

文章编号: 0253-2239(2010)12-3610-05

双耦合 Λ 型三能级系统的量子相干特性

杨丽君 赵 敏 冯晓敏 李晓莉 张连水

(河北大学物理科学与技术学院, 河北 保定 071002)

摘要 对双耦合场作用下的 Λ 型三能级系统的量子相干特性进行了理论研究。通过求解相应的系统密度矩阵方程, 得到不同条件下的探测吸收谱, 研究了探测场的吸收谱线随耦合场的频率及作用强度的变化规律。结果表明, 当两个耦合场分别共振作用于相应的跃迁能级时, 所得到的探测吸收谱线既有吸收又有放大, 呈现为双电磁诱导吸收(EIA)峰与 Mollow 谱线的叠加。进一步分析给出了双 EIA 和 Mollow 谱线的位置、幅度随双耦合场拉比(Rabi)频率的变化规律, 并采用缀饰态理论对这一规律做出了解释。提出通过调节共振耦合场的作用强度可以实现 EIA 和 Mollow 谱线位置的频率调谐。

关键词 量子光学; 量子相干; 电磁诱导吸收; 三能级系统

中图分类号 O431.2; O437 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20103012.3610

Quantum Coherence Properties in Lambda Three-Level System Driven by Two Coupling Fields

Yang Lijun Zhao Min Feng Xiaomin Li Xiaoli Zhang Lianshui

(College of Physical science and Technology, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China)

Abstract Quantum coherence of a Λ -three-level scheme driven by two coupling fields is investigated. By solving density matrix motion equations under dipole approximation and rotating wave approximation, numerical results are obtained. It is shown that the probe absorption spectrum has amplification as well as absorption when both coupling fields are resonant with corresponding resonant transitions, and it exhibits the superposition of double electromagnetic induced absorption (EIA) and Mollow profile. The dependence of the position and intensity of the double EIA and Mollow profile on Rabi frequency of two coupling fields is investigated. The results can be accounted for dressed-state formalism. Therefore, EIA and Mollow frequency tuning can be performed by changing the intensity of the coupling fields.

Key words quantum optics; quantum coherence; electromagnetic induced absorption; three-level system

1 引 言

光与物质相互作用的量子相干效应一直是量子光学和非线性光学的研究热点。量子相干的实质是利用相干电磁场使原子的不同能级间发生关联, 从而在原子的多路径跃迁中形成干涉。伴随量子相干的出现介质会呈现许多独特的非线性效应, 如无吸收折射率增强^[1]、光群速减慢^[2,3]、电磁诱导吸收(EIA)^[4,5]、电磁诱导透明(EIT)^[6~8], 无反转放大^[9,10]等。利用这些性质可以进行弱光水平的非线性光学器件的研制^[11]、实现光脉冲的存贮和恢

复^[12]、单光子量子逻辑门及量子态的操控^[13]、无反转激光等应用技术的研究。因此, 研究不同能级系统中量子相干效应的特性和规律, 不仅具有重要的理论意义, 而且在量子计算、量子通信和量子信息存储等领域有着广阔的应用前景。

具有耦合-探测结构的三能级系统是研究量子相干最基本的能级系统。特别是 Λ 型三能级系统, 当其两低能级同属原子基态的精细结构时, 由于它们之间的相干失相速率很小, 可以得到比光学跃迁自然展宽小几个量级的极窄的 EIT 窗口, 这对 EIT

收稿日期: 2010-01-22; 收到修改稿日期: 2010-05-05

基金项目: 国家自然科学基金(10804025)和河北省自然科学基金(A2009000140)资助课题。

作者简介: 杨丽君(1966—), 女, 博士, 教授, 主要从事量子光学方面的研究。E-mail: ylijun2002@yahoo.com.cn

及其相关应用具有重要意义。因此,人们在各种介质中对 Λ 型三能级系统的量子相干特性进行了广泛的实验和理论研究^[13~15]。随着研究的不断深入,多场作用下的 Λ 型能级系统引起了更多的关注^[16~18],同时一些新的量子相干现象随之出现^[19]:探测吸收谱的多峰结构、电磁诱导吸收(EIA)、多窗口 EIT 等。20 世纪 70 年代, Mollow^[20] 和 Wu 等^[21] 给出了强耦合二能级系统的探测吸收谱,即 Mollow 谱线。Akulshin 研究小组^[22,23] 研究了外加磁场作用的简并原子系统的量子相干特性,结果表明,探测吸收不仅会产生 EIT 效应和 Mollow 吸收谱,而且还会形成 EIA。Zhu 等^[24] 对双场驱动下的 Λ 型三能级系统进行了实验研究,表明吸收谱呈现出多峰结构。Wei 等^[25] 在金刚石介质中对外加射频场的多能级系统量子相干效应进行了一系列的实验研究,观察到 EIT 的劈裂。本课题组^[26,27] 依据 Wei 的实验建立 Λ 型能级系统模型,对外加射频场的闭合 Λ 型三能级系统以及准 Λ 型四能级系统的 EIT 特性进行了系统的理论研究,进一步给出了 EIT 劈裂的规律,并采用缀饰态理论对多窗口 EIT 形成的物理机制做出了合理解释。

值得注意的是,在双耦合 Λ 型三能级系统中,由于两个耦合场之间的相互作用,将导致该系统更加丰富的量子相干特性。为此,本文通过求解双耦合 Λ 型三能级系统的密度矩阵方程,给出系统的探

测吸收特性及其随双耦合场作用强度的变化规律,并对其量子相干特性进行系统的理论分析。

2 系统的密度矩阵方程

双耦合场作用下的 Λ 型三能级系统如图 1(a) 所示。其中, $|1\rangle, |2\rangle$ 属于基态精细结构, $|3\rangle$ 为激发态能级,频率为 ω_{c1} 的耦合场作用于 $|2\rangle \leftrightarrow |3\rangle$ 跃迁,频率为 ω_{c2} 的耦合场作用于 $|1\rangle \leftrightarrow |3\rangle$ 跃迁,吸收谱线则通过探测场 ω_p 扫描能级 $|1\rangle \leftrightarrow |3\rangle$ 跃迁获得。耦合场和探测场与原子系统相互作用的 Rabi 频率分别为 $\Omega_{c1} = \mu_{32} E_{c1} / \hbar, \Omega_{c2} = \mu_{31} E_{c2} / \hbar, \Omega_p = \mu_{31} E_{c3} / \hbar$ 。

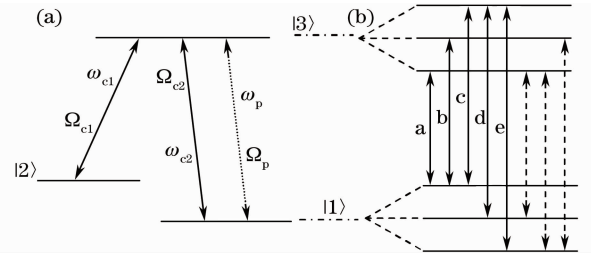


图 1 双耦合 Λ 型系统能级图。(a) 裸态能级, (b) 缀饰态能级

Fig. 1 Λ -three-level system driven by two coupling fields.

(a) Bare-state and (b) dressed-state representation

相干场与原子系统相互作用的总哈密顿量为

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_0 + \mathbf{V}(t), \quad (1)$$

式中 \mathbf{H}_0 为自由哈密顿量, $\mathbf{V}(t)$ 为电磁场与原子相互作用的哈密顿量, 表示为

$$\mathbf{V}(t) = -\frac{\hbar}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & [\Omega_p + \Omega_{c2} \exp(-i\delta t)] \exp(i\omega_p t) \\ 0 & 0 & \Omega_{c1} \exp(i\omega_{c1} t) \\ [\Omega_p + \Omega_{c2} \exp(-i\delta t)] \exp(-i\omega_p t) & \Omega_{c1} \exp(-i\omega_{c1} t) & 0 \end{bmatrix}.$$

系统的密度矩阵运动方程为

$$\dot{\rho}_{11} = i \frac{\Omega_{c2}}{2} (\rho_{31} - \rho_{13}) + i \frac{\Omega_p}{2} [\rho_{31} \exp(i\delta t) - \rho_{13} \exp(-i\delta t)] + \Gamma_{31} \rho_{33} + \Gamma_{21} \rho_{22} - \Gamma_{12} \rho_{11}, \quad (2a)$$

$$\dot{\rho}_{22} = i \frac{\Omega_{c1}}{2} (\rho_{32} - \rho_{23}) + \Gamma_{32} \rho_{33} + \Gamma_{12} \rho_{11} - \Gamma_{21} \rho_{22}, \quad (2b)$$

$$\dot{\rho}_{33} = -i \frac{\Omega_{c2}}{2} (\rho_{31} - \rho_{13}) - i \frac{\Omega_{c1}}{2} (\rho_{32} - \rho_{23}) - i \frac{\Omega_p}{2} [\rho_{31} \exp(i\delta t) - \rho_{13} \exp(-i\delta t)] - \Gamma_3 \rho_{33}, \quad (2c)$$

$$\dot{\rho}_{31} = -d_{31} \rho_{31} + i \frac{\Omega_{c1}}{2} \rho_{21} - i \left[\frac{\Omega_{c2}}{2} + \frac{\Omega_p}{2} \exp(-i\delta t) \right] (\rho_{33} - \rho_{11}), \quad (2d)$$

$$\dot{\rho}_{23} = -d_{23} \rho_{23} - i \left[\frac{\Omega_{c2}}{2} + \frac{\Omega_p}{2} \exp(i\delta t) \right] \rho_{21} + i \frac{\Omega_{c1}}{2} (\rho_{33} - \rho_{22}), \quad (2e)$$

$$\dot{\rho}_{21} = -d_{21} \rho_{21} - i \left[\frac{\Omega_{c2}}{2} + \frac{\Omega_p}{2} \exp(-i\delta t) \right] \rho_{23} - i \frac{\Omega_{c1}}{2} \rho_{31}, \quad (2f)$$

式中 $d_{23} = -i\Delta_{c1} + \gamma_{32}, d_{31} = i\Delta_{c2} + \gamma_{31}, d_{21} = i(\Delta_{c1} - \Delta_p) + \gamma_{21}$ 为复失谐量, 而 $\Delta_{c1} = \omega_{32} - \omega_{c1}$ 为耦

合场 ω_{c1} 的频率失谐量, $\Delta_{c2} = \omega_{31} - \omega_{c2}$ 为耦合场 ω_{c2} 的频率失谐量, $\Delta_p = \omega_{31} - \omega_p$ 为探测场的频率失谐

量, $\delta = \omega_p - \omega_{c2}$ 为探测场和耦合场 ω_{c2} 的频率差。 ω_{ij} 为能级 $|i\rangle \leftrightarrow |j\rangle$ 的跃迁频率。 Γ_{ij} 为能级 $|i\rangle \leftrightarrow |j\rangle$ 跃迁的粒子数衰减速率, γ_{ij} 为 $|i\rangle \leftrightarrow |j\rangle$ 的相干失相速率。可以近似认为: $\Gamma_{32} = \Gamma_{31}, \Gamma_{21} = \Gamma_{12} = \Gamma$, 且 $\gamma_{31} = \frac{1}{2}(\Gamma_{31} + \Gamma_{32} + \Gamma_{12}), \gamma_{32} = \frac{1}{2}(\Gamma_{31} + \Gamma_{32} + \Gamma_{21}), \gamma_{21} = \frac{1}{2}(\Gamma_{12} + \Gamma_{21})$ 。将激发态能级 $|3\rangle$ 的粒子数衰减速率 $\Gamma_3 = \Gamma_{31} + \Gamma_{32}$ 进行归一化, 并令基态能级 $|1\rangle, |2\rangle$ 之间的粒子数衰减速率 $\Gamma = 10^{-3}$ 。其他参量均以 Γ_3 为单位取相对值。

求系统的密度矩阵方程的稳态解, 得到双耦合场作用下的 Λ 型三能级系统的探测吸收特性。因为采用弱场探测, 用微扰法求解方程组(2)得到非对角密度矩阵元 ρ_{31} 的一级微扰解 $\rho_{31}^{(1)}$ 。它的虚部 $\text{Im}\rho_{31}^{(1)}$ 对应于系统对探测场的吸收, 作 $\text{Im}\rho_{31}^{(1)}$ 随探测场的频率失谐量 $\Delta_p = \omega_{31} - \omega_p$ 的变化曲线给出系统的探测吸收谱。

3 结果与讨论

本文只讨论两个耦合场共振作用于相应跃迁能级的情况, 在这种情况下 $\Delta_{c1} = \Delta_{c2} = 0$, 因而探测场和耦合场 ω_{c2} 的频率差 $\delta = \omega_p - \omega_{c2} = \Delta_{c2} - \Delta_p = -\Delta_p$ 恰等于探测场频率的负失谐量。

图 2 给出了双共振耦合场作用下 Λ 型三能级系统的探测吸收谱的变化规律。图 2(a) 对应两个耦合场的 Rabi 频率均为 0, 仅有探测场存在的情况, 此时相当于一个简单的二能级系统, 吸收曲线在探测场的共振频率处呈现一个吸收峰。当加入耦合场 $\Omega_{c1} = 0.1$, 仅保持另一耦合场 $\Omega_{c2} = 0$, 则形成具有耦合—探测结构的 Λ 型三能级系统, 这是一个典型的 EIT 系统, 其探测吸收谱线如图 2(b) 所示。若令与探测场作用于相同跃迁的耦合场 $\Omega_{c2} = 10.0$, 而同

时 $\Omega_{c1} = 0.0$, 则系统相当于一个强场作用下的二能级系统, 其探测吸收为已知的 Mollow 吸收谱如图 2(c) 所示。当两个耦合场均存在时, 则形成双耦合 Λ 型三能级系统, 所得到的吸收曲线不再是一个简单的 EIT 或 Mollow, 而是 EIA 与 Mollow 的叠加, 如图 2(d) 的实线部分所示, 两个耦合场的 Rabi 频率分别为 $\Omega_{c1} = 0.1$ 和 $\Omega_{c2} = 10.0$ 。图 2(d) 中的虚线部分是仅有耦合场 ω_{c2} 作用时的 Mollow 吸收曲线, 可以看出 Mollow 曲线与实线中除双 EIA 以外的其它部分完全重合在一起。

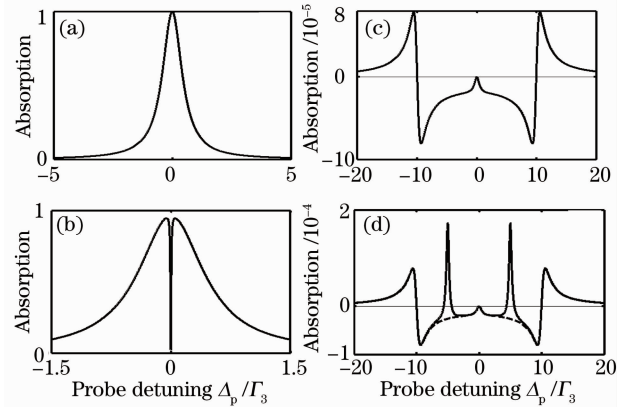


图 2 双共振耦合 Λ 型三能级系统的吸收谱
Fig. 2 Absorption spectrum of probe field for Λ -double resonant coupling fields

双耦合 Λ 型三能级系统的探测吸收谱随共振耦合场强度的变化规律如图 3 所示。图 3(a) 给出了探测吸收随耦合场 ω_{c1} 的 Rabi 频率的变化。曲线 i 对应 $\Omega_{c1} = 0.1, \Omega_{c2} = 10.0$; 曲线 ii 对应 $\Omega_{c1} = 0.2, \Omega_{c2} = 10.0$ 的情况。可以看出, 双 EIA 的强度随耦合场 ω_{c1} 的 Rabi 频率的增大而明显增大。图 3(b) 是改变共振作用于探测跃迁能级的耦合场 ω_{c2} 的 Rabi 频率得到的探测吸收谱。曲线 i, ii 分别对应 $\Omega_{c2} = 10.0$ 和 $\Omega_{c2} = 12.0$ 。结果表明, 随着 Ω_{c2} 的增

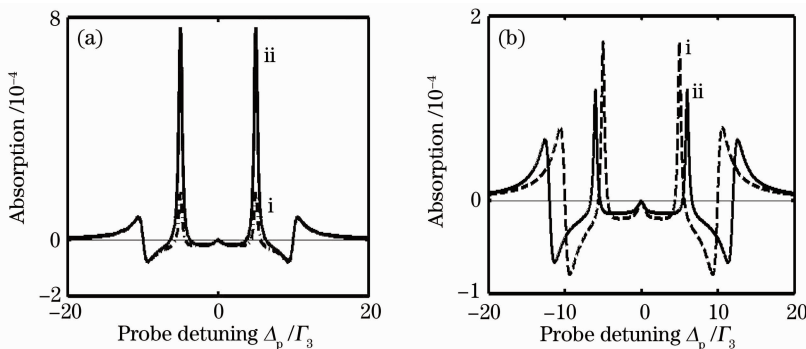


图 3 探测吸收谱线随耦合场强度的变化

Fig. 3 Dependence of probe absorption spectral lines on coupling field intensities for resonance pumping

大, 双 EIA 的幅度减小, 吸收谱线及 EIA 的位置随之明显变化。这表明耦合场 ω_{c2} 的加入不仅导致了 Mollow 谱, 而且也直接影响了双 EIA 的强度和位置, 即 EIA 的产生是双耦合场共同作用的结果。借助这些特性还可以实现双 EIA 和 Mollow 谱的频率调谐。

4 缀饰态理论解释

双耦合场共振作用于 Λ 型三能级系统的缀饰态能级^[28]如图 1(b)所示, 当耦合场 ω_{c1} 的 Rabi 频率为 Ω_{c1} , 耦合场 ω_{c2} 的 Rabi 频率为 Ω_{c2} 。则双耦合场共同作用的广义 Rabi 频率为 $\Omega = \sqrt{\Omega_{c1}^2 + \Omega_{c2}^2}$, 相邻缀饰态能级之间的频率间隔 $\frac{\omega}{2} = \sqrt{\omega_{c1}^2 + \omega_{c2}^2}/2$ 。采用弱探测场扫描 $|1\rangle \leftrightarrow |3\rangle$ 跃迁, 形成 a, b, c, d, e 5 条不同的共振跃迁路径, 其中, a, c, e 对应 Mollow 吸收谱中的探测共振吸收和两个色散型的吸收峰。b, d 则对应于探测吸收曲线中的双 EIA 峰。由此可知, 两 EIA 峰的位置分别位于 $\pm\Omega/2$ 处, 当 $\Omega_{c2} \gg \Omega_{c1}$ 时, 主要由强耦合场 ω_{c2} 的 Rabi 频率 Ω_{c2} 决定。依据缀饰态理论分析的结果, 与图 3 所示的探测吸收谱线随耦合场强度的变化规律一致。

5 结 论

综上所述, 双耦合 Λ 型三能级系统的探测吸收呈现出更复杂的量子相干特性。在共振耦合场的作用下, 探测谱线有吸收也有放大, 且吸收峰既有吸收线型又有色散线型, 表现为双 EIA 与 Mollow 谱线的叠加。

本文分析了探测吸收谱线随两个耦合场的作用强度的变化规律, 并采用缀饰态理论给出了定量解释。结果表明, 通过调节共振耦合场的 Rabi 频率可以实现 EIA 和 Mollow 谱线位置的频率调谐。这些性质将在光通讯、量子信息存储等方面具有重要的应用价值。

参 考 文 献

- 1 M. O. Scully. Enhancement of the index of refraction via quantum coherence[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1991, **67**(14): 1855~1858
- 2 M. Xiao, Y. Q. Li, S. I. Jin *et al.*. Measurement of dispersive properties of electromagnetically induced transparency in rubidium atoms[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1995, **74**(5): 666~669
- 3 S. E. Harris, J. E. Field, A. Kasspi. Dispersive properties of electromagnetically induced transparency[J]. *Phys. Rev. A.*, 1992, **46**(1): R29~R32
- 4 A. M. Akulshin, S. Barreiro, A. Lezama. Electromagnetically

- induced absorption and transparency due to resonant two-field excitation of quasidegenerate levels in Rb vapor[J]. *Phys. Rev. A.*, 1998, **57**(4): 2996~3002
- 5 A. V. Taichenachev, A. M. Tumaikin, V. I. Yudin. Electromagnetically induced absorption in a four-state system[J]. *Phys. Rev. A.*, 1999, **61**(1): 011802R
- 6 S. E. Harris, J. E. Field, A. Imamoglu. Nonlinear optical processes using electromagnetically induced transparency [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1990, **64**(10): 1107~1110
- 7 K. J. Boller, A. Imamolu, S. E. Harris. Observation of electromagnetically induced transparency[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1991, **66**(20): 2593~2596
- 8 Gao Feng, Ye Chenguang, Wang Pengjun *et al.*. Experimental investigation of electromagnetically-induced-transparency-like effect in optical coupled-resonator[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(9): 2565~2569
- 高峰, 叶晨光, 王鹏军等. 光学耦合腔中类电磁感应透明现象的实验研究[J]. *光学学报*, 2009, **29**(9): 2565~2569
- 9 S. E. Harris. Lasers without inversion: Interference of lifetime-broadened resonances [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1989, **62**(9): 1033~1036
- 10 M. O. Scully, S. Y. Zhu, A. Grarielides. Degenerate quantum-beat laser: Lasing without inversion and inversion without lasing [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1989, **62**(24): 2813~2816
- 11 S. E. Harris, Y. Yamamoto. Photon switching by quantum interference[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1998, **81**(17): 3611~3614
- 12 D. F. Phillips, A. Fleischhauer, A. Mair. Storage of light in atomic vapor[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 2001, **86**(5): 783~786
- 13 L. M. Narducci, M. O. Scully, G. L. Oppo *et al.*. Spontaneous emission and absorption properties of a driven three-level system[J]. *Phys. Rev. A.*, 1990, **42**(3): 1630~1649
- 14 Zhang Guoshun, Cao Zhuoliang. Spectrum of Λ -type three-level atom with two-mode entangled coherent states cavity fields[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(8): 1611~1617
- 章国顺, 曹卓良. 纠缠相干态光场驱动下 Λ -型三能级原子的辐射谱[J]. *光学学报*, 2008, **28**(8): 1611~1617
- 15 K. Ichimura, K. Yamamoto, N. Gemma. Evidence for electromagnetically induced transparency in a solid medium[J]. *Phys. Rev. A.*, 1998, **58**(5): 4116~4120
- 16 Kong Fanzhi, Zhou Ming, Huang Chunjia. Quantum coherence properties of atom laser induced by light field[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(7): 1395~1399
- 孔凡志, 周明, 黄春佳. 光场诱导的原子激光的量子相干性[J]. *光学学报*, 2008, **28**(7): 1395~1399
- 17 Zeng Zhiqiang, Hou Bangpin. Effects of vacuum-induced coherence on the single and two-photon transparency in a four-level ladder atomic system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(1): 251~256
- 曾志强, 侯邦品. 真空场诱导相干对梯形四能级原子系统中单光子和双光子透明的影响[J]. *光学学报*, 2010, **30**(1): 251~256
- 18 Zhang Lianshui, Zhuang Zhonghong, Li Xiaoli *et al.*. Electromagnetically induced transparency properties in the cascade quasi- Λ -four-level system [J]. *Chin. J. Quant. Electron.*, 2007, **24**(5): 548~553
- 张连水, 庄仲红, 李晓莉等. 级联准 Λ -型四能级系统电磁诱导透明特性[J]. *量子电子学报*, 2007, **24**(5): 548~553
- 19 Wang Li, Song Haizhen, Xiao Shaowu. Influence of laser-field linewidth on atomic coherence effect in four-level atomic system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(1): 194~199
- 王丽, 宋海珍, 肖绍武. 激光场线宽对四能级原子系统相干效应的影响[J]. *光学学报*, 2008, **28**(1): 194~199
- 20 B. R. Mollow. Stimulated emission and absorption near resonance for driven system[J]. *Phys. Rev. A.*, 1972, **5**(5): 2217~2222
- 21 F. Y. Wu, S. Ezekiel, M. Ducloy *et al.*. Observation of

amplification in a strongly driven two-level atomic system at optical frequencies [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1977, **38** (19): 1077~1080

- 22 A. Lezama, S. Barreiro, A. M. Akulshin. Electromagnetically induced absorption [J]. *Phys. Rev. A.*, 1999, **59** (6): 4732~4735
- 23 A. Lipsich, S. Barreiro, A. M. Akulshin *et al.*. Absorption spectra of driven degenerate two-level atomic systems[J]. *Phys. Rev. A.*, 2000, **61**(5): 053803
- 24 J. Wang, Y. Zhu, K. J. Jiang *et al.*. Bichromatic electromagnetically induced transparency in cold rubidium atoms [J]. *Phys. Rev. A.*, 2003, **68**(6): 063810
- 25 C. J. Wei, N. B. Manson. Observation of electromagnetically induced transparency within an electron spin resonance transition

[J]. *J. Opt. B: Quantum Semiclass. Opt.*, 1999, **1**(4): 464~468

- 26 L. J. Yang, L. S. Zhang, X. L. Li *et al.*. Autler-Townes effect in a strongly driven electromagnetically induced transparency resonance[J]. *Phys. Rev. A.*, 2005, **72**(5): 053801
- 27 E. A. Wilson, N. B. Manson, C. Wei *et al.*. Perturbing an electromagnetically induced transparency in a Λ system using a low frequency driving field. I. Three-level system [J]. *Phys. Rev. A.*, 2005, **72**(6): 063813
- 28 C. J. Wei, D. Suter, A. S. M. Windsor *et al.*. ac Stark effect in a doubly driven three-level atom [J]. *Phys. Rev. A.*, 1998, **58**(3): 2310~2318

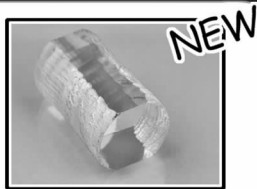
· 广 告 ·



全球专业的激光晶体和非线性光学晶体制造商

磁光晶体系列

铽镓石榴石 (TGG)



产品系列

1. 非线性光学晶体
2. 激光晶体
3. 绿光、蓝光晶体组件
4. 声光和电光晶体
5. 双折射晶体
6. 闪烁晶体
7. 激光光学产品
8. 通讯光学产品
9. 红外光学产品
10. Q-开关、温控炉等



BBO Q-开关

BBO 普克尔盒的应用

- 1、高重复频率DPSS中Q-开关的理想选择
- 2、用于高重复频率再生放大系统的控制
- 3、腔倒空系统
- 4、削波



Q开关驱动源



超长 Nd:YVO₄ 晶体



光学产品