

大调制度中间段两波耦合强度特性的理论分析*

王金来 吉选芒

安毓英 刘劲松

(山西运城高等专科学校物理系, 运城, 044000)

(西安电子科技大学技术物理系, 西安, 710071)

摘要: 提出了大调制度双光束耦合的中间段理论。在这种条件下, 耦合波方程只能数值求解。将该理论与其它几种条件下双光束耦合理论进行比较, 得出了十分有意义的理论结果。

关键词: 大调制度 中间段 参数分析

Analysis of two-wave coupling intensity at the intermediate regime with deep modulation

Wang Jinlai, Ji Xuanmang

(Department of Physics, Yuncheng Advanced Training College, Yuncheng, 044000)

An Yuying, Liu Jinsong

(Department of Applied Physics, Xidian University, Xi'an, 710071)

Abstract: A new theory about two-wave coupling at the intermediate regime with deep modulation is presented. Under the condition, the coupling equation can be numerically resolved. Compared with other theories, this one is more significant.

Key words: deep modulation intermediate regime parameter analysis

引 言

光折变晶体的双光束耦合是一种最基本而又十分重要的光折变现象。在以往许多文献中认为双光束耦合与入射总光强无关^[1,2]。因为在一般实验条件下, 光激发远大于热激发。从最近的一些文献^[3~6]和我们的实验中, 发现双光束耦合与入射总光强有十分密切的关系。我们用 632.8nm 的红光研究了 Ce:KNSBN 双光束耦合的强度特性。并用中间段理论^[7]解释了这种现象。同时, 两波耦合的强度特性与调制度也有着十分密切关系。Kwak Ch. H.^[8]给出了调制度的一种修正式。我们将热激发和调制度共同考虑进去, 给出了双光束耦合指数增益系数的一种修正式。结合耦合波方程进行数值求解, 得出了一些十分有意义的理论结果。

1 空间电荷场虚部的两种修正函数

通常情况下, 稳态空间电荷场的虚部和双光束耦合指数增益系数的关系式可以表示为^[8]:

$$\Gamma = [2\pi n^3 r_{\text{eff}} / (\lambda \cos\theta)] \cdot (I_m \{ |E_{\text{sc}}| \} / m_d) \quad (1)$$

式中, n 为晶体材料的折射率, λ 为光波波长, θ 为两光束在晶体外夹角的半角。 $m_d = 2 \sqrt{m} / (1 + m)$ 为调制度, $m = I_1 / I_2$ 为入射泵浦光与信号光的强度比。 r_{eff} 为晶体的有效电光系数,

* 国防科技预研基金资助。

它是由入射光的偏振性质和材料的性能来决定。在单载流子带运输模型中,由 Kukhtarev's 材料方程^[9]可知,稳态空间电荷场虚部与 m_d 成正比,即 $I_m\{E_{sc}\} \propto f_1(m_d) = m_d$ (2) (2)式是在调制度 m_d 的值很小时得到的。当 $m_d \ll 1$ 时,大多数的光折变现象都可以用这种线性小信号理论来解释。而当 m_d 变得较大后,(2)式不再成立,在 m_d 全部取值范围内,空间电荷场虚部与 m_d 之间的关系是非线性的。Kwak Ch. H.^[8]给出了 $f(m_d)$ 的另一种表达式。这时,空间电荷场虚部与调制度 m_d 的关系可写为

$$I_m\{E_{sc}\} \propto f_2(m_d) = [1 - \exp(-am_d)]/a \quad (3)$$

式中, a 是拟合参数,决定于实验条件。引入这样的修正后,我们将这种理论称为大调制度非线性理论。有的文献也称为大信号理论^[8]。如果当 $m_d \ll 1$, $f_2(m_d)$ 便可以简化为 $f_1(m_d) = m_d$ 。

为了证明非线性修正函数 $f_2(m_d)$ 的合理性,文献[6]中给出了 BaTiO₃ 晶体的 $f_2(m_d)$ 的实验结果及相应的拟合曲线,如图 1 所示。图中,空心圆表示实验结果,实线是用 $f_2(m_d) = [1 - \exp(-am_d)]/a$ 的拟合结果, a 取 3.0。虚线是线性调制理论,用 $f_1(m_d)$ 的拟合结果。

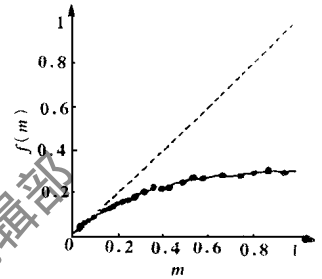


Fig. 1 Measured nonlinear correction function $f(m)$ versus modulation depth in BaTiO₃ crystal, the dotted curve indicates the linear modulation theory, $f(m) = m$, and the solid curve is a fit to the empirical correction function $f(m) = [1 - \exp(-am)]/a$ with $a = 3$

2 大调制度的双光束耦合的中间段理论

在小信号线性调制下,因空间电荷场虚部与 $f_1(m_d)$ 成正比,将(2)式代入(1)式,有: $\Gamma = \Gamma_s = 2\pi n^3 r_{eff} \Delta \cos\theta$ (4) Γ_s 是通常所说的饱和指数增益系数,显然, Γ_s 与 m_d 无关。如果将(3)式代入(1)式,有:

$$\Gamma = \Gamma_s f_2(m_d)/m_d = \Gamma_s [1 - \exp(-am_d)]/(am_d) \quad (5)$$

这就是大调制度饱和段的 Γ 表达式。显然与饱和光强 $I_s = \beta/S$ 无关。

Ja Y. H.^[3]在考虑线性调制下的双光束耦合中间段特性时将 Γ 修正为:

$$\Gamma = \Gamma_s(I_1 + I_2)/(I_1 + I_2 + I_s) \quad (6)$$

式中, I_1 为泵浦光, I_2 为信号光, $I_s = \beta/S$ 为饱和强度, β 为热激发速率, S 为光电离常数。

如果考虑热激发和调制度非线性修正共同影响,综合(5)式和(6)式,可以得到大调制度中间段双光束耦合指数增益系数 Γ 修正式为: $\Gamma = \Gamma_s(I_1 + I_2)f_2(m_d)/[(I_1 + I_2 + I_s)m_d]$ (7)

这样,我们可以得到大调制度中间段双光束耦合的光强耦合方程:

$$dI_1/dz = - [\Gamma_s f_2(m_d) I_1 I_2] / [(I_1 + I_2 + I_s) m_d] - \alpha I_1 \quad (8)$$

$$dI_2/dz = [\Gamma_s f_2(m_d) I_1 I_2] / [(I_1 + I_2 + I_s) m_d] - \alpha I_2 \quad (9)$$

边界条件:

$$I_1(0) = I_{10}, \quad I_2(0) = I_{20}$$

$$m(0) = I_{10}/I_{20} = m_0, \quad m_d(0) = 2 \sqrt{m_0}/(1 + m_0) \quad (10)$$

方程(8)和(9)的解析解难以求出,只能采用数值求解。定义有效增益系数 G :

$$G = I_2(d)(I_{10} \neq 0) / [I_2(d)(I_{10} = 0)] \quad (11)$$

在小信号线性调制修正的理论下, $f_1(m_d) = m_d$ 。由(8)和(9)两式可求出 G 的解析解^[7]

$$G = (1 + m_0) / (1 + m_0 \delta^{1/a}) \quad (12)$$

式中, $\delta = (I_0 e^{-\alpha} + I_s) / (I_0 + I_s)$, 如果忽略热激发的影响, 即令式中的 $I_s = 0$, 我们得到:

$$G = (1 + m_0) / (1 + m_0 e^{-\Gamma_s z}) \quad (13)$$

这就是双光束耦合在线性调制度下的饱和段公式。

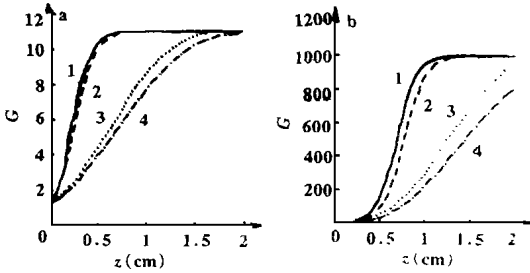


Fig. 2 Theoretical curve between gain coefficient and crystal thickness d , $\Gamma_s = 10\text{cm}^{-1}$, $I_0 = 100\text{W}/\text{m}^2$, $\alpha = 0.5\text{cm}^{-1}$, $a = 3.0$ a— $m_0 = 10$ b— $m_0 = 1000$

3 理论分析

图 2 给出了双光束耦合的有效增益 G 随晶体厚度 z 的变化关系曲线。图 2a 是泵浦光与信号光光强比 $m_0 = 10$ 情况下的理论曲线。图 2b 是 $m_0 = 1000$ 的理论曲线。由图可以看出, 随着晶体厚度增加, 有效增益 G 呈现出截止、增加而到饱和的变化特征, 图中曲线 1 代表不考虑热激发及调制度时的理论曲线, 即小信号线性调制饱和段理论

论, 在同一 z 值下, 这种理论给出的 G 值最大。曲线 2 代表只考虑热激发时理论曲线, 即小信号线性调制度中间段理论, 这时 G 值有所减少。曲线 3 对应的是只考虑调制度非线性修正的理论, 曲线 4 代表的是既考虑热激发又考虑调制度非线性修正理论。很明显, 这两种理论下对于同一厚度时 G 值明显减小, 究其根源, 考虑热激发时, 由于热生载流子存在, 降低了空间电荷场调制度, 这必然引起双光束耦合效率降低。同样非线性调制度修正引起 G 值减小也是基于这种原因。由图 2a 和图 2b 可看到, 当泵浦光与信号光强度比 m 越大, 这两种因素所起作用越大。随着晶体厚度增加, 不同理论下的 G 值明显缩小。

图 3 给出了双光束耦合有效增益 G 随入射总光强 I_0 变化的理论曲线。图 3a 是 $m_0 = 10$ 的曲线, 图 3b 是 $m_0 = 1000$ 的情况。图中曲线 1 代表小信号线性调制饱和段理论, G 随 I_0 变化关系呈现出一条直线, 说明 G 与 I_0 无关。图中曲线 2 代表只考虑热激发影响的线性调制度中间段理论, G 随 I_0 呈现出截止、增加而到饱和的变化特征。究其根源, 当总光强很弱时, 热激发远大于光激发, 折射率光栅必然很弱, 写入光束间的能量转换效率必然很低。此时, 对应着截止段。随着总光强增加, 当总光强与热激发可比拟时, 导致 G 随 I_0 增加而增加。当总光强大到可以将热激发忽略时, 此时, 能量转换效率不随 I_0 的增加而增大, 此时, 进入饱和段。图中曲线 3 代表大调制度饱和段理论。从中可以看到, G 随 I_0 的变化呈现出一直线。但 G 值比线性调制度饱和段理论 G 值要小很多。这是由于非线性调制度使双光束耦合效率降低。曲线 4 代表大调制度中间段理论。这时, G 值随 I_0 变化关系与曲线 2 的趋势一致。但同一光强下, 曲线 4 所对应 G 值远小于曲线 2 的 G 值。这说明在中间段, 热激发和非线性调制度修正是不容忽视的。

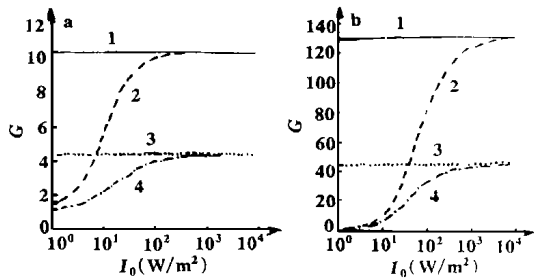


Fig. 3 The dependence of the gain of signal beam on the total incident intensity, $\Gamma_s = 10\text{cm}^{-1}$, $z = 0.5\text{cm}$, $\alpha = 0.5\text{cm}^{-1}$, $a = 3.0$ a— $m_0 = 10$ b— $m_0 = 1000$

在图 2 和图 3 中, 曲线 1 是小信号线性调制饱和段理论曲线, 由 (13) 式计算得到。曲线 2 是小信号线性调制中间段理论, 由 (12) 式计算得到。曲线 3 是大调制度饱和段理论, 由 (8) 式

快轴流 CO₂ 激光器评述

左都罗 李适民

(华中理工大学激光技术与工程研究院, 武汉, 430074)

摘要: 快轴流 CO₂ 激光器是最重要的工业激光器之一。作者对它的发展状况及关键技术, 如气流方式、放电结构和谐振腔稳定性等进行了评述, 希望能对国内快轴流 CO₂ 激光器的发展提供帮助。

关键词: 快轴流 气体放电 谐振腔

Review of fast axial flow CO₂ laser

Zuo Duluo, Li Shimin

(Institute of Laser Technology and Engineering, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: Fast axial flow CO₂ laser is one of the most important industrial lasers. Its developing state and related key technologies such as gas flowing pattern, discharging electrode structure and resonator stability are reviewed in the paper. It is hoped to be helpful for the development of fast axial flow CO₂ laser in the country.

Key words: fast axial flow gas discharge resonator

和(9)式在 $I_s = 0$ 时数值计算结果。曲线 4 是大调制度中间段理论, 由(8)式和(9)式在 $I_s = 10$ 时数值计算结果。

4 结 论

理论分析表明, 热激发和非线性调制度对双光束耦合强度特性影响甚大, 希望引起注意。

参 考 文 献

- 1 Klein M B, Vally G. J A P, 1985; 57: 4901
- 2 Ducharms S, Feinberg J. J O S A, 1986; B3: 283
- 3 Ja Y H. Opt & Quant Electron, 1985; 17: 291
- 4 王 韧, 莫 党. 中山大学学报(自然科学版), 1992; 31(1): 50
- 5 余卫龙, 何穗荣, 汪河洲 et al. 物理学报, 1995; 44(1): 87~ 91
- 6 朱瑞德, 王 韧, 谭建华 et al. 物理学报, 1992; 41(9): 1445
- 7 吉选芒, 安毓英, 刘劲松. 西安电子科技大学学报, 1998; 25(1): 72
- 8 Kwak Ch H, Park S Y, Lee E H. Opt Commun, 1995; 115: 315
- 9 Kukhtarev N V, Markov V B, Odulov S G et al. Ferroelectrics, 1979; 22: 949

作者简介: 王金来, 男, 1957 年 4 月出生。副教授。现从事光折变非线性光学的研究工作。