

LiNbO₃:Fe 晶体的光致声发射现象

黄伟 师华

(北京建筑工程学院物理教研室, 100044)

李正明 吴仲康

(南开大学物理系)

李杰 陈杰伟

(同济大学物理系, 上海 200092)

提要: 本文观察到了 LiNbO₃:Fe 晶体在光致准击穿时的一种声发射现象, 产生的低频声波调制了输入晶体的超高频声信号。其频率随入射光强辐照时间增加而增大, 其周期与同时测量的光生伏特电流、光致折射率变化以及某一点衍射光强的跃变周期相同。文中对比现象作了, 探讨认为它起因于准击穿时跃变空间电荷场的逆压电效应。

关键词: LiNbO₃:Fe 晶体, 光致准击穿, 光致声发射, 光生伏特电流

Light induced acoustic effect in LiNbO₃:Fe crystals

Huang Wei, Shi Hua

(Physics Teaching group, Beijing Architectural and Civil Engineering Institute)

Li Zhenming, Wu Zhongkang

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin)

Li Jie, Chan Jiewei

(Department of Physics, Tongji University)

Abstract: The phenomena of acoustic emission in LN:Fe crystals have been observed during the process of light induced quasi-breakdown. It is found that the super high frequency acoustic signal has been modulated by the low frequency acoustic wave which was introduced into the crystals, the frequency [of which increases with the increasing of intensity of incident light and the period of the breakdown is the same as the jump one of the photovoltaic current and the light induced change of refractive index. It is caused by the strain effect of crystal induced from jumped space charge field.

Key words: LiNbO₃:Fe crystals, light induced quasi-breakdown, light induced acoustic emission, photovoltaic current

一、引言

LN:Fe 晶体是一种典型的全息存储介质, 它的光致损伤已有研究^[1,2]。在一束相干可见

激光辐照下, 会产生自增强衍射光。它的机制可考虑为入射光与其在晶体后表面上的反射光束和由晶体缺陷所致的散射光束的简并四波混频^[3]。自衍射光是上述相关射束对晶体内形成的众多位相光栅的衍射。若相关射束相干形成的一组明暗干涉条纹如图 1(a), 则相应于这一干涉条纹的光致空间电荷密度 ρ_{sc} 、空间电荷场 E_{sc} 、由压电所致的应变 S 以及光致折射率变化 Δn 如图 1(b), 1(c), 1(d) (图中带斜线部分表示收缩区域, 无斜线部分表示膨胀区域)。一般这种空间电荷场可达 10^5 V/cm 数量级^[4]。由此导致一个介质的击穿过程, 俗称准击穿^[5,6]。即沿晶体通光界面上弱电离气体通道的放电。我们发现一束相干可见激光辐照下的 LN:Fe 晶体, 在准击穿时会产生一种声发射现象。它的发射频率随入射光强、辐照时间增加而增大, 它的周期与光生伏特电流、光致折射率变化, 以及某一点自衍射光强的跃变周期相同, 它可以通过输入晶体的超高频声信号探测出来。本文对此现象作了探讨, 认为这种声发射起因于准击穿时的跃变空间电荷场所致的晶体应变效应。

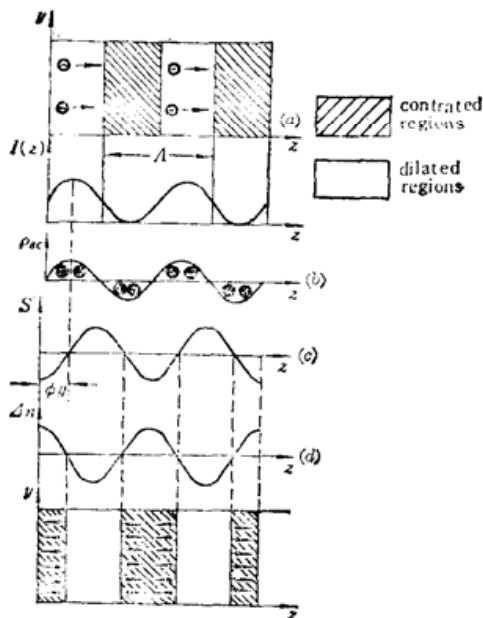


Fig. 1 The light induced space charge intensity $\rho_{sc}(b)$, the space charge field $E_{sc}(d)$, the piezoelectric induced strain $S(c)$ and the change of light refractive $\Delta n(d)$ along two gratings periods. +, - denote the direction of the electric field, Where

$$S \sim E_{sc} \sim \int \rho_{sc} dz, \quad \Delta n \sim -E_{sc}$$

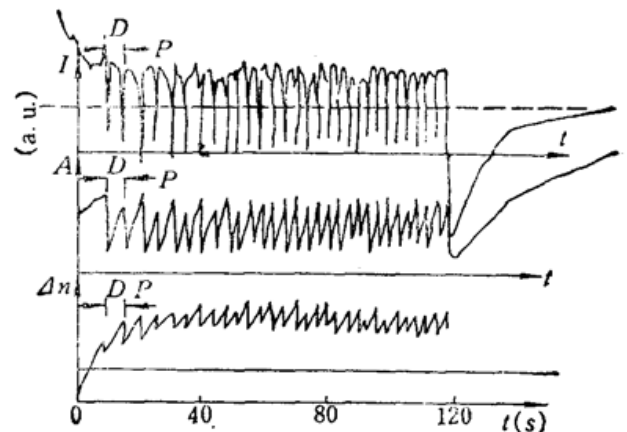


Fig. 2 The curves of the photovoltaic current I , the intensity of the scattering light A and the change of refractive Δn induced by light. Distance DP denotes the period T

二、实 验

所用晶体试样为单畴 LiNbO₃:Fe(0.08 mol % Fe)晶体。通光截面为 x 面, 片状样品厚度为 1 mm, 块状样品 $15 \times 15 \times 15$ mm³。单光束 Ar⁺ 激光波长为: $\lambda = 488.0$ nm, 514.5 nm。

1. 片状试样沿 P_z 方向的光生伏特电流 I , 折射率变化 Δn 以及自衍射光强 A 随时间的变化关系。

单光束 Ar⁺ 激光辐照在片状试样上, 应用光生伏特电流测量法^[7]。测量了沿试样自发极化轴 P_z 的电流强度 I ; 同时应用补偿法^[7], 测量光折变 Δn , 以及某一点的自衍射光强 A 。结果如图 2 所示。

由图 2 知, 光致准击穿时 I 曲线突变下降, 与此同时 $\Delta n, A$ 也突然下落。如规定三者的跃变下落点 D, P 间的时间为一周期 T , 则由图 2 知三者的跃变周期 T 相等。这一关系在较高功率密度辐照下的准击穿过程也适用。光强一定辐照时间增长或光强增大都能导致准击穿的频率增加, 相应的这三者的跃变周期也变短。

2. 块状样品的超声回波与 A 的关系。

激光光束辐射在块状样品上, 应用超声回波法^[8]。测量超声回波, 同时应用某一点的自衍射光强变化 A 来显示光致准击穿, 实验装置如图 3, 得结果如图 4。

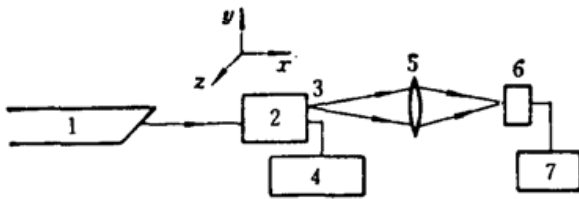


Fig. 3 Experimental set-up

1—argon laser; 2—specimen; 3—transducer; 4—transmitter and the detector of the ultrasonic signal; 5—lens; 6—the detector of light intensity; 7— x - y record. x, y, z three axes of the crystal

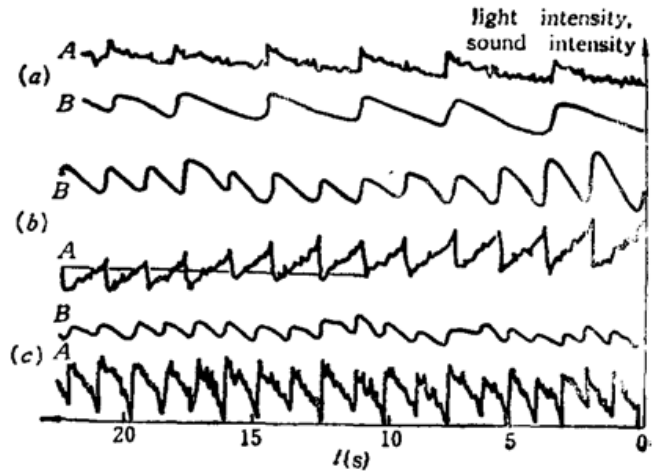


Fig. 4 Argon laser $\lambda=488.0$ nm

(a) $I=2.39$ W/cm²; (b) $I=3.58$ W/cm²;
(c) $I=4.77$ W/cm². A—light signal;
B—sound signal

图 4(a) 表明光致准击穿时, 超声回波被晶体应变所致的低频声波调制, 幅值曲线的突变下降或上升与自衍射光强 A 的下降或上升是同时的。如按上述规定跃变点 D, P 之间为一周期 T , 则由图 4(a) 可知它们彼此相等。光强一定辐照时间增大或光照密度增大, A 的频率增大, 相应的低频声波频率也增大, 二者的频率相同, 如图 4(b), (c)。Ar⁺ 激光的波长对 A 的周期有影响, 同样对低频声波周期也有影响。实验结果表明, 波长 $\lambda=514.5$ nm 时比 $\lambda=488.0$ nm 的跃变周期要长。

三、讨 论

1. 低频声波产生的原因

我们认为它起因于光致准击穿时由跃变空间电荷场所致的晶体应变效应。所谓准击穿, 即空间电荷场产生的一种沿晶体通光界面上弱电离气体通道上的放电现象。由于这种气体通道

似网一样联结了空间电荷场的正负极且并联于测量光生伏特电流的主回路上。因此, 它的放电导致短路。主回路上的 I 突然下降, 同时空间电荷场 E_{sc} 因放电也突然下降, 由此导致 $\Delta n, A$ 的突变下降。当 E_{sc} 降到放电阈值以下时, 放电即停止。这时气体通道断开。光生伏特电流在主回路上流通。 I 曲线快速回升到击穿前的主值。这一现象表明, 准击穿不是体效应^[6]。但是, $\Delta n, A$ 的回升曲线不是这样, 这是因为 $\Delta n, A$ 由 E_{sc} 决定, 一般说 E_{sc} 的增长有一弛豫时间。因此, $\Delta n, A$ 的增长就比较平稳。显然, 由 E_{sc} 决定的压电应变 S , 它将随 E_{sc} 的跃变和平稳回升而变化。这就是晶体低频声波产生的主要原因。另外由于气体放电也会产生一定的热效应, 由此在晶体界面上产生一热脉冲, 部分热量会使晶体受热升温, 导致热应变以及热释电效应。这些也是晶体低频声波产生的一个因素, 不过, 在我们实验条件下它是次要的。

2. 低频声波周期与 $\Delta n, A, I$ 的跃变周期相同。

由上述可知, 这些参数直接受制于 E_{sc} 的跃变周期。因此它们应有相同的周期; 并且它们将随入射光强、辐照时间以及波长的影响而变化。

总之, 本文观察到了光致准击穿时的一种声发射现象。它起因于跃变空间电荷场所致的晶体应变效应; 同时通过对 $I, \Delta n, A$ 的实验研究与分析, 进一步阐明了光致准击穿现象。

参 考 文 献

- 1 吴仲康 *et al.*, 物理学报, **26**(1), 24(1987)
- 2 Wu Zhongkang *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **65**, 4458(1989)
- 3 吴仲康 *et al.*, 物理学报, **36**(9), 1203(1987)
- 4 H. M. 史密斯, 全息记录材料(科学出版社, 1979), 135
- 5 P. A. Augustov *et al.*, *Appl. Phys.*, **18**, 399(1979)
- 6 温金珂 *et al.*, *Appl. Phys.*, **A29**, 195(1982)
- 7 Lines, M. E. *et al.*, Principles and applications of ferroelectric and related materials(Clarendon, Oxford, 1977) 448
- 8 Rohn Truell, Charles Elbaum and Bruceb, Chick, Ultrasonic Methods in Solid State Physics, 53~55

(上接第 59 页)

参 考 文 献

- 1 Harly R. T. *et al.*, *Phys. Rev. B*, **3**, 1365(1971)
- 2 J. Honer *et al.*, *Phys. Stat. Sol. (b)*, **73**, 239(1976)
- 3 王应宗, 陕西师范大学学报, 自然科学版, **3**, 17(1990)
- 4 E. Goovaerts, D. Schoemaker, *Phys. Stat. Sol. (b)*, **88**, 615(1978)
- 5 E. Goovaerts *et al.*, *J. De Physique, C*, **6**, 472(1980)
- 6 J. H. Harding, *J. Phys. C: Solid Stat. Phys.*, **13**, 3505(1980)
- 7 E. Rzepka *et al.*, *Phys Stat. Sol. (b)*, **135**, 149(1986)
- 8 P. W. Tasker, A. M. Stoneman, *J. Phys Chem. Solids*, **38**, 1185(1977)
- 9 W. V. Puymbroeck, D. Schoemaker, *Phys. Rev. B*, **23**, 1670(1991)