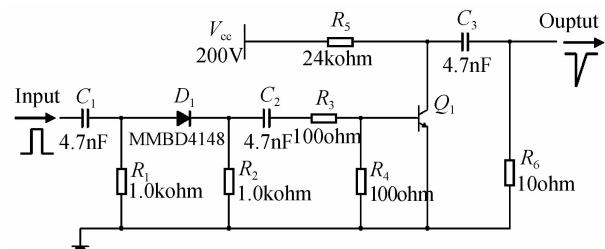


图2 采用雪崩三极管的纳秒脉冲发生器电子线路图

Fig.2 Electric circuit diagram of the nanosecond pulse generator with avalanche dynatrons

表1 不同雪崩三极管产生的纳秒脉冲性能表

Table 1 Performance table of nanosecond pulses from different avalanche dynatrons

Avalanche dynatron types	Rising time/ns	Falling time/ns	Pulse width/ns	Pulse amplitude/V
2N2369A	2.520	30.24	10.90	30.6
3DB2E	2.354	20.20	6.589	47.5
3DB2G	2.307	26.97	9.540	54.0
3DK2B	2.643	44.46	11.09	46.8
3DK3D	2.730	27.08	10.24	54.8
2N5551	4.018	14.01	7.287	86.4
FMMT415	4.983	58.50	11.53	133

生的脉冲性能相当. 分析电源驱动电压  $V_{cc}$ 、雪崩电容  $C_s$  和负载电阻  $R_o$  对纳秒脉冲性能的影响, 可以获得符合磁光开关电路设计要求的纳秒脉冲信号.

### 3 法拉第转子

高速磁场设计是磁光开关设计中的一个重要内容. 磁光开关要求脉冲发生器驱动的高速磁场具有速度快、磁滞小、磁感应强度大和稳定性好等特性. 本文采用通电螺线管线圈作为磁场结构, 并对其结构尺寸、磁场强度和电感大小进行了设计和分析<sup>[17]</sup>.

高速磁场设计的关键是, 考虑如何在外加电流尽可能小的情况下, 使产生的磁场达到磁光晶体的磁化饱和磁场要求. 实验中, 主要采用磁化饱和磁场比较低的 GSF 磁光晶体薄膜进行实验, 但实际上螺线管可以产生的磁场超过所需的 200Oe.

法拉第转子包括微型螺旋管及其中的磁光晶体薄膜. 利用通电螺线管可以直接对磁光晶体薄膜提供外加磁场, 其基本结构如图3所示. 实验中的螺线管骨架采用环氧树脂制作, 由于方形内孔的加工难度比较大, 故把它加工成圆形内孔.

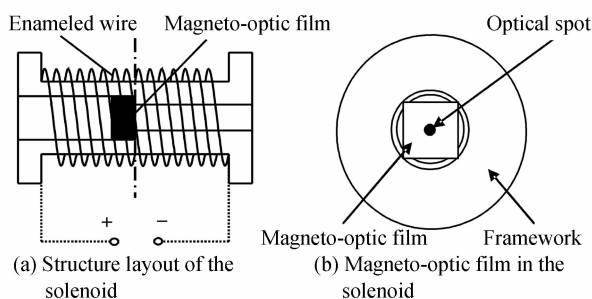


图3 螺线管和磁光晶体薄膜结构

Fig. 3 Schematic of the solenoid and the magneto-optic crystal film

磁场结构方案和所需的磁场大小基本确定下来之后, 接下来要确定的是螺线管的匝数  $N$  和电流强度  $I$ . 螺线管的匝数越大, 它的电感也就越大, 相应的开关的时间也就越长, 因此希望匝数越少越好. 然而匝数减小使得所需的电流增大, 进而导致功率变大. 如果采用脉冲电流的话, 虽然瞬时功率变大了, 但是总的功率并没有增大. 因此在设计磁路各部分的尺寸时, 需要综合平衡这几个因素, 做出合理的选择.

最终使用的螺线管匝数为 30 匝, 漆包线的直径为 0.07 mm, 有效缠绕距离为 1.46 mm. 其磁场强度达到 500Oe 和 200Oe 所需要的电流分别为 3.4A 和 1.4A. 为了保证晶体的插入损耗尽可能小, 需要将整个晶体完全磁化. 从实验中可以看出晶体的磁化时间是很短的, 由此可以推断不同位置的磁化速度差异是很小的.

对于纳秒脉冲电路而言, 脉冲电流的上升时间几乎不受螺线管时间参量的影响. 其脉冲电流的上升时间仍为纳秒级别, 如图4. 图4(a)使用的螺线管匝数为 10 匝, 图4(b)中使用的螺线管匝数为 20 匝. 如果采用 50 匝以上的螺线管, 实验结果表明法拉第转子将无法获得稳定的光脉冲信号.

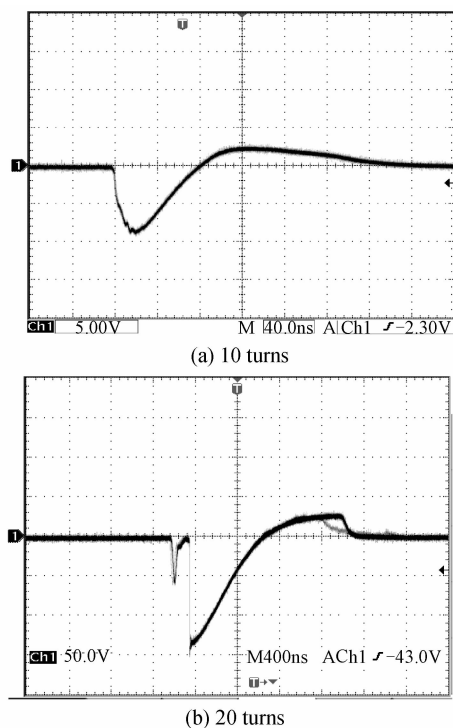


图4 纳秒脉冲电路触发法拉第转子产生的脉冲电流  
Fig. 4 Pulse electric currents from the Faraday rotator triggered by the nanosecond pulse circuit

### 4 磁光开关性能测试

磁光开关各个模块的设计与制作完成以后, 可以对磁光开关进行封装, 并对其总体性能进行测试. 磁光开关的性能测试对精确度要求很高, 要求测试平台稳定性好, 并具有抗干扰能力; 同时, 对测试仪器的精确度也具有很高的要求. 磁光开关性能测试平台如图5, 其中主要的测试仪器有: 光源、光功率

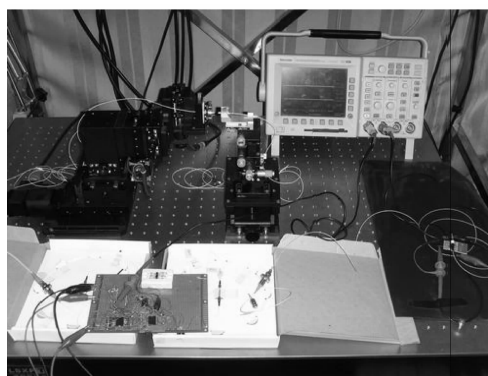


图5 磁光开关性能测试平台照片

Fig. 5 Photograph of performance measured platform of the magneto-optic switch

计、光电探测器和示波器. 整个测试过程在一个减震平台上进行.

光源采用 DS3200 系列 DFB 稳定化激光光源, 其出射激光波长为 1 550 nm. 光功率计采用 OM-10. 光电探测器为尾纤型光电探测器 PD80A. 示波器是 Tektronix 公司的 TDS3054B 型号示波器, 带宽为 500 MHz.

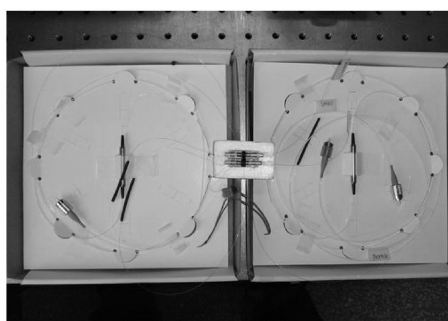
#### 4.1 法拉第旋转角测试

在法拉第旋转角的测试中, 检偏器的检偏方向与起偏器的偏振方向正交, 并放在光束的输出端口上. 当磁场从零开始不断增大, 入射偏振光在通过法拉第转子中的磁光晶体时, 偏振面会发生一定角度的旋转, 输出光功率也相应地不断增大.

利用该测试平台, 可以测得 GSF 磁光晶体薄膜的法拉第旋转角与磁场强度之间的关系. 测试结果显示, 螺线管线圈产生的磁场强度可达 400Oe. GSF 磁光晶体薄膜的饱和磁场约为 200Oe, 法拉第旋转角为  $45^\circ$ .

#### 4.2 损耗测试

插入损耗是指光信号通过如图 6 所示的磁光开关后所产生的附加损耗. 它包括两个方面: 一个是器件本身存在的固有损耗; 另一个就是由于接入的器件在光纤线路连接点上产生的连接损耗. 在导通状态下,  $P_{in} = 3.37 \text{ mW}$ ,  $P_{out} = 2.36 \text{ mW}$ , 磁光开关的插入损耗  $IL = 1.55 \text{ dB}$ .



(a) Photograph of the magneto-optic switch



(b) Photograph of the Faraday rotator

图 6 采用 GSF 磁光晶体薄膜制作的全光纤磁光开关  
Fig. 6 All-fiber magneto-optic switch with the GSF magneto-optic crystal film

串扰是指光开关接通端口的输出光功率与串入另一端口的输出光功率的比值. 当输出端口 1 导通时, 其输出光功率  $P_1 = 2.36 \text{ mW}$ , 其串入端口 2 的输出光功率  $P_2 = 10.09 \mu\text{W}$ , 磁光开关的串扰  $C_{12} =$

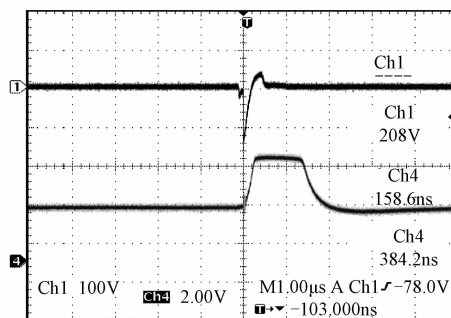
23.69 dB.

消光比是指输入和输出两个端口处于导通(开启)与非导通(关闭)状态的插入损耗之差. 当输入端口和输出端口 1 导通时, 输入光功率为 3.37 mW, 其输出光功率为 2.36 mW, 所以导通状态的插入损耗  $IL_1 = 1.55 \text{ dB}$ ; 当输入端口和输出端口 1 不导通时, 其输出光功率为  $10.09 \mu\text{W}$ , 所以不导通状态的插入损耗  $IL_{10} = 25.24 \text{ dB}$ , 磁光开关的消光比  $ER_{\text{min}} = -23.69 \text{ dB}$ .

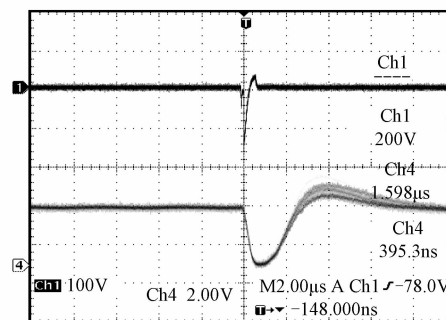
#### 4.3 开关时间测试

通过示波器测得采用 GSF 磁光晶体薄膜的磁光开关的工作波形如图 7. 图中的 ch1 波形为脉冲电流在螺线管线圈上的电压, ch4 波形为磁光开关某一输出端口的光信号转换后的电压. 在图中可以发现, 采用纳秒脉冲驱动的高速磁场可使磁光开关的 GSF 磁光晶体薄膜磁化, 并实现光路的转换.

在实验测量过程中, 脉冲发生器的驱动电压  $V_{cc} = 200 \text{ V}$ , 雪崩电容  $C_3 = 100 \text{ nF}$ , 电阻负载  $R_6 = 10 \Omega$ , 螺线管线圈为 30 匝. 图 7(a) 是电流产生磁场为正向时的波形, 图 7(b) 是磁场为反向时的波形. ch4 波形的基电压大约为 3V, 这主要是因为光路中的半波片对入射偏振光的偏振面产生  $45^\circ$  偏转引起的. 纳秒脉冲电流驱动产生的高速磁场对 GSF 磁光晶体产生磁化, 但不能保持其磁化状态. 当脉冲退去后, 磁光晶体 GSF 也迅速退磁, 这一现象和 GSF 自身的性质相吻合. 由图 7 可知, 磁光开关上升和



(a) Oriented magnetic field



(b) Reversed magnetic field

图 7 磁光开关工作波形图 ( $V_{cc} = 200 \text{ V}$ )

Fig. 7 Switching of optic signal waveforms of the magneto-optic switch ( $V_{cc} = 200 \text{ V}$ )

下降的时间分别为 158.6 ns 和 395.3 ns,两者相差较大.这主要是由磁光晶体 GSF 自身的正反向磁畴运动速度不同引起的,并非由实验误差引起的<sup>[18]</sup>.由于雪崩三极管等芯片产生的纳秒脉冲存在小幅度的尾部翘起现象,使得光脉冲也存在有反向的微小的尾部翘起.但这些反向的尾部翘起可以被归入噪音并过滤掉,对光信号的交换和传输并无显著影响.

实验测得的磁光开关的上升和下降时间(6次测量的平均值)与电源驱动电压  $V_{cc}$  之间的关系如图 8(a).从图中可以发现磁光开关的开关时间和螺线管中的脉冲电流之间有着非常密切的关系.随着驱动电压  $V_{cc}$  的增大,开关时间逐渐减小.当驱动电压增大到一定程度时,脉冲电流的幅值趋向于一个极限值,因此磁光开关的开关时间也将趋向于一个极限值.因为脉冲电流的大小还与负载电阻  $R_0$  的值有关,所以负载电阻  $R_0$  的大小和磁光开关的开关时间也存在着一定的关系.在驱动电压  $V_{cc} = 200V$  时,它们的关系曲线如图 8(b).

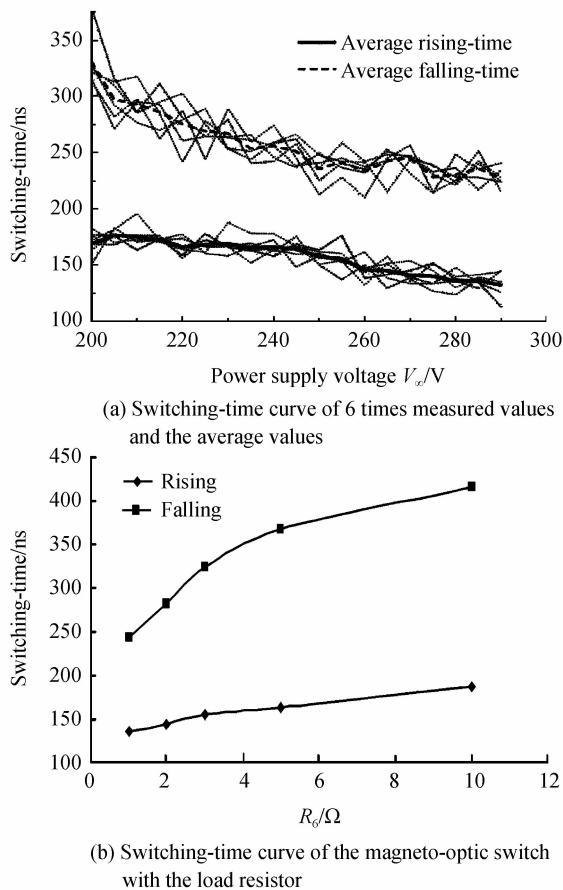


图 8 磁光开关的开关时间的测试图

Fig. 8 Measured curve of the switching-time of the magneto-optic switch

由图 8(b)可知,随着负载电阻  $R_0$  的减小,磁光开关的开关时间逐渐减小.这主要是由螺线管线圈内的脉冲电流的增大引起的.依此类推,在磁光开

关设计用的脉冲发生器中,加大驱动电压、增大雪崩电容和减小负载电阻都可以使脉冲电流的幅值增大,从而使磁光开关的开关时间减小.实验数据表明,磁光开关的上升时间约为 100~200 ns,而下降时间约为 200~400 ns.

## 5 结论

在磁光开关研究过程中,本文完成了全光纤磁光开关的光路、脉冲发生器和高速磁场等部分的设计和制作,并对磁光开关的总体性能进行了测试分析.1)根据磁光晶体饱和磁化时旋转  $45^\circ$  的特性,设计了  $1 \times 2$  全光纤磁光开关光路,它主要由半波片、偏振分束器、偏振合束器、光纤准直器、Bi-RIG 磁光晶体薄膜和高速磁场结构组成.2)选择 Bi-RIG 磁光晶体薄膜作为本项目实验用磁光材料,对其磁化性质和法拉第旋转角等进行测试分析.3)采用雪崩晶体管和阶跃恢复二极管设计了多种不同结构的脉冲发生器,分析了驱动电压、雪崩电容和负载电阻等参量对脉冲性能的影响.4)对螺线管的结构尺寸进行了设计和分析.测量螺线管磁滞作用对开关时间的影响.对其进行优化,以提高磁光开关的开关速度.5)通过磁光开关性能测试平台对磁光开关的总体性能进行了测试分析,包括磁光晶体的法拉第旋转角测试和磁光开关的插入损耗、串扰、消光比、开关时间的测试.实验结果表明,磁光开关插入损耗为 1.55 dB,串扰为 23.69 dB,消光比为 -23.69 dB,开关时间为 100~400 ns.目前该开关速度已达到纳秒量级.

通过数据对比可以发现,本文设计的  $1 \times 2$  磁光开关具有较快的开关速度,在开关时间方面遥遥领先于大部分已有的磁光开关产品.但是其插入损耗、串扰和消光比等性能还不够理想.究其原因,是所采用的偏振分/合束器的插入损耗等性能指标较差,并且和光纤准直器在对准耦合时产生了附加的损耗.因此,通过器件的改进以及对光路的良好对准耦合,该磁光开关的性能参量有望得到进一步改善.在后续的研究中,将寻找饱和磁场更小的和磁畴运动速度更快的磁光晶体,同时采用皮秒上升沿、脉冲幅值大和稳定性好的皮秒脉冲发生器,以提高磁光开关的开关速度,使其开关时间达到皮秒量级.

## 参考文献

- [1] PARK S Y, HANDA H, SANDHU A. High speed magneto-optical valve: Rapid control of the optical transmittance of aqueous solutions by magnetically induced self-assembly of superparamagnetic particle chains[J]. *Journal of Applied Physics*, 2009, **105**(7): 07B526, 3 pages.
- [2] SCHOLZ W, CRAWFORD T M, PARKER G J, et al. Fast magnetization switching with circularly polarized fields and

- short pulses[J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2008, **44**(11): 3134-3136.
- [3] RAZDOLSKI I E, MURZINA T V, KHARTSEV S I, *et al.* Magneto-optical switching in nonlinear all-garnet magneto photonic crystals[J]. *Thin Solid Films*, 2011, **519**(16): 5600-5602.
- [4] CHIBA D, NAKATANI Y, MATSUKURA F, *et al.* Simulation of magnetization switching by electric-field manipulation of magnetic anisotropy[J]. *Applied Physics Letters*, 2010, **96**(19): 192506, 3 pages.
- [5] TIOH J W, WEBER R J, MINA M. Improved formulation for Faraday rotation characterization[J]. *Journal of Applied Physics*, 2011, **109**(7): 07E334, 3 pages.
- [6] GIOUROUDI I, HAUSER H, MUSIEJOVSKY L, *et al.* Investigation of magneto impedance effect in amorphous thin-film microstructures[J]. *Journal of Applied Physics*, 2005, **97**(10): 10M109, 3 pages.
- [7] DIDOSYAN Y S, HAUSER H, REIDER G A, *et al.* Magnetization reversal and aftereffect in orthoferrites [J]. *Journal of Applied Physics*, 2003, **93**(10): 8755-8757.
- [8] ZHAO Qing, RUAN Yu, MA Xiao-dong, *et al.* A  $1 \times 4$  mechanical optical switch [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2004, **2**(3): 37-40.  
赵清, 阮玉, 马晓东, 等. 与偏振无关的  $1 \times 4$  光开关[J]. *光学与光电技术*, 2004, **2**(3): 37-40.
- [9] YIN Zi-Qiang. A Magneto-optic switch based on the magneto-optic waveguide [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2009.  
尹自强. 基于磁光波导的磁光开关的研制[D]. 成都: 电子科技大学, 2009.
- [10] LIN Shao-Han. The research and manufacture of nanosecond all-fiber magneto-optic switch [D]. Xiamen: Xiamen University, 2009.
- 林少汉. 纳秒量级全光纤磁光开关的研制[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
- [11] DIDOSYAN Y S, HAUSER H, REIDER G A, *et al.* Fast latching type optical switch [J]. *Journal of Applied Physics*, 2004, **95**(11): 7339-7341.
- [12] WENG Zi-Hua, RUAN Jian-Jian, LIN Shao-Han, *et al.* Fast magneto-optic switch based on nanosecond pulses[J]. *Optical Engineering*, 2011, **50**(9): 095001, 5 pages.
- [13] PRITCHARD J, MINA M, WEBER R J, *et al.* Low power field generation for magneto-optic fiber-based interferometric switches[J]. *Journal of Applied Physics*, 2012, **111**(7): 07A941, 3 pages.
- [14] SLONCZEWSKI J C. Theory of magnetic hysteresis in films and its application to computers[J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2009, **45**(1): 8-14.
- [15] WANG Qing, TIAN Xiao-Jian, LIU Yang, *et al.* Design of an ultra-wideband pulse generator based on avalanche transistor[C]. Proceedings of 2008 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. China, Dalian, 2008: 1-4.
- [16] GREKHOV I V, KOROTKOV S V, STEPANIANTS A L, *et al.* High-power semiconductor-based nano and subnanosecond pulse generator with a low delay time[J]. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2005, **33**(4): 1240-1244.
- [17] COTTRELL W J, FERENEC T G, PUZEY K A. Improved magneto-optic modulator for ultrafast current pulses [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2002, **14**(5): 624-626.
- [18] RUAN Jian-Jian. Research of ultrafast all-fiber magneto-optic switch[D]. Xiamen: Xiamen University, 2010.  
阮剑剑. 超高速全光纤磁光开关研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2010.

## All-fiber Magneto-optic Switch with the Nanosecond-level Switching-time

WENG Zi-hua, ZHU Jin-pan, HE Jing-yan, CHEN Zhi-min, ZHUO Yong

(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

**Abstract:** The  $1 \times 2$  all-fiber magneto-optic switch with the novel optical route is studied for the all-optical networking, by means of the magneto-optic crystal film, the half-wave plate, the polarized beam splitter, the polarized beam combiner, and the high-speed Faraday rotator etc. Some nanosecond pulse generators are designed and fabricated by the avalanche dynatrons, in order to actuate the miniature solenoid in the Faraday rotator. The dimensions and structure layout of the solenoid are designed optimally, while the magnetic field intensity and the self-inductance coefficient are analyzed to enhance the switching-speed of the magneto-optic switch. The performance measurement results state that the rising-time of the nanosecond pulse is 2~5 ns, the pulse width is 6~12 ns, and the pulse amplitude is 30~150 V. For the all-fiber magneto-optic switch, the insertion loss is 1.55 dB, the crosstalk is 23.69 dB, the extinction ratio is -23.69 dB, and the switching-time is 100~400 ns. The switching-time of the all-fiber magneto-optic switch has reached the nanosecond level.

**Key words:** Magneto-optic switch; Faraday rotator; Nanosecond pulse; Magneto-optic crystal film; Polarized beam splitter