

·测试、试验与仿真·

半导体光放大器输出线偏振劣化的实验研究

张天雍, 盛新志, 杨 帅, 毛雅亚, 王 颖, 吴重庆

(北京交通大学 发光与光信息教育部重点实验室 光信息科学与技术研究所, 北京 100044)

摘要:对基于半导体光放大器(SOA)中非线性偏振旋转效应(NPR)的输出线偏振态向椭圆偏振态劣化现象的影响因素进行了系统的实验研究。在实验环境稳定的条件下,改变信号光偏振态在邦加球赤道上的初始位置、SOA初始偏置电流和输入光功率等主要的初始参量,针对输出线偏振劣化问题,使用控制变量法分别进行研究。实验结果表明,输出信号光线偏振劣化,与信号光偏振态在邦加球上的初始位置无关,与SOA初始偏置电流和输入光功率有关。初始偏置电流越小、输入光功率越大,输出信号光线偏振态劣化为椭圆偏振态的程度越大。研究结论对基于SOA中NPR在全光开关、全光信号处理等应用系统的设计具有重要的指导意义。

关键词:半导体光放大器;非线性偏振旋转;线偏振态;椭圆偏振态;偏振劣化

中图分类号:O439

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2016)-02-0070-06

Experimental Research on Output Linear Polarization Deterioration in Semiconductor Optical Amplifier

ZHANG Tian-yong, SHENG Xin-zhi, YANG Shuai, MAO Ya-ya, WANG Ying, WU Chong-qing

(Institute of Optical Information Science and Technology, Key Laboratory of Luminescence and Optical Information Technology of the Ministry of Education, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The influencing factors are experimentally investigated on the output linear polarization deterioration to elliptical polarization in the semiconductor optical amplifier's (SOA) nonlinear polarization rotation (NPR). In a stable laboratory environment condition, with changing separately the initial polarization state of optical signal, SOA initial bias current and input optical power. According to the problem of output line polarization deterioration, the control variation method is used. Experimental results show that the initial polarization state of the optical signal has little influence on the linear polarization deterioration, the SOA initial bias current and input optical power play the main roles. The smaller the initial bias current or the greater the input optical power is, the more the output linear polarization deteriorates. The study would be useful for the design of the application system such as optical switch, all-optical signal processing system based on SOA's NPR, as well as providing solid evidence for the research on the mechanism of the output linear polarization deterioration.

Key words: semiconductor optical amplifier; nonlinear polarization rotation; linear polarization; elliptical polarization; polarization deterioration

作为全光信号处理领域一种非常重要的非线性效应——半导体光放大器(semiconductor optical amplifier, SOA)中的非线性偏振旋转效应(nonlinear

polarization rotation, NPR),近年来在光开关、全光缓存、偏振态编码及全光逻辑实现等光网络领域所急需基础器件开发方面取得了一系列引人注目的进

收稿日期:2016-04-12

基金项目:国家自然科学基金(61575016)资助

作者简介:张天雍(1992-),男,甘肃白银人,硕士研究生,主要研究方向为光器件和全光信号处理;盛新志(1962-),男,河南息县人,博士,教授,主要研究方向为光器件和全光信号处理。

展^[1-6];但同时暴露出的信号光线偏振劣化问题,严重阻碍着基于SOA中NPR应用系统技术水平的提高和应用领域的拓展。针对基于SOA中NPR信号光线偏振劣化问题的影响因素开展实验研究,对推进其应用水平的提高具有非常重要的意义。

1986年,贝尔实验室的C D Poll等首次提出偏振主态概念,并利用偏振主态的方法表示传播场来描述信号光偏振态变化^[7]。2003年,Dorren等建立了速率方程模型描述SOA中的NPR效应^[8]。将偏振主态概念和SOA中NPR效应应用于光开关的探索工作,是程木等人在2008年首先引入的,通过对SOA系统偏振主态及非线性偏振旋转半径的调整,使信号光处于线偏振态导模,进而控制SOA偏置电流成功地实现了光开关作用^[9]。2012年,冯震等利用级联SOA系统中NPR实现了光通信数据包的时隙交换^[10]。2014年,高松等对基于SOA中NPR的单光纤环的全光时隙交换处理潜力进行了深入的探索^[11]。在上述应用中,都要求输入线偏振态时输出也是线偏振态,同时,要求在调节的时候,仍然保持其线偏振特性,然而,在实际的SOA中,由于偏振相关增益等的存在,使得输出线偏振态向椭圆偏振态演化,随着基于SOA中NPR应用研究的不断深入,这一问题逐渐成为大家关注的焦点。2007年,付松年等最早关注基于SOA中NPR应用中信号光线偏振态旋转角度受偏置电流、探测光或泵浦光功率影响^[11]。2015年,刘国栋等针对不同输入信号光功率下线偏振劣化与SOA偏振相关增益关系进行了分析^[12]。但这方面较为全面的实验研究工作,目前尚未见报道。

线偏振劣化,降低了信号光的消光比,对于光开关、全光缓存、偏振态编码及全光逻辑实现等基于SOA中NPR应用系统的整体品质,会产生不容忽视的严重影响,直接影响着技术水平的提高和应用领域的拓展。文中针对基于SOA中NPR信号光线偏振劣化问题,研究了信号光偏振态初始位置、SOA初始偏置电流及输入光功率等因素的影响。研究成果,对于明确基于SOA中NPR信号光线偏振劣化问题的主要影响因素,揭示其产生机制,提升应用系统水平,拓展应用领域,均会产生一定的推进作用。

1 实验原理与实验系统

考虑SOA输出光斯托克斯矢量 S 受输入因素 x

的影响,有下式

$$\frac{\partial S}{\partial x} = \frac{\partial M}{\partial x} M^{-1} S \quad (1)$$

其中, M 为SOA的穆勒矩阵。

理论和实验都证明作用算符,如下式

$$\frac{\partial M}{\partial x} M^{-1} = [(\Lambda \times S) + \beta] \times \quad (2)$$

其中, Λ 是偏振相关增益诱导劣化参量; β 是偏振相关相移诱导劣化参量^[13]。将式(2)代入式(1)得

$$\frac{\partial S}{\partial x} = (\Lambda \times S) \times S + \beta \times S \quad (3)$$

在之前的文献中,由于 Λ 很小,理论推导时通常忽略,因此有常数线性微分方程为

$$\frac{\partial S}{\partial x} = \beta \times S \quad (4)$$

可解得:

$$S(x) = [S - \beta \cos(2\theta)] \cos(\beta \Delta x) + B \sin(2\theta) \sin(\beta \Delta x) + \beta \cos(2\theta) \quad (5)$$

式(5)中, 2θ 是 β 与 $S(x_0)$ 的夹角, B 是 $\beta \times S(x_0)$ 方向的单位矢量,其中 $S(x_0)$ 是SOA初始状态对应的斯托克斯矢量。可见,随着SOA输入因素 x 的变化,输出光偏振态会以矢量 β 为轴、 2θ 为顶角的圆锥底面圆上旋转,对应邦加球上围绕一个中心进行旋转的旋转圆曲线,该中心即为其偏振主态。SOA的NPR效应,主要源于驱动电流或输入光等输入因素对其有源区载流子浓度调制所产生的内部增益和折射率的改变,另外还有制作不完善产生的固有双折射及偏振相关增益(通常约5~8 dB),以及信号光相对于SOA结构分布不对称的贡献。由于上述推导没有考虑偏振相关的增益和相移,忽略了 Λ ,得到SOA输出偏振态为线偏振态结论。实际上,尽管SOA制作力求对称性,但残存的偏振相关的增益和相移会影响线偏振态输出,使之逐渐演化为椭圆偏振态,即在不忽略 Λ 时会出现线偏振劣化现象。

实验过程中,当旋转圆曲线与邦加球赤道重合时,SOA外界输入控制因素将驱动线偏振输出光旋转偏振方向。这时改变SOA偏置电流或输入光功率,可控制输出光的线偏振方向,增加适当器件即可实现光开关、全光缓存、偏振态编码或全光逻辑等功能,此即基于SOA中NPR应用系统的初始工作状态。

在稳定的工作条件下,SOA的偏振主态在邦加球上的位置是确定的,但并不一定位于极点,输出光也不会正好为线偏振光。因此,在如图1所示的

实验系统中,加入两个偏振控制器(PC,自制),用来对整个系统偏振主态及输出信号光偏振态进行调整。窄带滤波器的中心波长为1 556.7 nm,3 dB带宽0.8 nm,用来减弱SOA中自发辐射放大(amplified spontaneous emission, ASE)噪声的影响。首先,在连续激光器(CW Laser, CoBrite DX4型, ID Photonics公司)稳定输入情况下,改变SOA(IP-SAD1501-5110型, INPHENIX公司)的偏置电流,基于NPR效应改变输出信号光的偏振态,由偏振分析仪(polarization analyzer, PA, POD-101D型, General Photonics公司)显示邦加球上的旋转圆曲线中心确定系统偏振主态位置。然后,调节输出端偏振控制器PC2,将系统的偏振主态调整到邦加球极点处。进而,调节偏振控制器PC1,改变入射光偏振态,增大旋转曲线的旋转半径,将输出信号光偏振态调节到邦加球赤道上。至此,系统处于基于SOA中NPR应用系统的初始工作状态,即线偏振输出的状态。



图1 实验系统结构示意图

改变SOA偏置电流,如图2所示,为输出光偏振态在邦加球上移动所产生的旋转圆曲线轨迹。输入信号光功率为0.6 mW,SOA偏置电流初始值为85 mA,在实验过程中以2.5 mA为步长逐步增加。

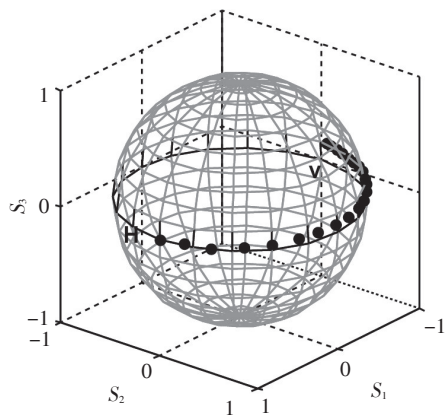


图2 输出信号光偏振态在邦加球上的演变轨迹

可见,输出光偏振态并不严格地沿着邦加球赤道线移动,而是逐渐偏离赤道,即输出光在随SOA偏置电流改变而发生线偏振角度旋转的同时,部分演化为椭圆偏振光,此即文中要研究的线偏振劣化现象。

2 实验结果及讨论

在实验环境恒定的条件下,信号光线偏振劣化的主要影响因素,应为系统的初始状态参量。因此,在将实验系统调整到基于SOA中NPR应用系统初始工作状态的基础上,通过改变信号光偏振态在邦加球上的初始位置、SOA初始偏置电流和输入光功率等三个初始状态参量,开展线偏振劣化主要影响因素的实验研究。信号光由线偏振态向椭圆偏振态的演化,在邦加球上表现为偏振态偏离赤道,体现在斯托克斯矢量上则是 S_3 分量不为0。所以,将以旋转过程中输出信号光 S_3 的改变量表示线偏振态的劣化实验结果。进而,根据实验结果,分析各初始状态参量对劣化的影响程度及趋势,确定主要影响因素。

2.1 信号光偏振态在邦加球上初始位置的影响

为探索信号光偏振态在邦加球上的初始位置对线偏振劣化的影响,在输入信号光功率0.6 mW、SOA初始偏置电流90 mA的实验条件下,首先完成对系统初始工作状态的调整工作。然后,偏振控制器PC1和PC2协同调节,将系统输出信号光偏振态在邦加球赤道上的初始位置,由对应水平偏振态的 H 点,分别沿赤道方向及垂直赤道向极点方向做等间距移动。进而,以调整后新得到的偏振态位置为信号光的偏振态初始位置,进行实验研究。

在沿赤道方向等间距移动信号光偏振态初始位置实验中,先将信号光偏振态由点沿赤道分别向左右移动,每次移动量约为线偏振态旋转 5° 。然后分别以这三个偏振态位置为信号光偏振态的初始位置,以2.5 mA为步长,在90~140 mA范围内改变SOA偏置电流,对应信号光线偏振态偏转 55° 进行实验。保持实验条件不变,多次重复实验,并对实验结果进行拟和平均,以减少实验误差。实验结果如图3所示。

在图3中,横坐标为SOA偏置电流,纵坐标为系统输出信号光 S_3 分量。信号光初始偏振态为线偏振态,此 S_3 分量即为其改变量。

可见,尽管三个初始位置信号光的线偏振角度相差约 5° ,三者的 S_3 分量变化比较一致,在三者的输出信号光线偏振角度偏转 55° 的过程中, S_3 分量变化最终均逼近0.044,对应偏振态演化为线偏振度

99.36%的椭圆偏振光。而且,三者表示线偏振劣化程度的 S_3 分量随SOA偏置电流的变化关系曲线基本一致,近乎重合。所以,在初始信号光保持线偏振态的情况下,信号光偏振态在邦加球上的初始位置与线偏振劣化无关。

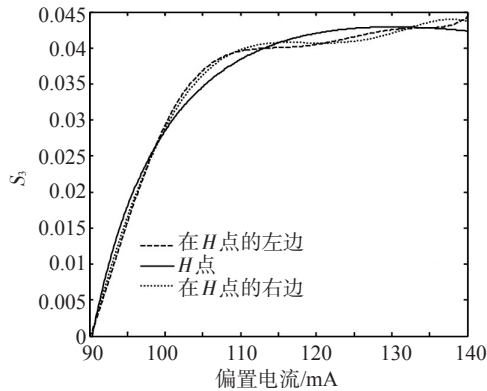


图3 信号光初始偏振态沿邦加球赤道方向变动的影响

在沿垂直赤道向极点方向移动信号光偏振态初始位置的实验中,先将信号光偏振态由 H 点沿垂直赤道向极点方向上下等间距 S_3 分量各改变0.05,对应输入信号光上下各改变线偏振度约0.4%,作为信号光偏振态初始位置实验的五个起始点。然后,以2.5 mA为步长,同样在90~140 mA范围内改变SOA偏置电流,进行实验研究。实验结果如图4所示。

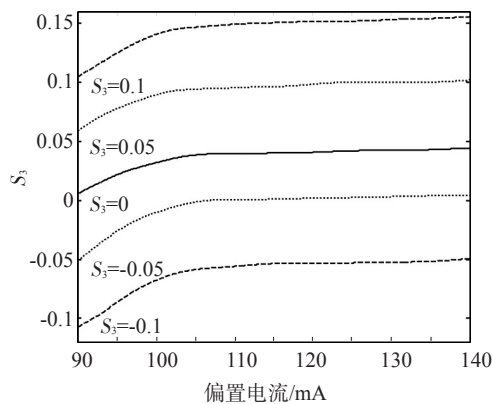


图4 信号光初始偏振态向极点方向变动的影响

与图3中情形不同,在图4中,五个初始位置偏离了邦加球赤道在其同一经线上,只有 S_3 分量为零的是线偏振光,其他四个均为椭圆偏振光。尽管五者之间信号光初始线偏振度存在差别,如图4所示,随着SOA偏置电流的改变,各自曲线只相当于整体的上下平移,值的大小与变化趋势各曲线基本保持

一致。可见,信号光线偏振态的劣化,在初始信号光向椭圆偏振态稍微偏移的情况下,与信号光偏振态的初始位置无关。

所以,由实验结果可见,系统输出信号光线偏振态的劣化,在初始信号光偏离线偏态程度不大的情况下,与信号光偏振态在邦加球上的初始位置无关。因此,在基于SOA的NPR中信号光偏振旋转现象进行应用时,无需对信号光在邦加球赤道上初始位置的对准作过苛的调整精度要求。

2.2 SOA初始偏置电流的影响

为探索SOA初始偏置电流对线偏振劣化的影响,在输入信号光功率为0.2 mW,SOA初始偏置电流为85.0 mA、87.5 mA、90.0 mA、92.5 mA和95.0 mA状态下,首先完成对各自初始工作状态的调整工作。由于实验所用SOA本身的最大偏置电流为140 mA,为保证各实验情形中偏置电流增量相同,因此最大初始偏置电流为95 mA,偏置电流增量为45 mA。由于信号光偏振态初始位置对线偏振劣化无影响,在此实验中信号光偏振态初始位置可取邦加球赤道上的任意点。在实际实验中,仍将初始位置调节到 H 点,仅是为了在邦加球上观察偏振旋转角度的直观性。然后,以步长2.5 mA逐渐增大偏置电流,直至偏置电流的增量达到45 mA。实验结果如图5所示。

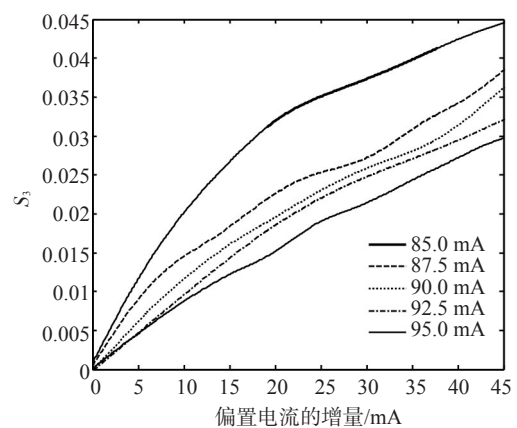


图5 不同初始偏置电流的影响

此过程中,初始偏置电流85 mA,电流增量为45 mA,即最终偏置电流为130 mA时,偏振态旋转角度为 69.29° ,初始偏置电流95 mA情形下最终偏振态旋转角度为 59.90° ,所以相同电流增量时,随着初始电流的增加,最终偏振态旋转的角度逐渐

减小。

如图5所示,当只有SOA初始偏置电流不同时,输出信号光线偏振劣化现象表现出明显的不同。尽管各曲线总体趋势相同,线偏振劣化程度随初始偏置电流减小而增大。初始偏置电流95.0 mA对应输出光线偏振度99.79%,85.0 mA对应99.68%。说明SOA初始偏置电流,对线偏振劣化有明显的负相关作用。即初始偏置电流越大,对线偏振态劣化的影响越小,最终输出偏振态越接近于线偏振态。

2.3 SOA输入光功率的影响

为探索输入光功率对线偏振劣化的影响,在SOA初始偏置电流为90 mA,输入信号光功率分别为0.2 mW、0.4 mW、0.6 mW、0.8 mW、1.0 mW状态下,首先完成对各自初始工作状态的调整工作。之所以选取初始偏置电流90 mA,是因为其处于85~95 mA的中间位置,以避免初始偏置电流对线偏振劣化影响的传递,可较好反映整体的差异性。为保持前后实验的统一性,偏置电流增量也取45 mA。信号光功率最大取1 mW,是受实验所用SOA的功率的限制。然后,同样以步长2.5 mA将偏置电流逐渐增大至135 mA。SOA偏置电流90~135 mA的变动范围,输入光功率0.2 mW的输出信号光偏振转动 67.59° ,输入光功率1.0 mW的输出信号光偏振转动 45.57° ,即偏置电流变动范围相同时,输入光功率越大,最终输出信号光偏振转动越小。不同输入信号光功率的实验结果如图6所示。

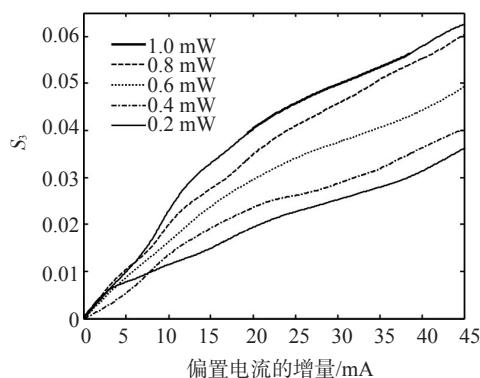


图6 不同输入光功率的影响

如图6所示,与改变SOA初始偏置电流情形相似,当只有输入信号光功率不同时,输出信号光线偏振的劣化表现出一定的趋势。尽管各曲线总体趋势相同,信号光线偏振度随着输入光功率增大而

减小。0.2 mW对应线偏振度为99.61%,1.0 mW对应99.49%。说明输入信号光功率对线偏振劣化有明显的正相关作用。输入光功率越小,线偏振劣化越小,输出偏振态越接近于线偏振态。

3 结论

针对基于SOA中NPR信号光线偏振劣化问题,从SOA初始偏置电流、输入光功率及信号光偏振态初始位置等几个因素开展实验研究。研究结果表明,在基于SOA中NPR应用系统的初始状态参量中,信号光线偏振劣化的主要影响因素为SOA初始偏置电流和输入信号光功率,输入信号光初始偏振态的影响很小,几乎可略。SOA初始偏置电流越小、输入光功率越大,系统输出信号光由线偏振态劣化为椭圆偏振态的程度越大。因此,在基于SOA中NPR应用系统的设计中,在满足偏振旋转角度的动态范围的前提下,应尽量使SOA在大偏置电流、小注入光功率的条件下工作,以保证取得良好效果。研究成果,为基于SOA中NPR应用系统输出信号光线偏振劣化内在产生机制的探索具有一定的推动作用,且对基于SOA中NPR在全光开关、全光信号处理等应用系统的设计具有重要的指导意义。

参考文献

- [1] 高松,盛新志,冯震,等.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[J].物理学报,2014,63(8):194-199.
- [2] Reis C, Parca G, Bougioukos M, et al. Experimental analysis of an all-optical packet router[J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2014, 6(7): 629-634.
- [3] Mukherjee K. Semiconductor optical amplifier based frequency encoded logic gates exploiting nonlinear polarization rotation only[J]. Journal of Circuits, Systems and Computers, 2014, 23(9): 145013001-145013011.
- [4] Schmuck H, Bonk R, Poehlmann W, et al. Demonstration of an SOA-assisted open metro-access infrastructure for heterogeneous services[J]. Optics Express, 2014, 22(1): 737-748.
- [5] Connelly M J. Modeling of nonlinear polarization rotation in tensile-strained semiconductor optical amplifiers using mueller matrices and carrier density induced refractive index change calculations[J]. Optics Communications, 2013, 308: 70-73.

[6] 白晓棠,段惠丹,李二龙.基于SOA辅助的全光逻辑异或门性能研究[J]. 光电技术应用,2009,24(4):34-37.

[7] Poole C D, Wagner R E. Phenomenological approach to polarisation dispersion in long single-mode fibres[J]. Electronics Letters, 1986, 22(19): 1029-1030.

[8] Dorren H J S, Lenstra D, Liu Y, et al. Nonlinear polarization rotation in semiconductor optical amplifiers: theory and application to all-optical flip-flop memories[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 2003, 39(1): 141-148.

[9] 程木,吴重庆,赵瑞,等.基于半导体光放大器偏振旋转的全光缓存器[J]. 光学学报,2008,28(10):1898-1902.

[10] 冯震,盛新志,吴重庆,等.半导体光放大器的偏振光开关性能改进[J]. 红外与激光工程,2012(1):124-128.

[11] Fu S, Zhong W, Shum P, et al. Nonlinear polarization rotation in semiconductor optical amplifiers with linear polarization maintenance[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2007, 19(23): 1931-1933.

[12] Liu G, Wu C, Wang F, et al. Measurement of the linewidth enhancement factor based on nonlinear polarization rotation of semiconductor optical amplifier[J]. Applied Optics, 2015, 54(16): 5162-5166.

[13] Zhao S, Wu C, Wang Y. Polarization dependence of linewidth enhancement factor in semiconductor optical amplifier and its implication for nonlinear polarization rotation [J]. Chinese Physics Letters, 2009, 26 (10): 1042051-1042054.

(上接第53页)

translation layer perspective[J]. International Journal of High Performance Systems Architecture, 2013, 4(3).

[3] Choi Y, Latifi S. Future prospects of DRAM: emerging alternatives[J]. International Journal of High Performance Systems Architecture, 2012, 41: 1-12.

[4] Kim G B, Cha S Y, Hyun E K, et al. Integrated planar spi-

ral inductors with CoFe and NiFe Ferromagnetic layer[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 50(3).

[5] 李弼程,罗建书.小波分析及其应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003.

[6] 陈桂明,张明照,戚红雨.应用MATLAB语言处理数字信号与数字图像[M]. 北京:科学出版社,2001.

(上接第64页)

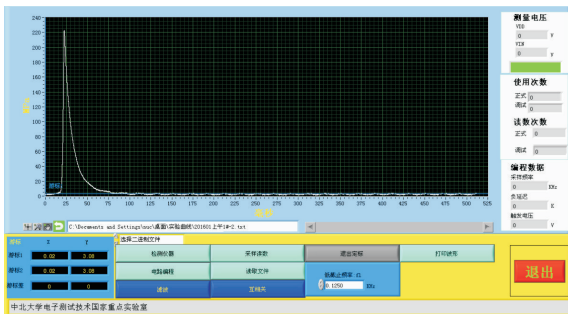


图8 测压仪所测得模拟膛压曲线

6 结论

对光触发测压仪光窗结构进行了优化设计,同时对测压仪抗电磁性能和模态进行了仿真分析。通过仿真,改进后的光触发测压仪满足膛压测试要

求。实验结果表明,光触发测压仪能够有效屏蔽火炮膛内电磁的干扰,完整记录膛压曲线。

参考文献

[1] 张相炎.火炮设计理论[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2005:153-161.

[2] 温星曦,李新娥,王美林.光触发电子测压器的设计[J]. 传感技术学报,2014,27(5):591-594.

[3] 舒跃飞,阎建平.发射药燃烧光谱测试技术[J]. 光电技术应用,2015,30(4):66-69.

[4] 吕文红,郭银景,唐富华.电磁兼容原理及应用教程[M]. 北京:清华大学出版社,2008:180-189.

[5] 马勇,孔春阳.ITO薄膜的光学和电学性质及其应用[J]. 重庆大学学报,2002,25(8):114-117.

[6] 刘飞.基于壳体电容的高压传感器仿真和实验技术研究[D]. 太原:中北大学,2012.

(上接第69页)

structure of thin films[J]. J Vac Sci Technol, 1985.

[4] 侯海虹,洪瑞金,张东平,等.测量薄膜微粗糙度的总积分散射仪[J].中国激光,2005,32(9):1258-1261.

[5] 申振峰,高劲松,陈红,等.用自制总积分散射仪评估

SiC基底表面改性效果[J].光学精密工程,2008,16(10): 1841-1846.

[6] 于昊.散射法表面粗糙度测量的数学模型分析[J]. 长春理工大学学报,2006,29(1):109,112.