

光致聚合物的高密度数字全息存储特性综述*

黄明举 陈仲裕 干福熹

(中国科学院上海光学精密机械研究所 上海 201800)

摘要 文章综述了光致聚合物的高密度数字全息存储特性,可以看到光致聚合物将是高密度数字全息存储最有希望最先获得突破的材料。

关键词 光致聚合物,数字全息存储技术

HIGH DENSITY DIGITAL HOLOGRAPHIC RECORDING CHARACTERISTICS IN PHOTOPOLYMERS

HUANG Ming-Ju CHEN Zhong-Yu GAN Fu-Xi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract The characteristics of high density digital holographic recording in photopolymer films are reviewed. It can be seen that photopolymer are be the most promising material for high density digital holographic recording.

Key words photopolymer, digital holographic storage technique

信息科学的发展,使高密度、高速度、海量存储器的研究成为必然,这也使在存储速率和容量等方面具有极大潜在价值的光学全息技术重新焕发了青春^[1],甚至派生出了一门集信息处理技术、光学技术、电子学技术、材料技术及其他相关技术于一体的新学科——光学全息存储技术^[2]。

高密度全息存储设备迟迟未能商品化的主要原因是应用于高密度全息存储的材料不很理想,如银盐材料有很高的灵敏度,分辨率也较高,但其动态范围有限,衍射效率较低,全息寿命较短,再加上该材料制作的全息图受环境的影响较严重,不利于信息和数据的长时间稳定的保存,所以它几乎不可能成为高密度全息存储的材料。人们近年来在光折变材料,尤其是无机光折变晶体如 LiNbO_3 , BaTiO_3 , SBN 等材料的全息存储方面作了大量较深入的研究工作,但由于这些晶体的生长,通常对掺杂、温度及环境等要求比较严格,很难生成较大尺寸的材料,成本过高,所以短期内也较难市场化。

与这些材料相比,有机光致聚合物材料有许多潜在的优点:如可以通过掺入不同的光敏剂选择工作波长,提高灵敏度;选择单体成分提高衍射效率;增大动态范围,增加存储密度和容量;完全可能不需要湿处理甚至完全不需要后处理;工艺简单,成本低廉等,使人们对它的研究产生了极大的兴趣^[3-5],这

方面 DuPont, Polaroid, Canon, 富士等公司都做了较多的工作,人们对高密度光学全息存储技术最终会因理想的光致聚合物全息材料的出现而获得突破几乎成为共识。

当然,要想实现该种存储器的实用化仍需要做大量的工作,如对材料光致聚合效应机理的完全认识,对材料全息性能的深入了解及优化,光学上对这类材料增感、减缩(体积收缩)、减小各种噪音、增加信噪比、降低误码率等都需要做很多深入细致的工作。这里就近年来人们对有关光致聚合物(光聚物)全息存储特性的报道作一综述。

1 光致聚合物全息存储的机理

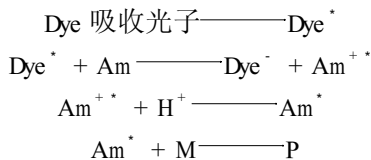
光致聚合物作为全息存储材料是基于其具有光致聚合效应,一般的光致聚合物成分上都包含单体或小分子、引发剂、光敏剂等主要成分,光致聚合效应即在光照情况下,光敏剂吸收相应敏感波长光波的光子,受激发跃迁到较高的能级,弛豫过程中将能量传递给引发剂,使之产生活性种子或自由基,这些活性种子或自由基引发小分子或单体发生聚合,生

* 中国科学院上海光学精密机械研究所知识创新工程新增长点基金资助项目

2001 - 01 - 21 收到初稿,2001 - 04 - 19 修回

成聚合物.显然这种聚合过程与光强有关;全息记录时相干的物光和参考光的干涉使光场中的光强产生了非均匀分布,强度非均匀分布的光场使光聚物材料产生非均匀曝光,则干涉相长的地方光强较强,聚合较多;而干涉相消的地方光强较弱,聚合较少甚至无聚合,因此引起亮、暗区域内单体密度的不均匀,在扩散过程的作用下,随着曝光量的增加或记录的固定过程使单体耗尽.这样,由于聚合区域(亮条纹区)和无聚合区域(暗条纹区)的折射率受到了调制,因此记录了折射率调制的位相型光栅.下面是光聚物光致聚合过程的例子.

以丙烯酰胺和 N,N 二羟乙基二丙烯酰胺作为单体(M),三乙醇胺作为联合引发剂(Am),亚甲基蓝(Dye)作为光引发剂的光聚物系统,其光致聚合过程为



该聚合物可用 514.5nm 波长曝光.

2 光致聚合物的构成

2.1 单体及其常用种类

单体是聚合物的基本单元,它一般在自由基或离子的作用下产生聚合效应,是光聚物体系必需的组成部分,通常带有光聚合性基团,这类基团常见的有丙烯酸基、甲基丙烯酸基、丙烯酰胺基、烯丙基、乙烯基醚基、乙烯基胺基和顺丁烯二酸基等,其中丙烯酸基和丙烯酰胺基较易与其他化合物反应,聚合性质较好,因此使用最多,美国杜邦公司和贝尔实验室等科学家也多采用它们作单体.

只含一种不饱和基团的单体常称为单功能基单体,如丙烯酸、甲基丙烯酸、丙烯酸甲酯、甲基丙烯酸甲酯、丙烯酰胺、甲基丙烯酰胺及其他丙烯酸基、甲基丙烯酸基酯类和丙烯酰胺类等.为了提高材料的物理性能,现在人们常采用一个分子中包含两个以上不饱和基团的多功能性单体,例如多元醇的丙烯酸酯类(如乙二醇二丙烯酸酯、二乙二醇二丙烯酸酯等),氨基甲酯型丙烯酸酯类(改进薄膜弹性及光聚速度),多元羧酸的不饱和酯类(如邻苯二酸二烯丙酯、间苯二酸二烯丙酯等),不饱和酰胺(如 N,N 亚甲基双丙烯酰胺、环乙烷基丙烯酰胺等),具有炔类不饱和基的单体等.

2.2 光敏剂和光聚合引发剂及其常用种类

一般的光聚物单体光照时不敏感,不能直接产生聚合,所以通常要在其中掺入对适当波段比较敏感的光敏剂及光聚合引发剂,这通常是控制光聚物敏感波长或选择适当曝光波长的理想方法,也是光聚物材料在全息应用中优于其他类型材料的地方之一,因此也是该类材料不可或缺的主要成分之一.

常用的光敏聚合引发剂有羰基化合物、偶氮化合物、有机硫化物、氧化还原体系、感光色素类等等,如:安息香、偶氮二异丁、硫醇类、核黄素、花菁类色素等.这些引发剂的敏感波长是不一样的,使用时可进行选择.

2.3 其他聚合物或预聚物

常用的多功能单体单独使用时,通常感度不够,固化也不理想,所以人们常将一些具有成膜性质的高分子化合物与单体混合使用,改进固化性质和感度.这些化合物一般分两类:一类是包含聚合性基团的高分子,称之为预聚物,它们一般在光聚合过程中参与聚合;另一类是不含聚合性基团的高分子,称之为聚合物.原则上所有的高分子都可作为聚合物,只是使用时应注意其本身的性质.而预聚物主要是在主链、侧链或末端引入具有不饱和基的聚合性功能基,主要有环氧树脂类(如环氧丙烯酸酯等),不饱和聚酯类(包括侧链含不饱和基的聚酯、链末含不饱和基的聚酯、聚氨酯、聚乙烯醇、聚酰胺型、聚丙烯酸或顺丁烯二酸共聚体和硅酮树脂型等).

3 光聚物的高密度全息记录特性

3.1 衍射效率

全息图衍射效率的定义为:在全息光栅成像时,有效成像光通量与照射全息光栅的入射光通量之比,用 η 表示.影响衍射效率的因素有材料的化学成分、记录光强及物光和参考光的光强比等等^[6],光聚物典型的衍射效率与记录时间(或曝光量)的关系如图 1 所示.

由图 1 可见, $t < t_s$ 时,衍射效率随时间增加而增加,是材料中单体的聚合过程,即随着曝光量的增加,单体逐渐聚合,浓度在减小,折射率调制度在增加,故衍射效率增加; $t > t_s$ 后单体聚合基本结束,剩下的仅是少数单体,故衍射效率基本稳定,达到饱和.

从化学成分看,单一单功能单体构成的系统其衍射效率一般比多单体(小于 50%)或多功能单体

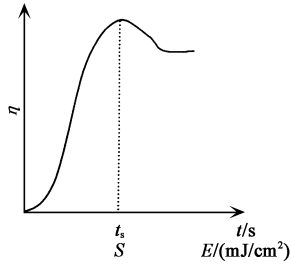


图 1

(大于 70%) 小,如在丙烯酸或丙烯酰胺单体中掺入 N,N'-亚甲基双丙烯酰胺后容易使衍射效率达到 90% 以上.另外,衍射效率还与参物光的光强比及空间频率有关,一般随参物光强比的增加而减小,而对空间频率具有范围限制,即在一定空间频率范围内,衍射效率可以很高(近 100%),而出了这个范围,衍射效率会变得非常小($< 3\%$)^[7],如图 2 所示.

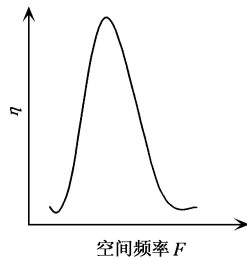


图 2

3.2 感光灵敏度

全息材料的感光灵敏度是指全息材料对入射光的响应灵敏度,其定义为:全息材料具有最大衍射效率时所需要的曝光量(见图 1),符号为 S ,单位是 mJ/cm^2 ;光聚物的灵敏度与其化学成分有密切的关系,我们通常希望材料的灵敏度值越低越好(此时通常说灵敏度高),但不同成分的光聚物其灵敏度差别很大,如表 1 所示.由表 1 可见,光聚物材料的最大

衍射效率均在 70% 以上,因为不同系统所能达到的最大衍射效率不一样,所以单纯的灵敏度意义不大,必须看其最大衍射效率为多大,综合考评才能判断材料的全息性能.

3.3 分辨率

分辨率是指全息材料分辨输入图像细节的本领,定义为全息材料能记录光强调制的最小周期,以每毫米分辨多少线对为指标,单位是线对/mm.一般来讲,记录透射全息光栅要求分辨率达到 3000 线对/mm,记录反射全息光栅,要求分辨率达到 5000 线对/mm.表 1 给出了几种比较优秀的光聚物高密度存储全息材料的上述特性指标.表中除注明参考文献的以外,其他均参考文献[10].

3.4 动态范围

光聚物全息材料的动态范围即材料的最大折射率改变,是指当曝光时间与响应时间相比为足够长时,材料所达到的折射率变化.在多重记录情况下,同一体积中叠加了大量的全息图,随着全息图数量 M 的增加,每个全息图的衍射效率 η 会降低,用耦合波理论可推导出 η 与 M 的平方成反比,即: $\eta \propto 1/M^2$.显然动态范围(即折射率改变)越大,表明全息图光强调制度也越大,每个全息图的衍射效率也愈高,因此引入一个参量 $M^{\#}$ 来表征材料的动态范围特性,使得 $\eta = (M^{\#}/M)^{1/2}$.可以看到,材料的动态范围直接决定了高密度全息存储的衍射效率及材料可达到的最大存储容量.进一步的理论推导可知,动态范围特性参量与材料的写入和擦除特性有关,一般来说^[11], $M^{\#}$ 与曝光时间的关系如图 3 所示,显然,对某种材料要想充分利用其动态范围,必要的曝光时间必不可少.

材料的动态范围归根到底是折射率能达到的最大变化量 Δn ,根据 V.L.Colvin 等人的工作^[12,13],基于厚度约 $500\mu\text{m}$ 的丙烯酸光聚物, Δn 约为 10^{-3} —

表 1

光聚物或其研究者	单体成分	厚度/ μm	响应波长/nm	衍射效率	灵敏度	分辨率
PMMA:DTNB:C ₆₀ ^[8]	PMMA,DTNB,C ₆₀	130	676	—	—	5000
HRF-150(Dupont) ^[9]	—	3—150	350—550	>90	100	3000
HRF-700X(Dupont)	—	10—20	476—532	>99	3—30	—
DMP-128(Polaroid)	丙烯酸,亚甲基双丙烯酰胺等	1—30	442—647	80—95	5—30	5000
Martin 等	丙烯酰胺,亚甲基双丙烯酰胺	150	514	96	50	2000
Weiss 等	丙烯酰胺,亚甲基双丙烯酰胺	70	514	>90	12	2000
Tomlinson 等	丙烯酸混合物	2000	325	70	75	5000

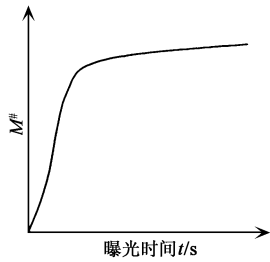


图 3

10^{-2} 的数量级. Kelvin^[14]等人的工作表明, $38\mu\text{m}$ 厚的杜邦 HRF-150 的 Δn 为 10^{-3} 的数量级, 比传统的高密度全息材料光折变晶体 LiNbO_3 要高 1—2 个数量级, 这也是光聚物优于 LiNbO_3 晶体的一个重要原因. 当然, 从这些工作中也可看出材料的厚度是决定其动态范围的主要因素之一, 文献[12]报道了光聚物材料厚度与 $M^\#$ 的关系以及光聚物单体浓度与 $M^\#$ 的关系都是线性关系.

3.5 信噪比和误码率

高密度数字全息存储是用二值化图像来表示数字数据的, 图像中的“1”和“0”分别表示组页像元中的暗态与亮态. 数据的读出过程是通过数据页全息再现, 探测器和判决电路将再现图像中每个像元的光强和标准强度做对比, 若探测光强大于标准光强, 则定义为“1”, 反之定义为“0”, 这样即可重构出二进制的数字流.

信噪比 SNR 是信号强度与噪声强度的比值, 在 高密度数字全息存储中, 当“1”(亮像元)和“0”(暗像元)光强标准差 σ_1 和 σ_0 近似相等时, 其定义表达式为

$$\text{SNR} = (I_1 - I_0) / (\sigma_1 + \sigma_0),$$

式中 I_1 和 I_0 分别是全息存储读出时探测器二值化再现图像中“1”(亮像元)和“0”(暗像元)的平均光强; 光聚物高密度全息存储的噪声种类很多, 其中有材料自身的因素、记录方法的因素、探测方法的因素等等, 人们对这方面的研究与光折变晶体相比还显得不足.

信息存储的质量最终要由其保真度来衡量. 二值化的数字全息存储是由全息数据页再现时的误码率来表征, 误码率 (BER) 是数据页再现时探测器判决电路每比特位数据错判的几率, 即将“0”判为“1”及将“1”判为“0”的几率和. 从现有的工作^[15]来看, 光聚物高密度数字全息存储的误码率是比较低的. 目前的数字信息处理系统允许的最大误码率一般是

5×10^{-3} , 而这些工作表明光聚物作为存储材料的高密度数字全息存储的误码率一般在 $10^{-4} - 10^{-8}$ 之间, 很容易实现 10^{-6} 级的误码率, 显然远低于允许的上限.

4 光聚物全息存储稳定性特点及曝光方案

对于存储材料来说, 信息存储的稳定性是一个很重要的问题, 光聚物有机材料的全息稳定性与许多因素, 如化学成分、记录条件和存放条件等均有较大的关系, 一般实验上检测全息稳定性的特点即为测量各种条件下全息图的衍射效率是如何变化的.

4.1 记录及处理方式对稳定性的影响

前面已经提到光聚物的全息记录是靠材料中单体的聚合实现的, 而单体的聚合又是靠光来完成的, 因此其全息图像的形成与记录过程密不可分. 一般情况下, 记录达到饱和衍射效率后, 材料中的单体还未能完全用尽, 剩余的单体会发生暗反应而影响全息图的稳定性, 暗反应是在记录结束后, 材料中位于暗区的单体向位于亮区的聚合物扩散(因为记录在亮暗区形成了单体浓度的梯度)而继续聚合. 为了解决这个问题, 通常用过曝光的方法, 即在曝光结束后用紫外光或汞灯均匀照射以完全耗尽材料中剩余的单体, 使全息图实现稳定, 但这种做法往往会使全息图的衍射效率稍有下降. 1995 年, Ull-Sock Rhee^[9]等人对杜邦公司 HRF-150-38 光聚物材料作的实验结果, 较详细地说明了上述问题, 如图 4 所示.

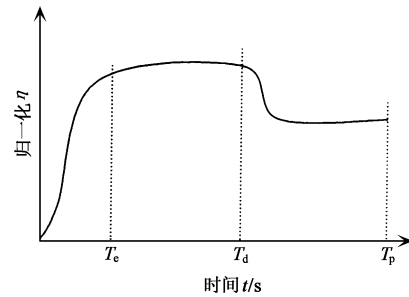


图 4

图 4 中, T_e 是曝光时间, $T_d - T_e$ 是曝光后扩散时间, $T_p - T_d$ 是过曝光时间, 从图中可以看出, 在 $T_d - T_e$ 的扩散时间内, 单体的扩散短时期内会使衍射效率稍有增加, 但之后较长的时期内, 衍射效率又有少许下降, 这也说明了过曝光的必要性.

4.3 存放条件的影响

光聚物全息对存放条件如温度、湿度和光照等

是比较敏感的,这些条件对全息图的影响是多方面的和复杂的,对稳定性的影响主要是光照的影响.文献[9]用同样的方法记录了一些全息图,然后一部分放在暗箱中,另一部分放在室光下,接着每天测一次衍射效率,结果发现放在暗箱中的全息图的衍射效率基本保持不变,而放在室光下的全息图在观察的7天内先是略有增加,后基本稳定,如图5所示.人们预计稳定后会如同前面所描述的曝光量与衍射效率的关系那样,衍射效率可能会有一段时间稍有下降,然后在稍低的水平上趋于稳定.

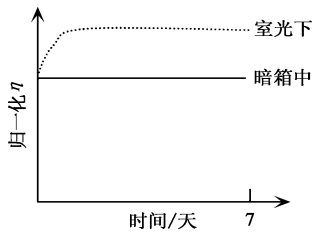


图5

4.3 体积变化对布拉格角度的影响

与其他材料相比,聚合物材料体积容易受影响而发生变化是其在全息应用中一个令人头痛的问题,而引起这种变化的原因又是多种多样的,如记录过程及处理过程的曝光常引起聚合物薄膜在其法线方向(即其厚度)的缩皱(shrinkage),而存放条件如温度也常引起这种变化,只不过这种变化主要影响的是布拉格角度的失配问题,所以在前面没有过多地描述而在此作些总结.

4.3.1 曝光时间对布氏偏移量的影响

曝光使光聚物发生缩皱是该种材料的本征特性之一,只是在不同的配方及成膜过程中其表现程度不一样,一般情况下这种厚度缩皱(或体积变化)在0.5%—5%之间,这种变化对全息记录的直接影响是使其读取全息图时入射参考光的布拉格角度发生了变化,即产生了布氏偏移,严重地影响了全息图的再现质量.

常用公式 $\Delta\phi = \arctg[\text{tg}\phi/(1 \pm \alpha)] - \phi$ 描述厚度相对缩皱对布氏偏移量的关系,其中 $\Delta\phi$ 为布氏偏移量, ϕ 是记录时的布拉格角,而 α 是厚度相对缩皱比,实验上容易发现布氏偏移量与曝光时间的关系,如图6所示^[9].

4.3.2 温度对布氏偏移量的影响

全息光聚物的玻璃化温度一般比较低($T_g < 30^\circ\text{C}$),而体胀系数较大(约100ppm/ $^\circ\text{C}$,线性),因此

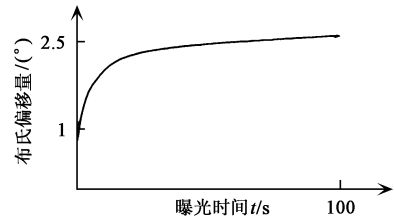


图6

温度的变化定会导致膜厚及折射率的变化,而厚度的变化必然导致布拉格角度的偏移,这种偏移详见文献[16].

4.4 衍射效率的均匀性与曝光方案

与光折变晶体类似,在用各种复用技术实现光聚物的高密度全息存储过程中,各数据页的曝光时间非常重要,它直接确定了每个数据页的曝光量,因而也确定了数据页的衍射效率.对于多重高密度全息存储而言,衍射效率的均匀性是关键.由于光聚物多重全息图的累计衍射效率 $\Sigma\eta$ 与曝光量之间有如图7所示的关系^[2],所以多重全息图按顺序而言,前后数据页在相同的曝光量(实际对于相同的曝光时间)下衍射效率是一定不会相同的,因此要获得相同衍射效率的多重全息存储,必须选择合适的曝光方案.

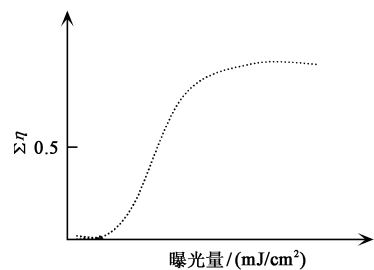


图7

4.4.1 采用预曝光技术的等时曝光方案

1992年,Curtis和Psaltis^[14]根据图7光聚物的曝光特性曲线,用预曝光技术削去了图中曲线前段的非线性部分,在曲线中间的线性部分进行曝光记录而实现等时等效率,曲线后部的非线性部分即被废弃,这样虽然实现了等衍射效率的等时曝光,为记录技术提供了极大的方便,但却损失了相当多的动态范围.从前面的描述可知,这对提高存储密度和容量是非常不利的.

4.4.2 非等时曝光方案^[2]

非等时曝光方案即严格按照图7所示的特性曲

线,经预曝光敏化材料之后计算每张数据页的曝光时间.这种方法是先由图7的曲线开方根后得到光栅强度与曝光量 E 的关系曲线 $\nu-E$,对该曲线做多项式拟合,得 $\nu(E)$ 的一个六级多项式,此多项式对 E 求导得 $S_E = \nu'(E)$ 为光栅强度的增长率,对于给定的 S_E ,可预先确定每个全息光栅的光栅强度,因此若将光聚物的整个动态范围对所有全息图平均分配,即可获得等衍射效率,这样所得的曝光时间序列为 $t_n = \nu_{\text{sat}} / (MS_{E_{n-1}})$,式中 t_n 即第 n 幅全息图的曝光时间, ν_{sat} 是饱和光栅强度, M 是所有全息图的个数, E_{n-1} 是前 $n-1$ 幅全息图的累积曝光能量, I 是曝光强度.该公式表明,在图7的线性区之后材料趋于饱和的非线性区域,全息图的曝光时间会大大增加,这当然也降低了数据写入的速度,因此综合考虑,也许前一种方法也是值得的.

5 总结

从以上的综述可以看到,光致聚合物作为高密度数字全息存储最有希望获得突破的材料已比较广泛地被人们接受,人们对光聚物的全息性能也做了较多的工作,但由于材料自身的组成比较复杂,对其性能影响的因素也非常多,因此要获得性能稳定、存储时间较长、保真度较高、存储密度和容量较大的理

想材料相当困难,所以人们的研究受到了限制,不论是理论还是实验都没有像无机光折变晶体那样被更深入仔细地研究,因此在高密度全息存储器进入市场之前还需要做更多的工作.

参 考 文 献

- [1] 千福熹等编著.数字光盘存储技术.北京:科学出版社,1998 [Gan F X et al. ed. Digital Optical Disk Recording Technique. Beijing: Science Press, 1998 (in Chinese)]
- [2] 陶世荃等编著.光全息存储.北京:北京工业大学出版社,1998 [Tao S Q et al. ed. Optical Holographic Recording. Beijing: Beijing Industrial University Publishing Company, 1998 (in Chinese)]
- [3] Shelby R M, Waldman D A, Ingwall R T. Opt. Lett., 2000, 25 (10): 713
- [4] Pu A, Psaltis D. Appl. Opt., 1996, 35(14): 2389
- [5] Raymond K Kostuk. Appl. Opt., 1999, 38(8): 1357
- [6] Garcia C. Appl. Opt., 1999, 38(26): 5548
- [7] Martin S, Feely C A., Toal V. Appl. Opt., 1997, 36(23): 5757
- [8] Lundquist P M et al. Opt. Lett., 1996, 21(12): 890
- [9] Ulf Sock Rhee m et al. Appl. Opt., 1995, 34(5): 846
- [10] Salvador Blaya et al. Appl. Opt., 1998, 37(32): 7604
- [11] Melinda G Schnoes et al. Opt. Lett., 1999, 24(10): 658
- [12] Colvin V L et al. J. Appl. Phys., 1997, 81(9): 5913
- [13] Lisa Dhar et al. Opt. Lett., 1999, 24(7): 487
- [14] Curtis K, Psaltis D. Appl. Opt., 1992, 31(35): 7425
- [15] Dhar L et al. SPIE, 1998, 3468: 40
- [16] Dhar L et al. Appl. Phys., Lett., 1998, 73(10): 1337

读者和编者

读 者 来 信

《物理》编辑部:

我是上海大学的退休数学教授,一个对量子力学有兴趣而始终弄不懂的门外汉.读了贵刊第5期的“纪念量子论创立100周年专集”后,受益匪浅,很有启发.但是也斗胆提一个小小的意见和建议,仅供参考,不当之处,请不吝批评指正.

贵刊是中国物理学会主办的学术刊物,这一期至少发行几千册,一定影响很大,且向国外发行,因此出版前的印刷校对工作一定要慎之又慎,尽可能不出现知识性、历史性的原则错误,以免误导青年与众学者.我指出几点错误:

(1) P260, $h = 6.625 \times 10^{34}$, 应为 $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J/s, 物理常数应有“量纲”,且 10^{34} 与 10^{-34} 差之千里.普朗克常数几乎是家喻户晓的著名常数.

(2) P261, “1927年”,应为“1926年”,玻恩提出

波函数的统计解释.

(3) P263,在翻译著名理论物理学家盖尔曼的一段话时,有一个意思完全搞反了(一字之差),“尽管有人能理解量子力学”,应为“尽管没有人能理解量子力学”.

(4) P282,在著名的薛定谔方程中, h 应为“ \hbar ”,否则解出的解是错误的波函数.建议贵刊在后续刊物中以显著地方登一则“更正启事”,并且对于像我这样的零售读者,寄一张“勘误表”,这样才是对科学与读者负责的态度.

陶宗英

2001/8/22

编者按 主编和编辑部非常感谢陶宗英教授的来信,陶教授对本刊的关爱让我们十分感动,指出的错误也让我们深感不安.勘误表已在第9期登出,我们希望能经常得到读者的建议、批评和指正,这对办好本刊至为重要.