

以砷化镓为锁模元件的被动锁模 Nd:YAG激光器

张筑虹 钱列加 陈绍和 范滇元

(中国科学院上海光机所, 201800)

毛宏伟

(中国科学院福建物构所, 350002)

提要: 报道以厚 $400\mu\text{m}$ 、(100)向的砷化镓替代染料为锁模元件的全固态被动锁模 Nd:YAG 激光器。锁模脉冲宽度为 16ps, 单脉冲平均能量 $10\mu\text{J}$, 锁模几率大于 90%。

关键词: 砷化镓, 被动锁模

Passively mode-locked Nd: YAG laser with a component GaAs

Zhang Zhuhong, Qian Liejia, Chen Shaohu, Fan Dianyuan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Mao Hongwei

(Fujian Institute of Matter Structure, Academia Sinica, Fuzhou)

Abstract: An all solid-state passively mode-locked Nd: YAG laser with a $400\mu\text{m}$, (100) oriented GaAs component is reported for the first time and mode locked pulses with a duration of 16 ps, average energy of $10\mu\text{J}$ were obtained with a probability of 90%.

Key words: GaAs, passively mode locking

锁模技术是获得超短光脉冲行之有效的手段。迄今为止, 大部分被动锁模是以具有非线性饱和吸收特性的染料对初始无序的涨落光的非线性吸收结合选通脉冲的多次放大而实现的^[1]。由于染料的瞬时热畸变和紫外光照分解, 锁模激光器的发展和应用均受到限制。本文首次报道利用半导体砷化镓中光与载流子的相互作用($EL2$ 能级的单光子吸收饱和效应, 价带、导带间双光子吸收限幅作用等)实现的被动锁模 Nd:YAG 激光运转的实验结果。激光腔体结构如图 1 所示。

厚 $400\mu\text{m}$ 、(100)向、双面抛光并镀有 $1.06\mu\text{m}$ 增透膜的砷化镓以与 M_2 (全反镜)紧接触的方式置入腔内;分束片 BS 提供 10% 的耦合输出; M_1 为半径 3m 的全反镜;通过调整焦距为 30cm 的透镜 f 在腔内位置, 实现 GaAs 面上高斯光束的孔径改变, 即改变光照功率密度。以 $\phi 5 \times 80\text{mm}$ 的 Nd:YAG 棒为工作物质, 由两根 $\phi 10 \times 80\text{mm}$ 的脉冲氙灯泵浦。用强流管接收光信号, 用快速示波器观察记录波形, 用分辨限为 10ps 的条纹相机测量脉冲宽度, 脉冲能

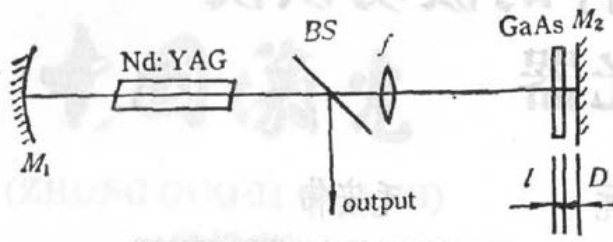


Fig. 1 Diagram of the laser cavity

l —thickness of GaAs; D —spacing between GaAs and M_2 ; PV —voltage on Xe lamp

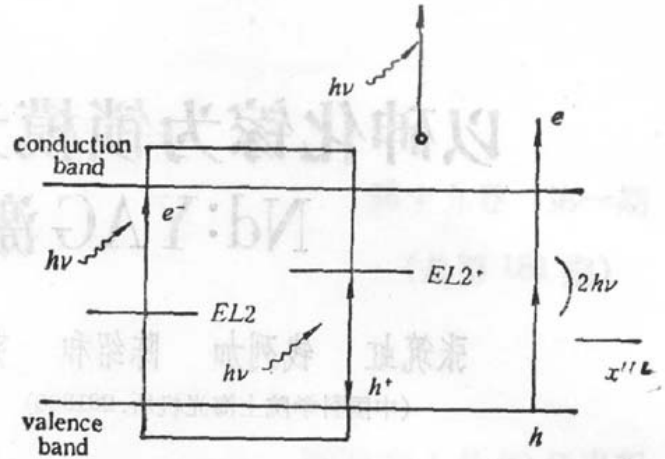


Fig. 2 Energy levels of GaAs

h —hole; e —electron

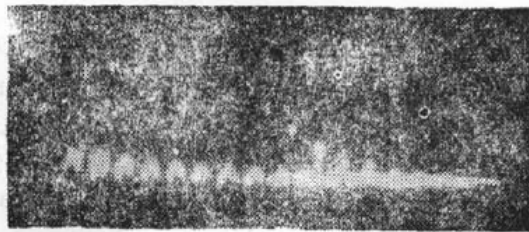


Fig. 3 Photograph of the pulse train from the passively mode-locked Nd:YAG laser

量用 PT-1 型激光能量计测量。

砷化镓样品的能级模式由图 2 给出。其单光子吸收系数为 1.2cm^{-1} ，当光强达 $100\text{MW}/\text{cm}^2$ 时，出现吸收饱和；样品的双光子吸收系数为 $26\text{cm}/\text{GW}$ ，当光强达 $200\text{MW}/\text{cm}^2$ 时，可以观察到双光子吸收限幅作用^[23]。当砷化镓上辐照光强达 $400\text{MW}/\text{cm}^2$ 时，我们得到激光锁模输出，其序列脉冲迹示于图 3。

用砷化镓实现的全固态被动锁模 Nd:YAG 激光器的输出特性与砷化镓中光与载流子的相互作用紧密相关。对撞脉冲在砷化镓内所引起的光折变光栅，Drude 折射率光栅，砷化镓的单光子吸收和双光子吸收等均在锁模过程中起作用并清楚地反映在光脉冲性态上。

图 4 给出了锁模脉冲形状随氙灯电压变化情况，当泵浦光强增加时，脉冲信噪比增加，锁模更加完善，这与砷化镓内自由载流子 Drude 光栅的耦合作用增强相关。

图 5 给出了激光输出与砷化镓同 M_2 的间距 D 的关系。 $D=5\text{mm}$ 时未观察到锁模(图 5(c))，其原因是砷化镓中光吸收饱和的超快弛豫^[23]使回程光(从 M_2 反射)被吸收，锁模阈值大幅度上升所致。相比 $D=0$ (图 5(a))和 $D=0.5\text{mm}$ (图 5(b))的锁模情况，砷化镓锁模与染料锁模相似，反映了瞬态自由载流子光栅对锁模的影响。

图 6 给出砷化镓厚为 $400\mu\text{m}$ (a) 和 $800\mu\text{m}$ (b)， $D=0$ 时，锁模脉冲形状，与染料锁模相似。

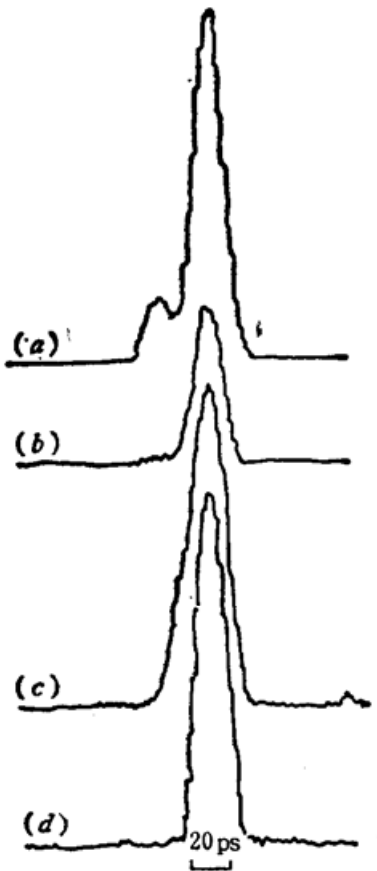


Fig. 4 Effect of pumping light intensity on the output, streak-camera trace of the laser pulses

$l=400\mu\text{m}$, $D=0$. (a) $PV=850\text{V}$; (b) $PV=860\text{V}$;
(c) $PV=875\text{V}$; (d) $PV=900\text{V}$

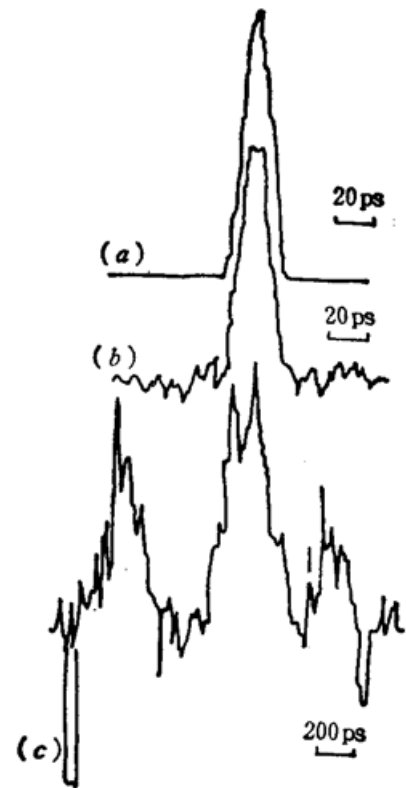


Fig. 5 Light input versus the spacing between the GaAs and M_2 , streak-camera trace of the laser pulses.

$l=400\mu\text{m}$, $PV=890\text{V}$. (a) $D=0$;
(b) $D=0.5\text{mm}$; (c) $D=5\text{mm}$

图 7 是同一序列脉冲中两两间隔 22.2ns (腔寿命 7.4ns) 的四个脉冲条纹相机图。脉冲形状的不对称是由光栅的自衍射引起的; 脉冲宽度由 (a) 至 (d) 变窄则反映了砷化镓双光子吸收限幅引起的类增加带宽效应。其中图 6(d) 中给出锁模脉冲宽度 16ps , 与由双极扩散模型给出的折射率光栅的弛豫时间 15ps 相近。

实验考察了砷化镓用于锁模与有机染料用于锁模的性能。在锁模输出能量涨落在 8% 之内的几率分别为 90% 和 60% ; 砷化镓在实验周期中可连续使用, 而染料更新周期为 10 天; 砷化镓得到的锁模光能量小于染料, 这是因砷化镓表面烧融的限制。在考虑砷化镓表面加镀保护膜情况下, 这种新锁模激光性能将远优于染料实现的锁模激光器。

以上的实验结果和分析表明, 采用砷化镓实现锁模, 为锁模激光器的发展提供了新的选择, 砷化镓内的深调制光栅作用和强光的双光子吸收限幅能使这种激光器实现脉宽接近傅氏转换极限, 脉冲信噪比高, 稳定性强和方便的激光输出; 同时, 它拓宽了半导体材料的应用范围。

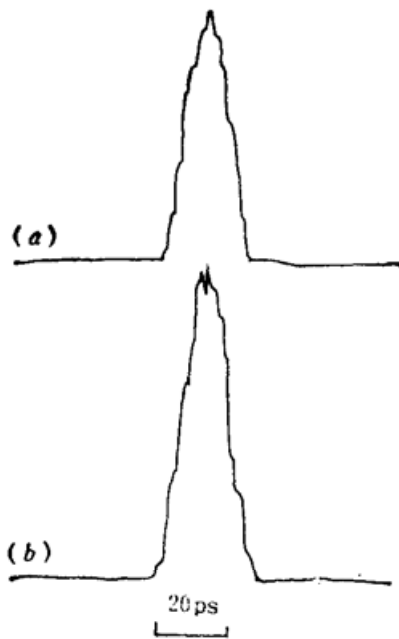


Fig. 6 Mode locked pulse versus the GaAs thickness streak-camera trace of the laser pulses

$D=0$, $PV=860V$. (a) $l=400\mu m$; (b) $l=800\mu m$

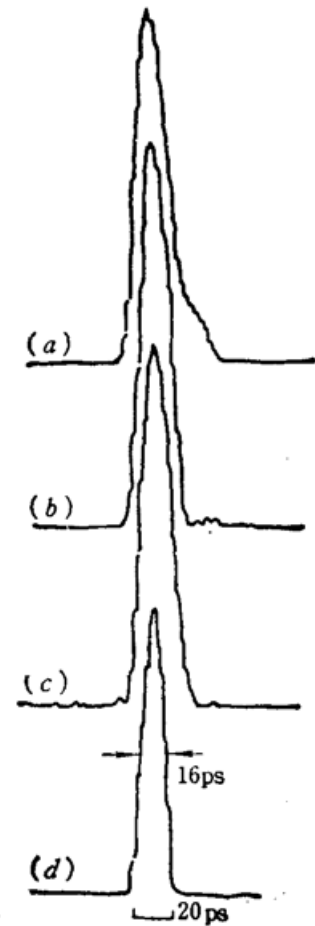


Fig. 7 Effect of the two photon absorption on the mode-locked streak-camera trace of the laser pulse

$l=400\mu m$, $D=0$, $PV=890V$. The four pulses are chosen from the same train. (a) n ; (b) $n+3$; (c) $n+6$; (d) $n+9$

参 考 文 献

- 1 W. H. Gleen, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-11**, 8(1975)
- 2 T. F. Boggess, A. L. Smirl *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-21**, 488(1985)
- 3 W. Z. Lin, W. Schoenlein *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-24**, 267(1988)