

随机激光器的理论与研究现状*

王宏 刘劲松[†]

(华中科技大学激光技术国家重点实验室 武汉 430074)

摘要 综述了随机激光器的最新理论与实验进展,对光散射理论、环形腔理论、环形波导理论等各种随机激光理论的内容、应用范围及其差异等进行了重点分析和评述,并介绍了一些随机激光器的重要实验,讨论了随机激光器未来的发展,并描述了随机激光器潜在的应用前景。

关键词 随机激光器,多重散射,局域化

Recent investigation on random lasers in theories and achievements

WANG Hong LIU Jin-Song[†]

(National Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract A detailed summary of random lasers in disordered gain media is presented, including recent experimental and theoretical developments. We lay particular stress on the various theoretical descriptions of random laser light as well as their differences, such as the theory of light scattering, ring optical resonators, ring waveguides and so on. Some important experiments following the development of these theories are also mentioned. Future directions for the development of random lasers are discussed, and potential applications of the ZnO random laser are also described.

Key words random laser, multiple-scattering, localization

1 引言

随机增益介质中激光现象的研究经历了 40 年的历史。1968 年,俄罗斯科学院的 Letokhov 首次计算了随机增益介质中的光学特性,提出了随机增益介质中激光辐射现象^[1]。1994 年, Lawandy 等人^[2]在胶体溶液中发现了激光辐射现象。Wiersma 等人在粉末激光介质制成的半导体随机增益介质中也发现了激光辐射^[3]。在这一领域,美国西北大学的 Cao 等人的研究处于领先水平,他们在 ZnO 半导体随机介质中观察到了受激辐射现象^[4-11],并研究了其光学性质,认为随机介质中的激光现象和光子的局域化密切相关,并用环形腔理论较好地解释了随机介质中的发光特性。人们把这种利用随机介质受激辐射构成的激光器称为随机激光器(random laser)。近几年的研究表明,随机介质中的受激辐射具有深刻

的物理意义和丰富的物理内涵,其特殊的物理机制,以及在光子集成方面潜在的应用,引起了人们的广泛关注。本文综述了近年来随机激光器的最新研究成果,其中包括随机激光产生的机制、随机激光器的发光特性、随机激光器的各种理论、随机激光器研究的未来发展等问题,力图使读者对随机激光器有一个较全面的了解。

2 随机激光的产生和特点

随机激光是由 Lawandy 等人^[2]在有机掺杂胶体溶液荧光实验中首先发现的。实验用 530nm 的脉冲激光器抽运 TiO₂ 微粒和若丹明(一种红色荧光染料)形成的胶体悬浮液,观察液体表面的发射光,当

* 湖北省自然科学基金(批准号 2001ABA003)资助项目

2002-08-30 收到初稿 2002-12-06 修回

[†] 通讯联系人, E-mail: jslu4508@sina.com

抽运光强度超过某个阈值时,发现了线宽很窄的发射峰.进一步的研究表明,这种激光现象和悬浮在液体中的 TiO_2 微粒的散射密切相关.传统激光器包括增益介质和谐振腔,谐振腔通常由几块反射镜组成,能够产生相干反馈.然而,随机激光器没有谐振腔,反馈来自两种可能的机制:一种是光被随机介质与空气的界面部分反射回介质内部,从而形成反馈;另一种是光束在随机介质内形成闭合回路,从而起到类似于谐振腔的反馈作用.对于常规的激光器而言,在工作中要尽可能避免散射,而随机激光器则与此截然相反,它是利用随机介质对光波的多重散射形成激光.所以,这种激光器的物理机制完全不同于常规的激光器,它的这种特殊发光机制使其具有一些独特的发光特性.

2.1 线宽很窄的发射峰

在弱散射条件下,干涉不会影响随机介质中的输运过程,只是由于自发辐射放大(ASE)而形成了线宽较窄的发射谱(图1)^[7].在强散射的条件下,干涉影响光子在介质中的输运过程,辐射光的空间分布、发射谱完全不同于前面的情况.用 355nm(三倍频 Nd:YAG)激光或 266nm(四倍频 Nd:YAG)激光聚焦成圆斑或条状,垂直入射到 ZnO 薄膜表面.当抽运强度较弱时,辐射光呈现出一个较宽的自发辐射谱,当抽运强度超过一定数值(阈值)时,发射谱中出现尖锐的发射峰,其线宽小于 0.3nm,其宽度为阈值以下时薄膜所产生的自发发射峰的 1/30.当抽运强度进一步增加时,将有更多、更窄的分离尖峰出现(图2).这些尖峰由介质中形成的环形腔产生,环形腔的谐振频率是不同的,所以产生分离的发射峰^[8].

2.2 输出的随机性

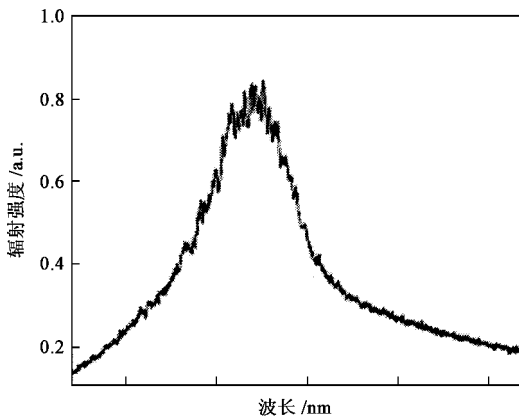


图1 光的自发发射谱

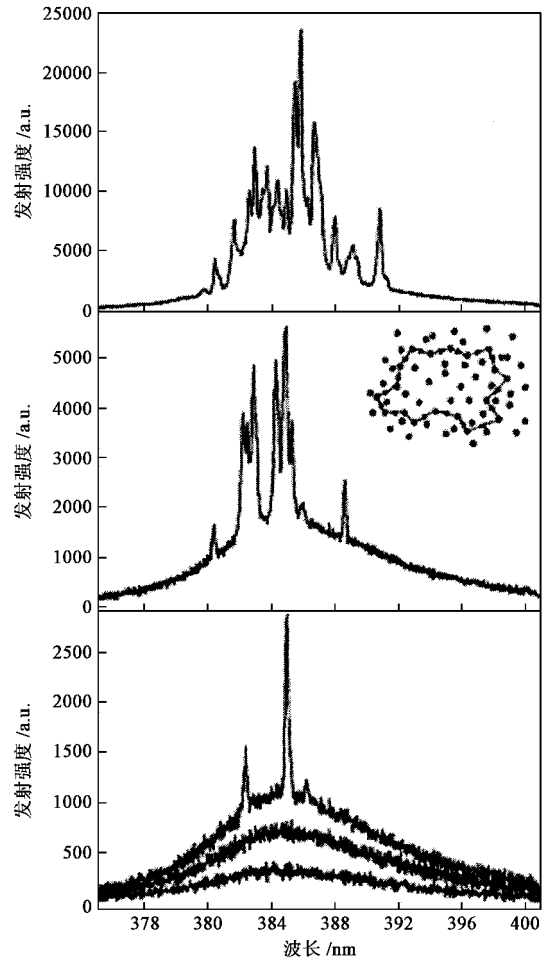


图2 不同抽运强度下的辐射谱
(抽运强度从下至上分别为 400 562 673 857 1387kW/cm²)

由于介质的随机性,随机激光器的阈值、激光的出射方向、激光在介质中的空间分布、频率等都是随机分布的.图3显示二维随机介质辐射光光谱和空间分布.在抽运光较弱时,出现线宽为 12nm 的自发发射谱,辐射强度在介质内部是均匀分布的.当增加抽运光强度时,线宽为 0.2nm 的尖锐峰出现在发射谱中,介质中出现了不均匀的辐射强度分布,这在实验中表现为随机分布的小亮点,小亮点的尺寸为 0.3—0.7 μm .小亮点在薄膜中随机地分布在介质平面内,在体材料中则随机分布在介质内部.改变抽运光强度和介质散射微粒的密度,小亮点在介质中的分布和位置发生变化.根据 Cao 等人的环形腔理论,这些亮点是由随机介质中某些位置的环形腔产生的,介质中的亮点说明了环形腔的形状和位置^[9].

图4显示 ZnO 薄膜表面不同角度的辐射光光谱^[3].常规激光器的输出光具有一定的方向性,其光束发散角很小,而随机激光器在各个方向都有激

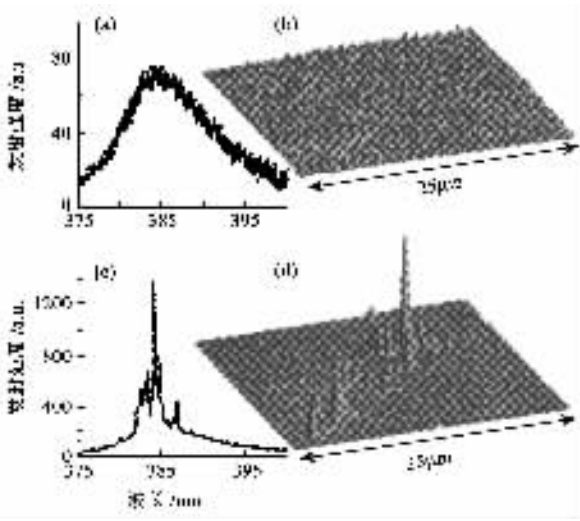


图3 辐射光的光谱和空间分布

[(a)和(c)为 ZnO 薄膜的发射谱 (b)和(d)为 ZnO 薄膜辐射光的空间分布 (a)和(b)的抽运强度为 5.2nJ (c)和(d)的抽运强度为 12.5nJ]

光输出 不同角度上的辐射光谱是不同的. 这一特性和随机激光器中的环形腔的特性和分布有关. 随机介质中的环形腔随机分布在介质中, 每个环形腔的频率、位置、发光方向等都是不同的. 实验中观察到的发射谱是一部分环形腔共同作用的结果, 由于环形腔是随机分布在介质中的, 不同方向观测的输出光是不同环形腔作用的结果, 所以 随机激光器在不同的方向都有激光输出, 但光的性质不同^[5].

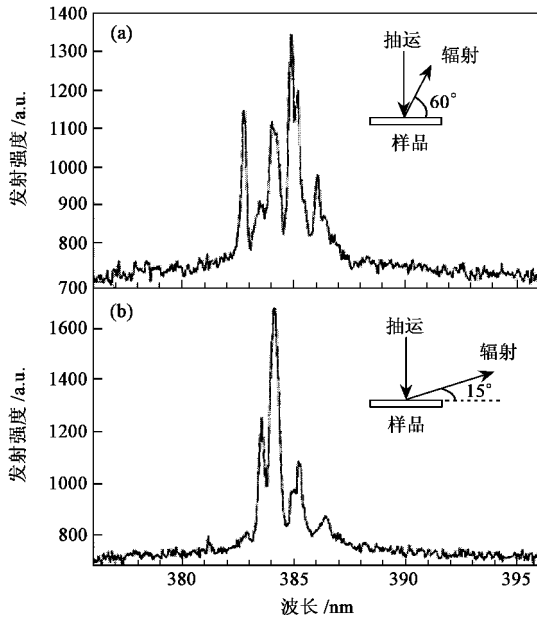


图4 不同方向的辐射谱

(a)入射角为 60° (b)入射角为 15°

2.3 临界体积

不同的抽运面积, 辐射光的光谱是不同的(见图 5)^[8]. 当激发面积小于临界面积时, 随机介质中没有激光输出, 这说明存在临界值. 根据随机激光理论, 对于三维粉末薄层随机介质, 存在最小临界体积 $V \sim (l_g)^3$ ^[17], l_g 是散射平均自由程, l_g 是增益长度. 这一特性和光波随机散射的损耗和增益有关. 在随机介质中, 光波通过边界的损耗线性依赖于介质的表面面积, 而增益线性依赖于介质的体积, 因此, 增益大于损耗时存在一个临界体积, 当激发辐射体积小于此值时, 环形腔中光程太短, 其光放大不足以抵消损耗.

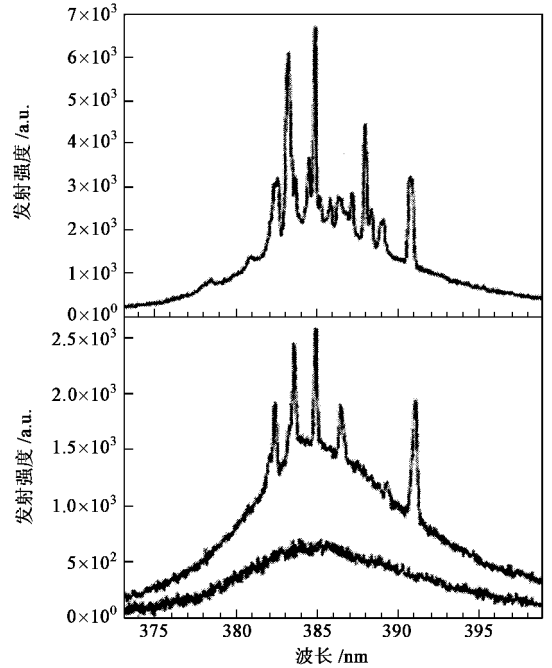


图5 不同抽运面积的辐射谱

(从下至上分别为 980, 1350, 1870 μm²)

3 随机介质中受激辐射的物理机制

随机介质中受激辐射和光子的安德森(Ander-son)局域化密切相关. 随机介质中存在三种输运过程: 散射过程、弱局域化过程、强局域化过程. 当散射和增益很弱时, 散射平均自由程大于光波波长, 散射的作用很小, 散射形成一般的漫射过程, 不改变自发辐射发射谱的性质. 当散射和增益较强时, 散射影响发射谱的性质. 由于多次散射, 光波在介质中将行走一个长的随机路线, 而且增益系数是频率的函数, 对于不同频率的光波, 其增益系数是不同的, 增益系数最大的频率获得最大的放大, 这样, 在发射谱

中形成尖锐发射峰(如图1),这被称为自发辐射放大(ASE).当进一步增强散射强度,散射平均自由程等于或小于光的波长时,光子不再像台球弹子那样通过任意方向来回反射传播,而是由于光子的波动性,发生强烈干涉效应,出现光子的局域化现象.在非增益随机介质中通过增加散射介质的浓度,缩短散射自由程,可以形成弱局域化现象.已经发现在强散射介质中,光的路径形成封闭环(见图6),这些环能提供相干反馈^[8].

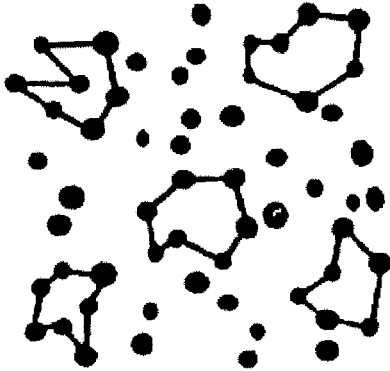


图6 无序介质中的安德森局域化示意

Cao 等人进行了一系列的随机介质光学实验,为随机介质中受激辐射的局域化理论提供了证据,并用这个理论较好地解释了随机激光器谐振腔的机制和特性^[5,8].这个理论认为,强散射、高增益是随机激光器形成的必要条件.随机激光器的物理机制是安德森(Anderson)局域化.强散射是局域化形成的必要条件,介质增益有助于光子的局域化.在强散射增益介质中,光子通过多次散射有可能形成一个闭合回路或闭合环,这些闭合环类似于一个环形谐振腔,可以提供相干反馈.在随机介质中形成的“颗粒状”发光区域,事实上就是光在谐振腔中多次散射相干叠加的结果.随机介质中可形成许多这样的闭合环,他们起到光腔作用,并具有不同的损耗^[14].当抽运光强度增加时,低损环形腔中的增益首先超过损耗,从而产生激光振荡,振荡频率由腔的共振频率决定.此时,随机介质中出现少数的激光振荡纵模;当抽运光强继续增加时,高损耗环形腔的增益也超过损耗,从而出现多个振荡纵模. Cao 等人把由自发辐射放大形成的激光器称为无反馈随机激光器,把利用随机介质中多重散射效应形成的环型腔来提供相干反馈所形成的激光器称为相干反馈随机激光器^[11].

4 随机激光器的研究进展

4.1 随机激光器的实现和随机介质光学特性的测量和研究

早期随机激光器的研究成果主要是在 ZnO 随机介质中取得的. ZnO 微粒是理想的强散射、高增益随机材料, Cao 等人在这种介质中,实现了相干反馈随机激光器.实验测量了包括光谱特性、空间分布、输出特性、阈值特性等随机激光器的光学性质^[5].

4.2 两种随机激光器的研究和分析

Cao 等人区分了两类随机激光器:无反馈随机激光器和相干反馈随机激光器,这对随机激光器的研究是很有意义的.无反馈激光器的机理是增益介质中自发辐射放大(ASE),这种激光器的输出光严格讲不是激光,只能是一种类激光现象.相干反馈激光器的机理是随机增益介质的安德森局域化,人们一般所指的随机激光器是指相干反馈随机激光器.早期随机介质的实验是不能区分这两种激光器的,实验观察到的大多是无反馈激光器的发射谱,因此很多人对随机激光器的存在表示怀疑,认为随机介质中的辐射光不是激光. Cao 等人在实验中实现了相干反馈激光器,并将这两种激光器区分开来,使人们清楚地认识到随机激光器的存在.这一结果来自以下几方面的实验:首先, Cao 等人研究了相干反馈的影响,证明了随机介质相干反馈的存在^[12],这反映了随机介质中环形腔的作用.其次,实验研究了自发辐射放大到相干反馈的演化过程,实验通过改变随机介质中散射微粒的密度,实现了自发辐射放大到相干反馈的演化过程,实验结果显示了两种激光器产生条件和发射谱的区别,将两种激光器区别开来^[7].最后, Cao 等人研究了相干反馈激光器的光子数分布规律,证明光子数分布符合泊松(Poisson)分布,这为相干反馈随机激光器的存在提供了直接的证据^[10].

4.3 随机介质光学特性和介质结构的关系

随机激光器的光学特性和介质的结构密切相关,这是随机激光器研究的关键问题.目前,这一问题主要讨论了介质中散射微粒的密度和随机激光器光学特性的关系. Cao 等人用掺有 ZnO(大小 100nm)或 TiO₂(大小 400nm)微粒的若丹明溶液制成的随机介质,研究了散射自由程和阈值、输出模式数的关系.有机随机介质的优点是介质的增益和散射是分开的,能够分别通过改变散射粒子的密度和若丹明溶液的浓度改变散射和增益强弱,观察随机

激光器的形成过程,这是随机激光器实验研究的主要方法。

5 随机激光理论

目前,随机激光理论主要研究激光在随机介质中的传播特性,涉及激光的形成机制和产生条件,以及激光输出的时域、频域特性等,主要包括三个基本理论:随机增益介质光散射理论、环形腔理论、环形波导理论。

5.1 随机增益介质光散射理论

这一理论的基本方程是包含增益项的光扩散方程^[3,16],其方程如下:

$$\frac{\partial \phi(r, t)}{\partial t} = D \nabla^2 \phi(r, t) + \frac{2c}{l_g} \phi(r, t), \quad (1)$$

其中 ϕ 是光子密度, $D = cl/3$ 是扩散常数, l 是平均自由程, c 是光速, l_g 是介质的增益长度。这个理论研究了增益和多重散射对介质中光传输的影响,本质上解释了增益介质中自发辐射放大现象(ASE),对无相干反馈的激光现象有较好的解释,可以解释包括临界体积、阈值等很多随机介质中的光学特性。但这个理论是有条件的,它适合解释那些散射微粒的尺寸和平均自由程远大于光波长的弱散射介质。这是由于这一理论忽略了光波的波动性,只考虑了光子数的分布,忽略了光子的相位关系,不能反映介质中光波之间的干涉,所以不能解释随机介质中光子的局域化现象。

5.2 环形腔理论

这一理论是由 Cao 等人提出用来研究高增益强散射介质光学特性的,这一理论考虑了介质中光波的相干性。正如前面讨论的,由于光在介质中的干涉,光在介质中是沿着闭环传播的,这些环能提供相干反馈,相当于一个环形腔。介质中随机存在着许多这样的环形腔,介质的辐射光就是这些环形腔输出的叠加。环形腔理论解释了强散射介质中激光的形成机制和发射谱特性,说明了其和自发辐射放大(ASE)光谱的区别。这个理论用环形腔的概念揭示随机激光器的物理机制是很成功的,但这一理论的核心概念(环形腔)是一个用几何光学描述的形象概念,缺乏对环形腔的定量描述。根据环形腔理论,在高增益、强散射随机介质中,由于介质结构的随机性,环形腔在介质中的分布是随机的,每一个环形腔的谐振频率、阈值、发光方向等特性都是随机的,但环形腔理论不能定量地描述这些特性。

最近,这一理论有了进一步的发展,Cao 等人提出了准态模型^[11]。准态是麦克斯韦(Maxwell)方程组在有限介质中电磁波的本征值,其边界条件是介质外部的波不能入射到介质中,介质中的电磁波可以透射到介质外或反射回介质中来,准态之间可以交换光子。准态的频率是一个复数,其虚部表示光子的损耗,产生损耗的原因是透射出介质的光子和准态之间的光子交换。这一理论用准态的耦合和分离以及损耗等概念解释了随机激光器的光谱、阈值等特性。准态模型和环形腔模型基本上是类似的,但准态模型强调了准态之间的耦合并具体说明了激光的损耗,很好地解释了环形腔的阈值特性,是对环形腔理论的补充。尤其是这一理论可以对两种随机激光器有一个统一的解释,具有明显的优点。

环形腔理论主要包括两个理论模型:速率方程理论、偶极振荡理论。

5.2.1 速率方程理论

其基本模型是将四能级粒子数方程与半经典的激光理论相结合,分析随机激光器的时域和频域问题。其基本辐射方程如下^[9,13,18]:

$$\nabla \times E(x, t) = -\frac{\partial B(x, t)}{\partial t}, \quad (2)$$

$$\nabla \times H(x, t) = \varepsilon \frac{\partial E(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial P(x, t)}{\partial t}, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 P(x, t)}{dt^2} + \Delta \omega_a \frac{dP(x, t)}{dt} + \omega_a^2 P(x, t) \\ = \frac{\gamma_r}{\gamma_c} \frac{e^2}{m} \Delta N(x, t) E(x, t), \end{aligned} \quad (4)$$

其中(2)(3)式是麦克斯韦方程, $B = \mu H$, $P(x, t)$ 是极化密度,通过 $P(x, t)$ 将增益引入模型中, $P(x, t)$ 满足经典偶极子在外电场中的阻尼振荡辐射方程(4), $\omega_a = (E_2 - E_1)/\hbar$ 是偶极子的频率, $\Delta \omega_a$ 是原子跃迁光谱的线宽,反映了偶极子的辐射,等式的右端是对偶极子的激励, $\Delta N(x, t) = N_1(x, t) - N_2(x, t)$, $E(x, t)$ 是电场强度。

四能级粒子数速率方程:

$$\frac{dN_3(x, t)}{dt} = P_r N_0(x, t) - \frac{N_3(x, t)}{\tau_{32}}, \quad (5)$$

$$\frac{dN_2(x, t)}{dt} = \frac{N_3(x, t)}{\tau_{32}} + \frac{E(x, t) dP(x, t)}{\hbar \omega_a} - \frac{N_2(x, t)}{\tau_{21}}, \quad (6)$$

$$\frac{dN_1(x, t)}{dt} = \frac{N_2(x, t)}{\tau_{21}} - \frac{E(x, t) dP(x, t)}{\hbar \omega_a} - \frac{N_1(x, t)}{\tau_{10}}, \quad (7)$$

$$\frac{dN_3(x,t)}{dt} = P_r N_0(x,t) - \frac{N_3(x,t)}{\tau_{32}} \quad (8)$$

$N_3(x,t), N_2(x,t), N_1(x,t), N_0(x,t)$ 是能级的粒子数, P_r 是抽运输率. 电子首先由基态 N_0 跃迁到 N_3 , 然后无辐射跃迁到 N_2 态. N_2, N_1 能级又叫做上能级和下能级, 电子由上能级跃迁到下能级产生自发辐射和受激辐射, 最后, 电子由 N_1 能级返回到基态 N_0 . 由于这个模型用 FDTD 方法(时域有限差分法)直接求解麦克斯韦方程, 考虑了介质增益和光波的相位关系, 所以在强散射随机介质中, 方程的解是局域化的. 方程的解显示了输出光模式之间的竞争和饱和现象, 但是, 这个模型没有考虑介质的损耗, 不能说明随机激光器的阈值特性, 目前, 这个模型还有其他几种形式, 是研究随机介质的主要手段.

5.2.2 偶极振荡理论

其基本模型是随机分布的 N 个偶极子, 每个偶极子相当于一个米氏谐振子, 其第 K 个偶极子基本方程为

$$-z^2 P_k = -(\omega_k - ig)P_k + 2\omega_k d_k (d_k E_k), \quad (9)$$

其中 z 是一个复频率, 表示介质的共同本征态, P_k 是极化强度, d_k 是跃迁偶极矩, g 是增益, ω_k 是谐振频率, E_k 是其他的偶极子产生的电场强度的叠加. 方程的解是 $z = \omega + i\gamma$, 虚部代表损耗, γ 是衰减率, 当 g 为零时, γ 大于零, 介质是有损耗的; 但当增益 $g = g^*$ 时, $\gamma = 0$, 某些模的损耗消失, 在介质中产生了激光, g^* 就是激光的阈值, 理论模拟可以得到激光器的阈值和面积的关系. 这个模型根据准态理论考虑了模式之间的耦合和损耗, 解释了随机激光器的阈值, 但没有涉及介质中环形腔的特性^[14].

5.3 环形波导理论

这个理论对 Cao 等人的环形腔理论提出了质疑, 认为用随机介质中的散射微粒的随机散射形成环形腔几率很小. 这是因为光子在环形腔的散射有很高的损耗, 在随机介质中形成环形腔要求随机介质具有很高的增益, 而环形波导的形成不需要强散射. 高增益的随机介质, 在弱散射介质中也可以形成环形波导. 因此, 在同样的随机介质中, 形成高 Q 值环形波导的几率远大于环形腔的形成几率. 这个理论揭示了环形波导的形成和介质结构特征相互关系: 介质中环形波导的形成和介质的介电常数的涨落密切相关, 改变介质介电常数的涨落可在介质中形成高 Q 值的环形波导. 这个理论对随机介质中的微腔结构和形成条件有了更深刻的阐述, 这从理论上补充了环形腔理论的不足, 使我们对随机介质的

光学特性和结构的关系有了进一步的认识^[19].

6 随机激光器理论研究的发展方向

随机激光器的理论研究发展很快, 研究内容日趋丰富, 研究范围逐渐拓展, 形成了一些新的研究方向.

6.1 随机激光器的量子光学探讨

在这一方面, Cao 等人研究了随机激光器的光子数分布. 实验结果显示当逐渐减少散射自由程时, 随机介质中出现受激辐射, 辐射光的光子数分布发生很大的变化. 当抽运功率低于阈值时, 随机介质中没有相干反馈, 发射谱较宽, 光子数呈现玻色-爱因斯坦分布; 当抽运强度高于阈值时, 发射谱变窄, 出现了尖锐的发射峰, 其宽度变为阈值前的 $1/50$, 光子数的分布呈现泊松分布, 也就是说, 当入射光超过某个阈值时, 随机介质中的光子数分布出现了从阈值下的玻色-爱因斯坦分布向泊松分布的变化. 这说明随机介质中形成了强的相干反馈, 产生强烈的受激辐射^[10].

6.2 随机激光器动力学特性的研究

以往的研究集中在随机激光器的阈值特性、输出光谱等问题, 很少关心随机激光器的动力学特性. 和其他的微腔激光器的特性一样, 随机激光器具有低阈值的特性, 这是一些应用领域关注的焦点, 但是, 在另外一些应用领域特别是通信领域, 人们更关心随机激光器的反应时间. 这一研究方向的实验研究结果显示, 随机激光器的开关时间小于 100ps , 高于阈值时, 可以产生很窄的发射峰^[20].

6.3 随机激光器的光传输理论

随机激光特殊的产生机制, 决定了其特殊的传输性质, 环形腔分布、输出特性(频率, 输出方向, 阈值, 增益等)的随机性集中反映了这种性质. 目前随机激光理论缺乏对随机性的定量描述, 只是在模拟时用一个随机变量来表示介质的随机性, 这显得过于简单, 这些缺点是随机激光理论亟待解决的问题.

7 随机激光器的应用前景

随机激光器是直径只有微米量级的微腔激光器. 正如欧洲实验室的 Wiersma 教授在著名的 Science 杂志上对 ZnO 随机激光器所做的专题评论中叙述的那样^[17]: “这种微小的尺寸敲开了许多应用大门”. 随机激光器作为一种新颖的微型激光器,

它可以嵌入到光子晶体中作为其光源;可以将其散布到流体中,用以测量流场的分布;可以作为平面光显示器中的光源.从随机激光器的目前发展来看,随机激光器最有发展潜力的应用是制造 ZnO 紫外激光器,这种激光器已可以在实验室制造^[21,22],这为 ZnO 紫外激光器的研究开辟了一个新的途径.目前的半导体激光器都是用单晶膜制备的,制备工艺复杂、昂贵,而且对衬底要求较高,衬底的限制和昂贵的制备费用极大的阻碍了半导体激光器的应用. ZnO 随机激光器在这方面具有极大的优势,显示了很强的竞争力.

参 考 文 献

[1] Letokhov V S. Sov. Phys. JETP, 1968, 26 835
 [2] Lawandy N M, SsIschandrnan R M, Lgomes A S *et al.* Nature, 1994, 388 436
 [3] Wiersma D S, Lagendijk A. Phys. Rev. E, 1996, 54 4256
 [4] Cao H, Zhao Y G, Ong H C *et al.* Appl. Phys. Lett., 1998, 73 3656
 [5] Cao H, Zhao Y G, Ong H C *et al.* Phys. Rev. B, 1999, 59 : 15107
 [6] Cao H, Xu J Y, Seelig E W *et al.* Appl. Phys. Lett., 2000, 76 2997

[7] Cao H, Xu J Y, Chang S H *et al.* Phys. Rev., 2000 61 : 1985
 [8] Cao H, Zhao Y G, Ho S T *et al.* Phys. Rev. Lett., 1999, 82 2278
 [9] Cao H, Xu J Y, Hang D Z *et al.* Phys. Rev. Lett., 2000, 84 5584
 [10] Cao H, Ling Y, Xu J Y *et al.* Phys. Rev. Lett., 2001, 86 : 4524
 [11] Ling Y, Cao H, Burin A L *et al.* Phys. Rev. A, 2001, 64 : 063808
 [12] Cao H, Zhao Y G. Appl. Phys. Lett., 1999, 73 : 1213
 [13] Jiang Xunya, Soukoulis C M. Phys. Rev. Lett., 2000, 85 70
 [14] Burin A L, Ratner M A, Cao H *et al.* Phys. Rev. Lett., 2001, 87 215503
 [15] Burin A L, Ratner M A, Cao H *et al.* Phys. Rev. Lett., 2002, 88 093904
 [16] Zhang Z Q. Phys. Rev. B, 1995, 52 7690
 [17] Wiersma Diederik. Nature 2000, 406 : 132
 [18] Soukoulis C M, Jiang Xunya, Xu J Y *et al.* Phys. Rev. B, 2002 65 041103
 [19] Apalkom V M, Raikh M E, Shapiro B. Phys. Rev. Lett., 2002 89 016802
 [20] Soukoulis C M, Jiang Xunya, Xu J Y *et al.* Phys. Rev. B, 2002 65 041103
 [21] Thareja R K, Mitra A. Appl. Phys. B 2000 71 181
 [22] Cao H, Zhong Y G *et al.* Appl. Phys. Lett., 1998, 73 3656

· 物理新闻与动态 ·

纪念劳厄发现 X 射线衍射 90 周年学术报告会简讯

2002 年是劳厄(Max Von Laue)发现晶体 X 射线衍射 90 周年. 劳厄的这一发现是 20 世纪物理学的一件意义深远的大事, 使物理学中关于物质结构和研究领域从宏观进入微观, 从经典过渡到现代, 发生了质的飞跃. 同时, X 射线衍射的发现和研究对生物、材料科学和化学的发展起到了巨大的推动作用. 中国物理学会和中国晶体学会为纪念劳厄发现 X 射线衍射 90 周年, 由中国科学院物理研究所于 2002 年 12 月 10 日召开了学术报告会, 会议邀请了部分院士、专家和广大同行, 就 X 射线衍射的发现、发展历程, 最新进展和研究展望以及在相关领域的应用进行了广泛的学术交流和讨论. 会议由张泽院士主持.

北京大学唐有祺院士回顾了自己早年与 X 射线衍射研究领域的先驱劳厄、小布拉格等科学家的一些交往和他们的一些研究成果. 中国科学院物理研究所郭可信院士作了“ X 射线衍射的发明 ”的报告, 介绍了劳厄发现 X 射线衍射的过程以及这个重要发现的背景和对我们的启示, 报告中还特别指出发明与发现的区别. 南京大学冯端院士作了题为“ 晶体 X 射线衍射——劳厄和厄瓦尔德的遗产 ”的报告, 回顾了 X 射线衍射理论的诞生和发展, 包括运动学理论和动力学理论, 以及这些理论的应用. 中国科学院高能研究所洗鼎昌院士作了题为“ 结构基因组——物理学与生命科学的交叉热点 ”的报告, 介绍了四位对生命科学有重要影响的物理学家, 同时也是学科交叉领域研究先驱, 还介绍了最近同步辐射光源在结构分析中一些最新进展. 中国科学院物理研究所范海福院士作了“ 衍射分析与相位问题 ”的报告, 介绍了历史上在衍射分析方面作出贡献的诺贝尔奖获得者以及他们的贡献, 指出了衍射分析对其他学科发展的推动作用, 还介绍了中国科学院物理研究所多年来在相位问题上所做的工作和取得的成绩. 帕纳克公司(原飞利浦公司分析仪器部)的林凡博士作了题为“ 衍射仪的今天和明天 ”的报告, 介绍了飞利浦公司衍射仪的发展历程, 并展示了新一代衍射仪的各种功能和相应的分析软件.

参加这次报告会的还有章综、李方华、赵忠贤、张殿琳、陈立泉、张泽等院士, 中国科协书记处书记冯长根教授和其他科研人员、研究生共 270 多人.

(中国科学院物理研究所 陈小龙)