

# 光子学若干前沿问题\*

张光寅

(南开大学光子学中心 天津 300071)

**摘要** 在跨世纪时期,光子与物质相互作用的基础研究仍然是光子学发展的重要课题.如下的若干前沿问题值得重视:(1)强光作用下的物理新效应;(2)量子光学新效应——极度减慢光速与巨光学非线性;(3)光子学微结构与光子晶体;(4)光子与生命体的作用效应.

**关键词** 光子学,光子与物质相互作用,极度减慢光速,光子晶体

## SEVERAL FRONTIERS OF PHOTONICS

ZHANG Guang Yin

(Nankai University Photonics Center, Tianjin 300071)

**Abstract** At the turn of the century, fundamental research on the interaction of photon with materials is still an important subject for photonics development. The following frontal problems should be noted: (1) New physical effects under the action of intense light; (2) New effects of quantum optics—ultraslow light speed and giant optical nonlinearity; (3) Photonic microstructures and photonic lattices; (4) The effect of photons on living bodies.

**Key words** photonics, interaction of photon with materials, ultraslow light speed, photonic lattice

光子学是研究光子与物质相互作用及其应用的新兴物理学分支.它的研究成果曾导致了60年代初激光器的重大发明与70年代末的光通信的划时代应用.在进入跨世纪时期,光子与物质的相互作用的基础性探索研究仍然是光子学发展的源头.如下的若干科学前沿问题值得我们重视.

### 1 强光作用下的物理新效应

#### 1.1 台式核聚变激光装置引发氦离子聚变反应产生可观的中子流

最近报道,美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室 T. Ditmire 领导的研究组<sup>[1]</sup>利用一个小的喷嘴,以很高的频率,将氦气喷入一个温度为 -170℃ 的真空室内,使其形成一个个由几千个氦原子聚成的微团;将它们置于一束会聚的台式钛宝石强激光(120 mJ, 38fs 脉宽, 10Hz 重复频率, 820nm 波长)的作用下,由于离化,电子遭受快速的碰撞加热,驱使电子离开微团,产生一强的辐射场,它加速从微团分裂出来的氦离子,使其达到足够高的能量,具有高能量的氦离子通过碰撞产生聚合反应,变成氦原子.研究小组探测到,在聚变反应过程中,每一次激光脉冲作用,能

产生近万个中子.进一步增强这种台式激光聚变装置的性能,可使它成为经济型中子源,可应用于材料科学研究中,特别可应用于研究核聚变反应器中使用的材料,也可用于中子照相术.

#### 1.2 Petawatt 激光装置引发原子核裂变

最近报道,美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室 T. Cowan 及其同事<sup>[2]</sup>使用 Petawatt 激光装置(30J, 0.5ps 脉冲,相当于 0.6PW)首次引发了激光感应核裂变反应.他们将一贴有金箔的铀片置于 Petawatt 的激光光路中(见图1),激光从金原子分离出电子,生成瞬态等离子云;当光穿过等离子区,强电场使电子加速到接近光速,其中一些撞击金原子核,放射出  $\gamma$  射线; $\gamma$  射线与金核碰撞,从少数金核逸出一个中子,使这些核很不稳定,并在数天内衰变为钋;其他的  $\gamma$  射线撞击金箔后面的铀核,使它们分裂成更轻的 Kr 元素与 Ba 元素;还有一些发射出电子及其反物质正电子.这些结果以前仅是在使用大型粒子加速器时才发生.

#### 1.3 强激光冲击下引发物质状态的相变

美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室 G. Collins 和

\* 2000 - 05 - 12 收到初稿,2000 - 06 - 19 修回

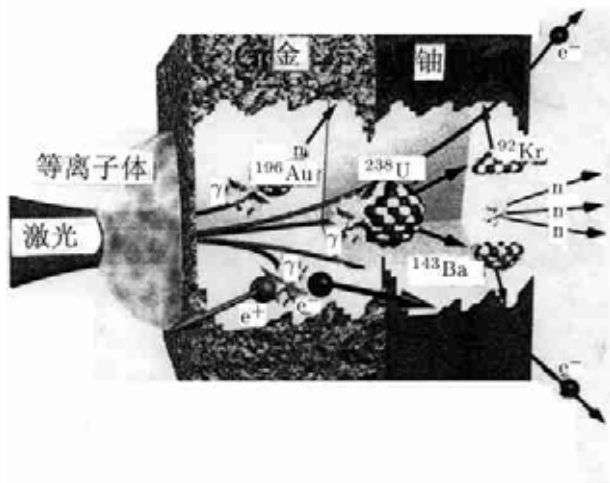


图1 强激光引发原子核裂变

他的同事<sup>[3]</sup>利用 30 TW 的台式激光装置发出的激光作用于镀有铝膜的金刚石,产生冲击波(约百万大气压)的压缩方法使绝缘金刚石变成致密的高温金属化状态.金刚石的金属化状态可能类似于白矮星那样的致密星的核.

这些科学家不久前还利用这种方法使氘从气态转变为金属态<sup>[4]</sup>,并从这个实验提供的数据给出修正的氢状态方程.这对于了解致密物理应用是重要的.

这些实验结果将对天文学家了解天体提供有益的帮助.

#### 1.4 超短脉冲激光快速改变磁性原子取向

布朗大学 A. Nurmikko 研究组<sup>[5]</sup>发现了一种通过皮秒超短激光脉冲的作用快速改变镍铁片层中磁性原子的束缚状态,从而快速改变磁性原子取向的方法.借助超短脉冲激光改变磁性原子的取向,比常规驱动器驱动改变所需的时间快 10 倍以上.这可被用在新一代磁记录存储信息的硬盘上.

上面的一些例子表明,台式强激光装置是研究物理新效应的一种有效的实验工具,同时开拓了光感应核物理效应研究的新方向.

## 2 量子光学新效应——极度减慢光速与巨光学非线性

1999 年初, L. Hau 与合作者<sup>[6]</sup>在 450 nK 的极低温下,将通过钠原子的玻色-爱因斯坦凝聚介质的光脉冲的速度减慢到 17 m/s,比真空中的光速减慢近  $2 \times 10^7$  倍.最近, M. Scully 与合作者<sup>[7]</sup>利用铷

(<sup>87</sup>Rb)原子的相干原子系综,在 360 K 下将脉冲光速减慢到 90 m/s. D. Budker 研究组<sup>[8]</sup>甚至在室温下利用非线性磁光效应,在铷蒸气中将光速减慢至 8 m/s.这些报道引起了人们的极大兴趣.

这些实验结果的获得主要是利用了量子相干原子系综中的电磁感应透明(EIT)效应.当一激光束通过这些实验中的钠云或铷蒸气时,如果激光的频率接近基态的超精细能级之一与它的第一激发态之间的跃迁频率时,通常是激光被吸收[见图 2(a) 中态 |1> 与态 |3> 之间的吸收跃迁].然而,正如在 1991 年即被 S. Harris 及其合作者<sup>[9]</sup>所证明的那样,这时再利用第二束调谐到基态的稍高超精细能级(态 |2>)与同一激发态间的邻近跃迁频率的激光的同时作用时,则探测激光被介质的吸收可大大地减弱.这里,第二束激光称为耦合激光或驱动激光,产生态 |1> 与态 |2> 之间的相干,这种相干转而引起第一束激光(称为探测激光)的光吸收的近完全相消干涉,因而,探测激光束在通过介质时能够被大大地减弱吸收[见图 2(b)],这即是 EIT.在这种情况下,介质的色散有如图 2(c) 所示的关系.在被 EIT 打开的透明窗附近,介质的折射率仍保持接近 1.这对于一单色激光传输的相速度  $c/n$  基本上不变.然而,对于一个光脉冲来说,它包含有一系列不同频率的傅里叶成分,而这些不同频率成分在 EIT 介质中具有不同的相速度,结果使光脉冲的包络以较各种频率成分更慢的群速度行进.这里的群速度反比于探测频率中心附近陡变色散  $n(\omega)$  的斜率.色散愈陡,光脉冲的群速度减慢愈厉害.

Scully 等人和 Budker 等人的实验是在室温与稍高温度下进行的;而 Hau 等人的实验是在极低温下进行.后者的极低温实验条件有助于消除原子的热运动引起的 Doppler 展宽对上述效应的影响,使 EIT 窗口变得很窄,探测频率中心附近的色散十分陡峭,但实验难度很大.前者采用了驱动光束与探测光束共线,并使两者的频率十分接近和采用附加缓冲气体等实验技巧,同样达到了消除 Doppler 展宽的影响作用,使光速极度减慢,实验在室温与稍高温度下进行就比较容易.这是一个很大的实验进展,使这种效应的研究和应用更接近实际.

这种原子系综在探测频率中心处异常色散,同时,伴随有巨光学非线性效应的出现.正如最近 Harris 和 Hau 在工作<sup>[10]</sup>中所证明的,它有可能产生前所未有的单光子水平下的巨光学非线性.这种非线性耦合比通常的大几百万倍,只需使用毫瓦级的

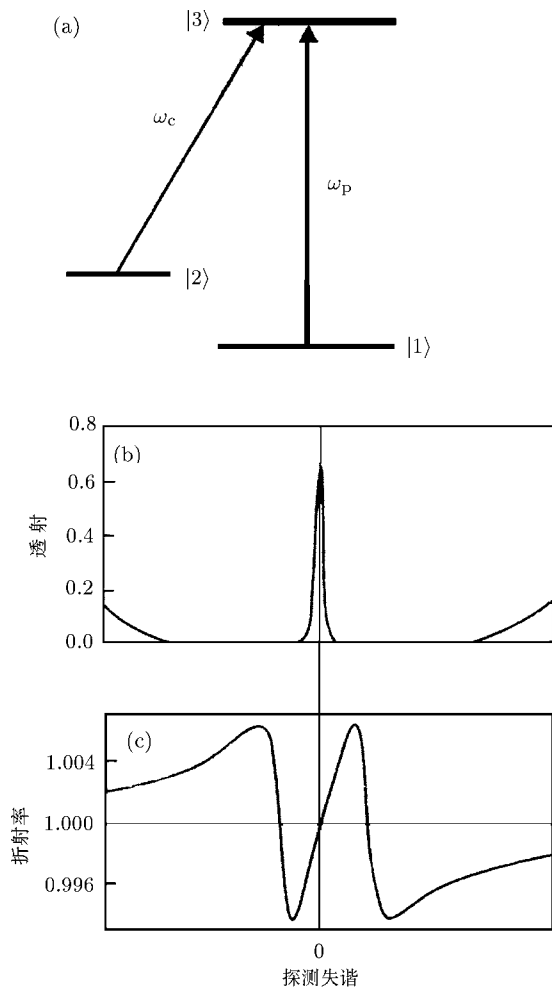


图2 量子相干态与 EIT  
 (a) 量子相干态; (b) 电磁感应透明;  
 (c) 与电磁感应透明窗对应的色散关系

二极管激光就可进行非线性光频率变换。

色散的陡峭性也打开了控制介质光学性质的新途径。例如 Hau 及其合作者证明了一个巨 Kerr 非线性性的例子, 一个激光束上的位相被另一激光束的强度所控制。这可作为全光开关应用的基础。利用色散的陡峭性也可使磁强计的灵敏度大大改进。

此外, 利用光速极度减慢的传递特性, 可以用来制作有效的光学延时器。在 Scully 等人的实验中, 只利用了 2.5cm 的铷蒸气盒, 就使光的传递延迟了 0.26 ms。这相当于光脉冲通过数万米长的光纤后所达到的延迟效果。利用光速极度减慢的传递特性, 可以大大地压缩光脉冲的空间长度。这种光脉冲可应用于玻色-爱因斯坦凝聚介质的探索与操纵。

这种实验可以在各种原子 (Sr, Ce, Pb, Rb 等) 气体中与它们的不同电子态的跃迁上进行。有报道说, 还可以在固体材料  $\text{Pr}^{3+}:\text{YAlO}_3$  中观察到电磁感应

吸收的增强与减弱效应<sup>[11]</sup>。因此, 这方面的研究仅仅是一个开端, 有广阔的发展余地。

### 3 光子学微结构与光子晶体

光子学微结构是指这样的一类光子材料与器件, 它是在均匀的光学材料中, 采用各种人工的方法, 引入折射率的调制与突变, 其调制的周期或突变区的尺度在光波波长尺寸的量级。在这种微结构中, 光的传播或变换的模式发生分立化, 并表现出明显的光的“粒子”性(如遵从能量守恒与准动量守恒的关系)。这样的微结构被称为光子学(或光学)微结构。

光子学微结构与电子学(或半导体)微结构相似, 它既是材料, 又是器件的心脏, 它与半导体相类似, 有量子阱、超晶格、量子线、量子点等微结构形式。所区别的是, 它的微结构尺度在微米量级, 而半导体则在纳米量级; 前者的量子单元为光子, 后者为电子。它们在各自的微结构中都存在有各自的量子限制效应。

光子学微结构的研究实际上早已开始, 但早期的研究工作显得分散, 未引起人们的足够重视, 近年来, 它的研究有了极快的发展, 才引起人们的重视。我国南京大学固体微结构物理国家重点实验室的冯端院士、闵乃本院士<sup>[12]</sup>曾对聚片多畴铁电晶体作为准相位匹配变频材料与器件给予了“光学超晶格”的命名。这类材料与器件是上述定义的光子学微结构中的一种, 是其中很重要的一种。在 80 年代后期, Yablonovitch<sup>[13]</sup>对折射率以光波长尺度周期调制的电介质材料提出了“光子晶体”的新概念。它就是一类重要的光子学微结构。

表 1 列出了已有的或正在研究中的各种光子学微结构与其中出现的新效应和新型光子元器件。图 3 给出了 8 种类型的光子学微结构的示意。

从表 1 和图 3 可以看到, 光子学微结构的种类众多, 比电子微结构还要多样。在每一种微结构中都表现出均匀光学材料未曾有的许多新物理效应, 如微腔中的腔量子电动力学效应<sup>[14]</sup>和光子晶体中的光学带隙效应<sup>[13]</sup>; 同时, 基于这些新效应, 人们已创造出和正在创造出许多新型光子学器件, 如光通信光纤(可称为光量子超导传输线)、掺铒光纤放大器<sup>[15]</sup>和准相位匹配光频变换器<sup>[16]</sup>等, 它们正成为激光技术和光电子技术的重要基础。

表1 各种光子学微结构及其中出现的新效应和新型光子元器件

光子学微结构的种类	折射率调制或突变类型	新物理效应	新型光子元器件
多层介质膜	一维突变型周期调制	增透、增反、分布反馈等	全透膜、高反镜、半透半反镜、分色镜、F-P 标准具、激光谐振腔组件等
相位栅	一维、二维、三维正弦型周期调制	全息记录、二波耦合放大、四波混频、相位共轭、窄带滤波、分光、分布反馈等	全息照片、光放大器、相位共轭器、窄带陷波滤波器、频率稳定器、现场频标、声光光偏转器、声光可调谐滤波器、全息光存储器、全息分光光栅等
光波导(平面、光纤)	二维突变分布	导波、波导约束光学非线性增强效应、波导约束上转换激光增强效应等	长距离光通信光缆、集成光调制器与光开关、光纤换激光增强效应等
光波导 ⊕ 相位栅	二维突变分布 ⊕ 一维正弦型周期调制	同上外,还有窄带滤波、分布反馈、光脉冲展宽或压缩、消色散等	分布式光纤栅传感器、全光纤集成激光器、放大器、全光纤串级拉曼激光器、光纤滤波器、稳频器、光脉冲压缩器等
微腔	一维、二维、三维突变限制	腔量子电动力学效应(自发辐射禁戒或增强)等	零(或低)阈值激光器、垂直腔面发射激光器及其阵列、微盘激光器及阵列、微球腔激光器等
光子晶体	一维、二维、三维线性折射率调制	光学带隙效应、色散修饰、腔量子电动力学效应、光子定域化等	微波、红外、可见波段光子晶体、低损耗微波天线、光子晶体光放大器、窄带滤波器等
周期极化非线性光学晶体(聚片多畴)	一维二阶非线性折射率突变型周期、准周期、复合周期调制	准相位匹配(QPM)频率变换(差频、和频、倍频、OPO)、光脉冲整形(啁啾效应)等	QPM 倍频激光器、QPM 可调谐参量激光器、和频或差频激光器、ps-fs 激光脉冲压缩器等
光感应瞬态折射率突变	纵向瞬态突变限制、横向瞬态突变限制	自相位调制、光自陷、频率啁啾、光感应超连续谱展宽、自克尔透镜效应、纵向光孤子效应、横向光孤子效应等	光孤子激光器、超连续谱激光器、自克尔透镜效应自锁模激光器等

研究与构造各种光子学微结构,实质上是一种折射率工程。这里折射率  $n(r, t, \nu)$  含有空间坐标、时间维度与频率维度的特征,它比电子学微结构的能带工程还要复杂与多样。将光子限制在光子学微结构中,光子与介质的相互作用发生实质性的变化,从而产生均匀介质中所没有的新光学效应。上节中讲到的量子相干效应实质上也是一种折射率  $n(\nu)$  工程或色散工程。

表1中所列的前4种类型的光子学微结构较简单,目前研究已较成熟;后4种则远未达到成熟程

度。特别是光子晶体的研究将是今后若干年内的研究重点,以非线性光学材料和激光材料作为基本介质的光子微结构乃是当今的研究前沿。

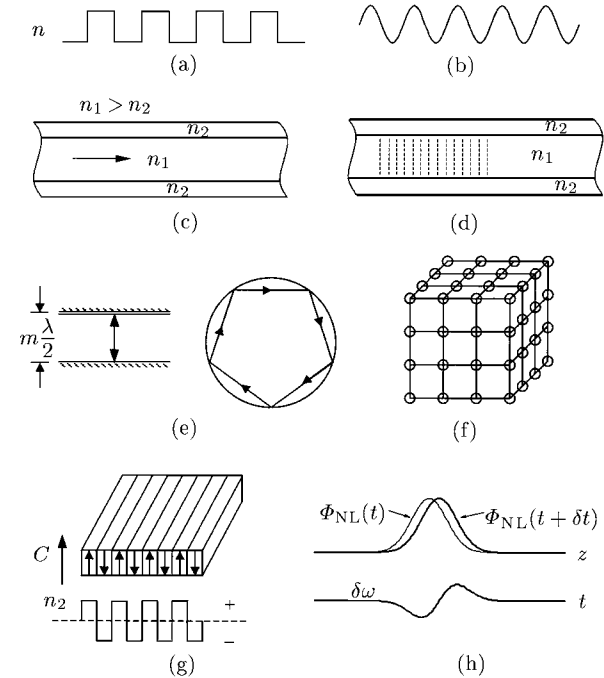


图3 光子学微结构示意图

(a) 多层介质膜:折射率  $n$  一维突变型周期调制;(b) 相位栅:折射率  $n$  一维正弦型周期调制;(c) 光纤波导:纤芯的折射率  $n_1$  大于包层的折射率  $n_2$ ;(d) 光纤波导 ⊕ 相位栅;(e) 微腔(左图为一维微腔,右图为二维微腔);(f) 光子晶体(简立方光子晶体,折射率最大值  $n_{\max}$  与折射率最小值  $n_{\min}$  之比大于 2);(g) 周期极化非线性光学晶体:非线性折射率突变型周期调制(上图为周期极化,下图为一维二阶);(h) 由自相位调制引起光感应瞬态折射率突变(上图为高斯脉冲相移  $\Phi_{NL}$ ,下图为频率啁啾  $\delta\omega$ )

#### 4 光子与生命体的作用效应

地球上的各种生命体自古以来都是在光的海洋中得以生息繁衍,因此,光子学必然与生命科学交叉结合发展。研究光子与生命体的相互作用是两者交叉结合发展的一个纽带。

##### 4.1 光合作用是一个继续研究的重要课题

人们对长波长红光对作物光合作用的促进作用已有较多的了解,这里将只涉及一些新的情况——其他波段的光波辐照对作物生长的作用。

据报道<sup>[17]</sup>,日本滨松光子株式会社 R & D 中心实验室在水稻的水培法生长实验中,使用 30 支 40 W 的红色(680 nm)二极管激光和一支 660 W 的蓝色荧光灯代替通常使用的高压钠光灯,使水稻的生长达到了高效率的光合作用,一年可使水稻收获 5

次,日本北海道农业研究所用同样的方法做了大面积的试种,取得了类似的好效果.这是向水稻栽培工厂化的方向迈出了可喜的一步.

中国科学院长春物理研究所在多年的生态膜的研究中,利用掺有有机共轭化合物荧光助剂的农用膜,可将太阳辐射中的绿光转变成红光,保留了紫外光促进作物中维生素的合成和蔬菜着色的作用.使用这种农用生态膜取得了明显的增产效果,同时提高了蔬菜的品质.以前,俄罗斯西伯利亚科学院利用掺有稀土络合物的农用生态膜,将 310nm 的紫外光转变为红光,增产幅度可达 30%,但因缺少紫外光,果实质量下降,西红柿不红,茄子不紫.最近,哈尔滨工业大学麦特公司将中国科学院长春物理研究所的研究成果开发成生态膜的技术产品,在哈尔滨市 12 个县作了示范实验,获得了比使用传统农用膜平均增产 20% 以上的好效果,番茄最高可增产 40%;还可减少病虫害的发生,提高株壮率和坐果率<sup>[18]</sup>.

上述实验表明,在作物的光合作用中不仅使用与光反应中心对应的红光是必要的,而且使用其他合适波长的光辐射作用也是十分必要的.

#### 4.2 各种波长的光辐射对人体与生态系统的作用

已有研究表明,三种不同波段的紫外光 UV - A (315—400nm 波段)、UV - B(280—315nm 波段)和 UV - C(200—280nm 波段)对人体的作用是不同的.来自太阳辐射中的 UV - C 紫外光由于大气层气溶胶的散射作用,不会达到地表,因而不会造成不良影响.太阳辐射中 UV - B 紫外光可以达到地表,对人体与生态系统造成极大的危害,包括引发和加剧眼病(如白内障)和皮肤癌,并降低人体免疫系统的机能.植物的生理和生化过程也都受到 UV - B 紫外光辐射作用的影响,如使土豆、番茄、甜菜等的质量下降,使海洋浮游生物的存活率降低. UV - A 紫外光则是地表生物所必须的,它可促进人体中固醇类转化成维生素 D,使人振奋精神.

我国已较普遍使用的远红外辐照理疗,其作用机理仍有待于研究.

最近,美国国家研究顾问委员会给美国国会的一份决策咨询报告《驾驭光——21 世纪光学科学与工程》中,在预测了人体疾病(如糖尿病、心血管病和肿瘤等)的无伤害光子学检测技术与仪器产业在今后 5—10 年内将有大的发展趋势后,强调地指出,有必要系统地开展人体基本化学(如血液化学)的无伤害光学检测的应用基础和原理证实研究,弄清人体的生物学过程与物质的光学与光谱特性.

#### 4.3 光对生物钟的调节作用

近年来,国际上几个研究组在研究老鼠、植物和果蝇等的生物钟效应. Ceriani 等人<sup>[19]</sup>的研究表明,在果蝇中一种名为 Cryptochrome 的蛋白质是一个光受体,它通过与其他蛋白质的合作控制生物钟的运行.英国的科学家沃特豪斯在英国的《皇家医学会会刊》(1999 年 8 月 9 日出版)上撰文指出,人体生物钟受到人脑丘脑下部一对受体的调节.可以通过在适当时间见光或避光而加以调节.其关键时刻是在凌晨 4 点钟左右,在其后 6 小时内用手电筒的脉冲光照射人体,生物钟可往前拨快几小时;在其前的 6 小时内照射,生物钟会相应滞后;其他时间内照射,基本不起调节作用.用光来调节生物钟的运行规律,有助于治疗生物钟紊乱引起的疾病,如失眠、时差反应、食欲不振以及老年痴呆症等.

#### 4.4 光感应生物磁效应

许多动物(龙虾、鱼类、青蛙、蝶螈、老鼠等)通过感受地磁场来作长距离的定向迁移.但长期以来人们还不知道这些动物是如何探测到地磁场的.据报道<sup>[20]</sup>,美国印地安那州大学的科学家试验发现,蝶螈体内有两种不同的地磁感受器,一种是含铁磁微粒的感受体;另一种是通过光起作用的感受体(光定向感受体),它位于蝶螈的脑松果体内.含铁磁微粒的感受体可以感受到地磁的强度,从而可以确定离南北极的距离;光感应受体像一个简单的指南针一样,可用来确定地磁场的方向.两者一起起作用,增强了动物的导航能力.

地球上的各种生命体总是在与自然界中存在的光辐射长期自适应的过程中,实现了对光子的有效利用与驾驭.

## 5 结束语

光子与物质的相互作用的研究有着十分广泛的领域,它的研究正方兴未艾.光子学既是一门具有广泛应用价值的科学,又是一门纯粹科学,后一方面的发展将会揭开自然界中许多新的物理规律.这方面的研究愈加深入,研究取得的成果必将更大地拓宽光子学的应用技术领域.

强激光与相干激光为我们提供了探索新物理规律的重要实验工具,并正在开拓出光感核物理效应与量子相干效应的新研究领域.光子学微结构的不断创新为我们控制与增强光子与物质的相互作用提供了新的手段.以光子与生命体的相互作用的研究

究为纽带,光子学与生命科学的交叉结合必将开拓出光辉灿烂的未来.

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Wallace J. *Laser Focus World*, 1999 (6) :24  
[ 2 ] Hogan H. *Photonics Spectra*, 1999(7) :34  
[ 3 ] Sheppard L M. *Photonics Spectra*, 1999(7) :28  
[ 4 ] Wheeler M D. *Photonics Spectra*, 1999(2) :41  
[ 5 ] Ju G, Nurmikko A V. *Phys. Rev. Lett.*, 1999,82:3705  
[ 6 ] Hau L V, Harris S E, Dutton Z *et al.* *Nature*, 1999,397:594  
[ 7 ] Kash M M, Sautenkov V A, Zibrov A S *et al.* *Phys. Rev. Lett.*, 1999,82:5229  
[ 8 ] Budker D, Yashchuk V, Zolotarev M. *Phys. Rev. Lett.*, 1998,81:5788  
[ 9 ] Boller K-J, Imamoglu A, Harris S E. *Phys. Rev. Lett.*, 1991,66:2593  
[ 10 ] Harris S E, Hau L V. *Phys. Rev. Lett.*, 1999,82:4611  
[ 11 ] Yamamoto K, Ichimura K, Gemma N. *Phys. Rev. A*, 1998,58:2460  
[ 12 ] Feng D, Ming N B, Hong J F *et al.* *Appl. Phys. Lett.*, 1980,37:607  
[ 13 ] Yablonovitch E. *Phys. Rev. Lett.*, 1987,58:2059  
[ 14 ] Kleppner D. *Phys. Rev. Lett.*, 1981,47:233  
[ 15 ] Koester C J, Snitzer E. J. *Opt. Soc. Amer.*, 1963,53:515  
[ 16 ] Bosenberg W R, Drobshoff A, Alexander J J *et al.* *Opt. Lett.*, 1996,21:1336  
[ 17 ] Whipple C T. *Photonics Spectra*, 1998(7) :30  
[ 18 ] 好诚. *科学时报*(第 2 版), 1999 年 7 月 28 日[ HAO Cheng. *Science Times*(second page), 1999, July 28(in Chinese) ]  
[ 19 ] Ceriani M F, Darlington T K, Staknis D *et al.* *Science*, 1999,285:553  
[ 20 ] 王贵. *科学时报*(第 5 版), 1999 年 8 月 2 日[ WANG Gui. *Science Times*(fifth page), 1999, August 2(in Chinese) ]

## 快点火与超强激光等离子体相互作用问题\*

常 铁 强

(北京应用物理与计算数学研究所 北京 100088)

**摘 要** “快点火”是近年来提出的激光聚变点火的一种新方式.它的特点是靶丸的压缩和点火分开进行:第一步由通常的多束激光对称辐照靶丸获得高密度;而后由单束超强激光( $I\lambda^2 \approx 10^{18-20} \text{ W}\mu\text{m}^2/\text{cm}^2$ )加热芯部实现点火.和传统的“热斑点火”比较,快点火在压缩方面具有很多优越性:大量节省驱动能量,降低了对驱动均匀性的要求,并且可以达到更高的能量增益.但是超强激光点火却涉及一些非常复杂的问题:在预压缩形成的等离子体中打洞(hole boring);在高密度燃料的边沿产生足够数量的高能量电子(MeV),这些电子的传输加热等.文章简短地讨论这些问题,并研究了几十 kJ 激光能量实现点火的可能性.

**关键词** 快点火,预压缩,超强激光等离子体相互作用

### FAST IGNITION AND ULTRAINTENSE LASER PLASMA INTERACTION

CHANG Tie-Qiang

(*Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088*)

**Abstract** Fast ignition is a recently proposed new scheme for realizing ignition of inertial confinement fusion, in which the compression of an implosive capsule and its ignition proceed separately. First, the fusion pellet is pre-compressed by multiple beam lasers in the conventional way to a high density, then ignition is realized by a single ultraintense laser beam (of  $I\lambda^2 \approx 10^{18-20} \text{ W}\mu\text{m}^2/\text{cm}^2$ ). Fast ignition is superior to traditional ‘hot spot ignition’ in many aspects in the precompression stage; it drastically reduces the energy required for precompression (about ten times), relaxes the requirement of drive uniformity, and is able to reach higher energy gain. However, ignition by ultraintense laser is very complicated. It involves boring a hole in the precompressed plasma, generating intense hot electrons with MeV energy, transporting them in the dense plasma and heating the high-density core to meet ignition conditions. These problems are briefly discussed and the possibility of ignition with laser energy

\* 国家高技术惯性约束聚变主题.国家自然科学基金资助项目(19735002)

2000-01-24 收到初稿,2000-05-31 修回