

文章编号: 1001-4322(2001)01-0105-03

光阴极 RF 腔注入器中激光脉冲的时间抖动

李正红, 胡克松

(中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 介绍光阴极 RF 腔注入器中的驱动激光器, 采用二极管泵浦的自锁模激光器, 通过锁相, 使输出激光脉冲的时间抖动小于 2ps, 实现激光脉冲同微波相位之间的严格同步, 在实验上获得流强 70A、能量 2MeV、亮度 $4.4 \times 10^{11} \text{A}/(\text{m}^2 \cdot \text{rad}^2)$ 的电子束。

关键词: 光阴极 RF 腔注入器; 光阴极; 时间抖动

中图分类号: TL503.3 **文献标识码:** A

在光阴极 RF 腔注入器中, 激光脉冲同微波相位的同步要求很高, 根据光阴极 RF 腔的工作原理^[1], 激光脉冲的时间抖动直接影响输出电子束的参数(如电子能量, 电子束能散和发射度等), 基本结构框图如图 1 所示。一个高稳定的 RF 信号源(1.3GHz)分为二路: 一路驱动微波系统产生高功率微波; 另一路分频放大后驱动激光系统产生驱动激光, 然后同时注入到 RF 腔中产生高亮度电子束。在这里一方面要求微波相位稳定, 另一方面也要求激光脉冲同其驱动信号之间的时间抖动小。在光阴极 RF 腔注入器中, 如果要求激光脉冲相对于微波的相位抖动小于 3°, 则要求激光脉冲的时间抖动小于 6ps, 而通常灯泵浦声光锁模激光器的固有时间抖动为 30ps^[2], 达不到注入器的要求; 在实验中, 采用二极管泵浦自锁模激光器的锁模输出作为种子源, 结合锁相, 使输出激光脉冲的时间抖动小于 2ps, 实现了激光脉冲同微波相位之间的严格同步。

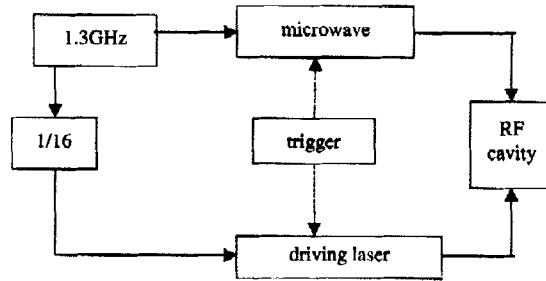


Fig. 1 The arrangement of RF photoinjector

图 1 光阴极 RF 腔注入器的结构框图

1 驱动激光器工作原理

在驱动激光器(如图 2)中, 激光驱动信号(81.25MHz)驱动锁模振荡腔产生锁模激光脉冲列, 该激光脉冲列经放大、脉冲选择和倍频后输出。当驱动激光器稳定运行时, 输出激光脉冲的时间抖动决定于激光脉冲列同驱动信号之间的时间抖动^[3]。

2 激光脉冲同驱动信号之间的同步研究

在光阴极注入器中, 采用二极管泵浦的自锁模激光器作为锁模振荡腔, 用检相器检出激光脉冲同驱动信号的相位差, 该信号反映激光脉冲相对于驱动信号的时间抖动, 然后根据此信号自动调节振荡腔腔长(如图 3), 使激光脉冲频率与驱动信号频率保持一致, 实现激光脉冲同驱动信号的严格同步。

当激光脉冲的重复频率为 f_1 时, 激光脉冲相对于驱动信号的相位差为

$$\Delta\varphi(t) = 2\pi(f_0 - f_1)t + \varphi_1(t) - \varphi_{1,0}(t) + \varphi_0 \quad (1)$$

式中 f_0 为驱动信号频率, $\varphi_1(t)$ 为驱动信号相噪声引起的相抖动, $\varphi_{1,0}(t)$ 是由于激光脉冲本身时间抖动引起的相抖动。

当激光脉冲重复频率同驱动信号频率一致(锁相)时, 上式可以写为

• 收稿日期: 2000-07-02; 修订日期: 2000-10-13

基金项目: 国家 863 激光技术领域资助课题; 中国工程物理研究院科学基金资助课题

作者简介: 李正红(1968-), 男, 1989 年毕业于武汉大学物理系, 博士, 从事光阴极 RF 腔注入器研究; 绵阳 919-1008 信箱。

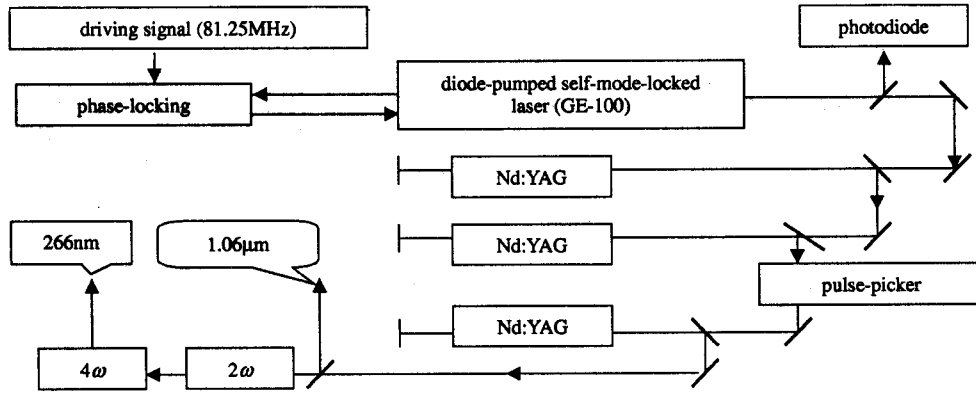


Fig. 2 The setup of driving laser in RF photoinjector

图 2 光阴极注入器驱动激光器的结构图

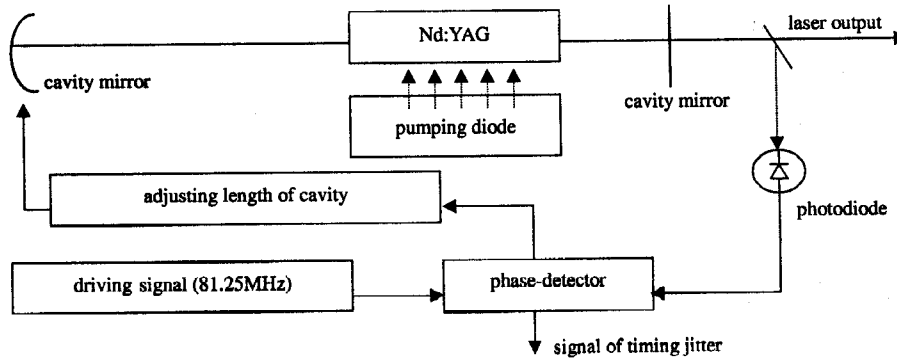


Fig. 3 Synchronization of laser pulse and driving signal

图 3 激光脉冲同驱动信号之间的同步原理图

$$\Delta\varphi(t) = \varphi_j(t) - \varphi_{j,0}(t) + \varphi_0 \tag{2}$$

则激光脉冲相对于驱动信号之间的相位抖动 $\Delta\varphi_j(t)$ 可以写为

$$\Delta\varphi_j(t) = \varphi_j(t) - \varphi_{j,0}(t) \tag{3}$$

式中 $\varphi_j(t)$ 和 $\varphi_{j,0}(t)$ 为不相关的随机值。

根据均方根的定义,激光脉冲相对于驱动信号之间相位抖动的均方根为

$$\Delta\varphi_{rms} = \varphi_{rms} + \varphi_{rms,0} \tag{4}$$

由此式可得激光脉冲时间抖动的均方根为

$$\Delta t_{rms} = \frac{\varphi_{rms}}{2\pi f_0} + t_{rms,0} \tag{5}$$

式中 $t_{rms,0} = \varphi_{rms,0} / 2\pi f_0$ 为激光脉冲本身固有时间抖动的均方根值。

通过以上分析可以看出,要实现激光脉冲同驱动信号的严格同步,首先要求激光脉冲的重复频率同驱动信号频率一致;当两者一致时,由(2)式可得激光脉冲的时间抖动由驱动信号的相噪声和激光脉冲本身固有的时间抖动两部分组成,因而还要求驱动信号的相噪声小,以及激光脉冲本身固有的抖动小。对实验用的光阴极 RF 腔注入器,驱动信号是 HP8663A 信号发生器 1.3GHz 的 16 分频信号,该信号的相噪声 $\varphi_{rms} < 0.03$,而且二极管泵浦自锁模激光器激光脉冲的固有时间抖动也很小^[4]: $t_{rms,0} \ll 1ps$;由(2)式可得理论上激光脉冲的时间抖动为: $\Delta t_{rms} < 1ps$ 。

3 激光脉冲时间抖动测量

当激光器稳定工作时,根据激光脉冲与驱动信号之间的相位差信号,可以得到激光脉冲相对于驱动

信号的时间抖动, 检相器检相输出的信号为

$$V(t) = V_{\max} \sin(2\pi f \Delta t_j) \quad (6)$$

式中 f 为激光脉冲的频率, Δt_j 为激光脉冲相对与 RF 信号的时间抖动, $V_{\max} = 3.33\text{V}$ 。由于激光脉冲的时间抖动远小于激光脉冲间隔, 该信号可以近似为: $V(t) \approx V_{\max} 2\pi f \Delta t_j$ 。则

$$\Delta t_j \approx V(t) / V_{\max} 2\pi f \quad (7)$$

图 4 是激光器稳定工作后, 检相器输出的时间抖动信号, 由图可得信号的均方根为 1.48mV , 最大值为 3.8mV ; 由式(7)可得激光脉冲时间抖动的均方根为 0.86ps , 最大值为 2ps 。

4 结 论

在光阴极 RF 腔注入器的驱动激光器中, 激光脉冲的时间抖动决定于锁模振荡腔, 采用二极管泵浦的自锁模激光器, 通过锁相, 可使输出激光脉冲的时间抖动小于 2ps , 从而实现激光脉冲同微波相位之间的严格同步, 达到注入器的实验要求, 在实验上已获得很好的结果^[5]。

参考文献:

- [1] O'Shea P G. Jitter sensitivity in photoinjector[A]. Particle Accelerator Conference[C], 1995:970.
- [2] Mark J W, Kurt J. Weimgarten, et al. Sumpicosecond laser pulse stablization[J]. *IEEE J*, 1989, 25(4):817.
- [3] Li Zhenghong, Liu Zhiqiang, Qian Mingquan, et al. Amplification of ps laser pulse[A]. SPIE[C], 1999, 3862:240.
- [4] Kodf D, Karter F X, Keller U. Diode-pumped Nd:glass lasers with an antiresonant fabry-perot saturable absorber[J]. *Optics Letter*, 1995, 20(10):1169.
- [5] 李正红, 胡克松, 黎 明, 等. 光阴极 RF 腔注入器[J]. *强激光与粒子束*. 2000, 12(3):366.

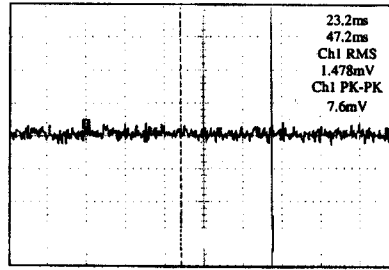


Fig. 4 Signal of laser pulse's timing jitter

图 4 激光脉冲的时间抖动信号图

Investigation of laser pulse's timing jitter in RF photoinjector

LI Zheng-hong, HU Ke-song

(Institute of Applied Electronics, CAEP, P.O. Box 919-1008, Mianyang 621900, China)

Abstract: In RF photoinjector, the diode-pumped self-mode-locked laser(GE-100) is used as the laser seeds in the driving laser, and the laser pulse's timing jitter is reduced down below 2ps by means of phase-locking technology. The detail of the timing jitter is discussed, the laser pulse's timing jitter is determined by the phase-noise of the driving signal and the instability of the mode-locked laser. So the high stable mode-locked laser and the driving signal of low phase-noise is required to the low timing jitter.

Key words: photoinjectotr; photocathode; timing jitter