

# 全息照相与再现的微观机制

杨发成

新疆 克拉玛依市 瑞达中心 834000

e-mail: [yangfacheng2006@163.com](mailto:yangfacheng2006@163.com), [yangfacheng6467@sohu.com](mailto:yangfacheng6467@sohu.com)

**摘要:** 本文从粒子观点出发, 运用惠更斯包络面概念、以及点光源辐射产生球形包络面观点, 以相干性很好的激光作为光源, 对全息照相和全息照相记录的再现进行了全新的理论分析, 从而证明, 光不具有波动性。那些象波动特征的光学现象, 是大量光粒子与实物体之间的一种相互作用, 其结果遵守宏观统计规律。  
[杨发成. 全息照相与再现的微观机制. *Academia Arena* 2010; 2(11):91-95]. (ISSN 1553-992X)

**关键词:** 点光源; 球形包络面; 全息照相; 全息照相再现; 同心圆簇; 杨氏干涉仪群

## 1. 引言

在近代光学理论中, 似乎用光的波动假设已成功发现并解释了全息照相和全息照相记录的再现。菲涅耳 (A. J. Fresnel, 1788-1827) 构想到, 透镜不一定只由玻璃制成, 它可以“画”在透明的薄板上<sup>[1]</sup>; 加伯 (D.Gabor) <sup>[2-3-4-5]</sup> 提出了一种两步光学成像法, 即现代称著全息成像方法。从时间角度看, 似乎是理论预言早于实践, 好象后来的实践证实了先前的预言。但是, 作者仔细分析了菲涅耳和加伯的全息理论和方法, 其中存在着很多问题和不切实际的成份。作者坚信光是一种微观粒子<sup>[6]</sup>, 并充分应用球形包络面概念和杨氏干涉仪<sup>[7]</sup>的工作原理, 获得了更加清晰的理论图像, 反映了客观事物的本质。另外, 近代光学理论中认为杨氏干涉仪是波动说的有力证据, 其实, 杨氏实验不但没有证明光的波动性, 而且证实的正是光的粒子性<sup>[7]</sup>。

## 2. 全息照相的记录

### 2.1 实践方案一

加伯 (D.Gabor) 在 1948 年提出, 利用光的干涉, 可以记录物体的全部信息, 不需要透镜成像系统拍摄成全息<sup>[2-3]</sup>照片。如图 1 示, 设想有一理想厚度的透明薄板 (理解为, 薄板是由单个单个的原子排组而成的二维平面材料), 在薄板上有一物点  $F$  (只讨论被照射物体的某一个点), 我们使用相干光束照射薄板, 这束光通常称著参考光。参考光照射物点  $F$  时产生的反射光, 通常称著物光。将物光看成一个发光点, 这个次级点光源在同一时刻的光反射, 按照球形包络面观念以及本文作者曾经提出过的相关理论<sup>[6-7]</sup>, 这些光子是比较均匀 (不是绝对) 地分布在这个球面上, 这个由众多光粒子排列而成的几何球形阵面  $S$ , 就是一个球形包络面; 又因物光与参考光来自同一光源, 其涨落长度 (或称波长)  $\lambda_0$  也相同。经扩束后的激光光束 (相干光束) 可以看成是由无数光子排列而成的一个“光子平面”, 或称平行包络面, 图 1 中用平面  $U$  表示。

物点  $F$  产生的球形包络面 (其实为半球球面), 那么, 物点扩散的包络球面与参考光的平行包络平面相交叠于某点  $Q(a_i, x_i, y_i)$ ,  $n$  为实验室所在透明气体物质 (假定是均匀的) 的折射率, 为了方便和直观, 我们以直线代替简化的包络平面, 以半圆方程代替半球面方程。

物点球形包络面  $S$  的方程:

$$x_i^2 + y_i^2 = \left(\frac{c}{n} t_i\right)^2, \quad (1)$$

参考光平行包络面  $U$  的方程:

$$x_i = \frac{c}{n} \left(t_i - \frac{k\lambda_0}{c}\right), \quad (2)$$

(  $k = 0, 1, 2, \dots$  )

式中  $K$  为自然数, 它表示参考光包络平面所落后的距离比物点的包络球面;  $\lambda_0$  表示真空中光的涨落长度 (或称波长),  $n$  为空气折射率。解方程组得:

$$y_i^2 = \frac{2k\lambda_0 c t_i}{n^2} - \frac{k^2 \lambda_0^2}{n^2}. \quad (3)$$

交叠点前进并到达感光板上点  $P$ , 并设这个交叠点在感光板中心点  $O$  附近不远处, 所以, 物光到达感光板 (即胶片) 的时间近似为:  $t \approx r_0 n/c$ , 代入式 (3) 我们得:

$$y_u^2 = \frac{2k\lambda_0 r_0}{n^2} - \frac{k^2 \lambda_0^2}{n^2}, \quad \text{略去二次项我们得式}$$

$$y_u \approx \sqrt{2k\lambda_0 r_0/n},$$

即是:

$$y_u = \sqrt{2k\lambda_0 r_0/n} \quad (n=1.0003, k=0, 1, 2, \dots). \quad (4)$$

$y_u$  表示圆的半径,  $r_0$  表示物点到胶片的垂直距离。

因此，从图 1 中分析，球形包络面  $S$  与平行包络面  $L$  的交叠区域最终在胶片上发生的光化学反应是一个圆环，干涉图样即是一系列的明暗相间的同心圆，两明纹之间是暗纹。经过一段（或足够）时间曝光后，感光板就将这物点的信息记录了下来。

现在我们分步讨论公式  $y_u = \sqrt{2k\lambda_0 r_0/n}$  .

当  $K=0$  时,  $y_0 = 0$ , 这个园就是一个点,

当  $K=1$  时,  $y_1 = 1.414\sqrt{\lambda_0 r_0/n}$  ,

当  $K=2$  时,  $y_2 = 2\sqrt{\lambda_0 r_0/n}$  ,

当  $K=3$  时,  $y_3 = 2.45\sqrt{\lambda_0 r_0/n}$  ,

.....

即有:  $OA=1.414\sqrt{\lambda_0 r_0/n}$  ,

$AB=OB- OA =0.586\sqrt{\lambda_0 r_0/n}$  ,

$BC=OC-OB=0.45\sqrt{\lambda_0 r_0/n}$  .

显然,  $OA > AB > BC > \dots$  .

在图 1 中，物点  $F$  的包络球面不断扩散，与参考光的平行包络平面交叠轨迹线分别为  $L_1, L_2, L_3 \dots$

等；这里需要说明的是，当物点的球形包络面与平面参考光同时到达感光板时刻，在感光板中央形成一个斑点；当落后一个距离  $\lambda_0$  的平面参考光与球形包络面  $S$  相交迭的轨迹  $L_1$  终点在点  $A$  ( $L_1$  表达为参考光平面落后物点  $F$  球形包络面一个  $\lambda_0$ )， $L_2$  表示为参考光平面落后物点  $F$  球形包络面二个  $\lambda_0$ ，依次同理，我们将这些轨迹线看成是光线束。因此，这些交叠点光子照射到胶片上即引起胶片中卤化银的光化学作用。又由于  $OA > AB > BC > \dots$ ，所以在感光板上，相邻圆形环条纹之间的间隔是不均匀的，离感光板中心越远的区域，环纹间的距离越小，显示条纹越密集。

经过一定时间（在瞬间不可能有足够数量的光子发生作用跟胶片之间）照射后，在感光板上就记录下相关的光化学反应。所以在经历一定时间（至少不是瞬间照射）曝光后的感光板，经显影、定影和干燥后，形成一种类似于不规则的环状光栅结构的全息照片。理想—实践验证方案：如果我们将平行的相干光（经扩束的激光）的相邻包络面之间时间延长，即是说，在第一列包络面射出后间隔 0.5 秒再发射出第二列包络面，这样，无论照射多长时间，也不能得到全息记录，最多也只能得到中央区的一个斑点而已。

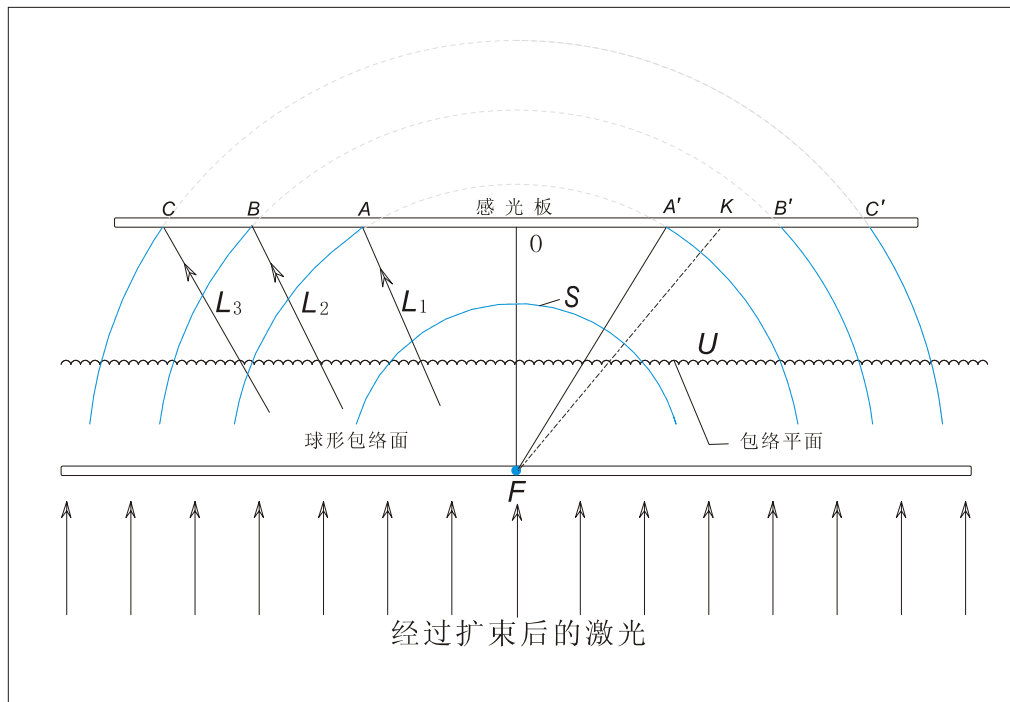


图 1 一个全息照相系统

$U$ =参考光;  $S$ =物光;  $A, A'$  =干涉环纹

Figure 1. A holographic system [  $U$ = reference beam;  $S$ = object light;  $A, A'$  = circular interference fringes]

## 2.2 实践方案二

下面这一方法获得相近的效果。如图 2 示, 假设  $F$  为被摄物体上的任意点, 它发射一球形包络面 (由多个胡克球组成) 照射到感光板上, 点  $F$  到  $O$  的距离为  $r_0$ , 参考光垂直照射到感光板上, 物光和参考光是由同一光源经过“相关路径”处理的相干光束。在点  $O$  为零级干涉 (正好干涉加强), 设感光板上任意一点  $A$  到  $F$  的距离为  $r_k$ 。

物光从点  $F$  到感光板上任意点  $A$  和中心点  $O$  的几何程差为  $\Delta R = r_k - r_0$ 。  $n$  为实验室所在透明气体物质 (假定是均匀的) 的折射率, 则从点  $F$  到  $A$  和  $O$  的光程差为:

$$\Delta\Psi = n\Delta R = k\lambda_0 .$$

$$(\Delta R = r_k - r_0, k = 0, 1, 2, \dots) \quad (5)$$

凡是满足上式的点形成的一些以  $O$  为圆心、以  $y_u$  为半径的圆;  $y_u$  由下式给出:

$$y_u^2 = r_k^2 - r_0^2$$

$$y_u = \sqrt{2k\lambda_0 r_0/n + k^2 \lambda_0^2/n^2} .$$

略去高阶二次项, 我们得:

$$y_u \approx \sqrt{2k\lambda_0 r_0/n}$$

$$(n=1.0003, k = 0, 1, 2, \dots) \quad (6)$$

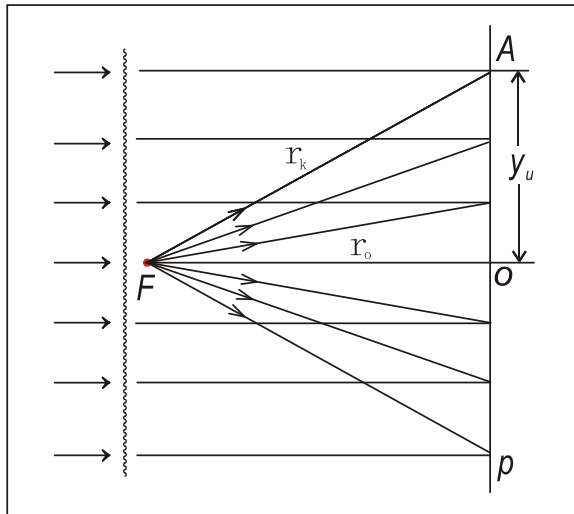


图 2 全息照片上的环纹

Figure 2. Ring pattern on the holographic picture

因此, 干涉图样是一系列的明暗相间的同心圆。在图-1 中所画出的是过同心圆的任意一条直径线。物点的反光为球形包络面, 而参考光是一组一组的由光子排列而成的光子平面, 这个光子平面与物点的球形包络面交叉重叠成一簇同心圆。两种方法的结果有一微小区别, 细心的学者不难发现, 公式 (3) 与

式 (6) 中有一符号相反, 虽然对结果不产生影响, 但物理过程是不相同。第一种方法很实在, 它是符合客观现实的, 后一方法有点机械和人为假设, 作者感觉出它有点类似于本末倒置。

## 3. 全息照相记录的再现

我们将图 1 中得到的感光胶片使用同样的参考光束照射它, 为了方便, 我们以同心圆直径上的明纹和明纹与明纹之间的暗区域作为研究对象, 如图 3 示。明纹  $O$  和  $A$  相当于能够透光的孔, 则暗区域为  $OA$ , 所以, 透光明条纹  $O$  和  $A$  跟暗区域  $OA$  就构成了一个微型“杨氏干涉仪”。紧接着, 明纹  $A$  和  $B$  跟暗区域  $AB$  构成第二个微型“杨氏干涉仪”, 依次同理。从感光胶片整体上看,  $OA$ 、 $AB$ 、 $BC$ ……等, 它们就组成了一个连续的微型杨氏干涉仪群。

微型“杨氏干涉仪”中两明条纹之间的距离为  $d$ , 根据式 (4) 的计称,  $OA > AB > BC > \dots$ 。再结合公式  $y_u = -\frac{ka\lambda_0}{nd}$  或  $y_u = \frac{ka\lambda_0}{nd}$  可知<sup>[7]</sup>,  $d$  越小

(意指两明条纹之间的暗区距离), 干涉条纹的偏离就越大。作者据此计算和几何作图都得到证明, 那些偏向感光板中心方向的“杨氏干涉条纹”(即光线束) 便会聚于点  $F$ , 这个聚会光点就是原物体的实像。

在使用参考光照射胶片时, 我们把参考光看成是涨落有序的相干光, 包络平面  $U$ ——光束的阵面 (经典理论称为光束的波阵面)。在杨氏干涉仪群中的零级干涉线均为平行光线, 一级和二级干涉线便会聚于点  $F$ , 一级干涉线的贡献最大, 三级四级以及更高级的干涉线均能对点  $F$  产生微小贡献, 但大都几乎是散射光。在这一过程中产生的另一束光则为发散状态, 观察者看到的便是实像点  $F$  的虚像。显然, 任何一个实物体都是由无数多个点构成, 物体上的每个点的信息都被记录在感光胶片上<sup>[4-5]</sup>, 这个全息图就是一个非常复杂的“杨氏干涉仪群”。当使用相应的相干光照射到全息相片时, 经过感光胶片上的“杨氏干涉仪群”的干涉效应, 各个像点又同时被再现。在图 3 中, 如果我们将照片的大部分区域用不透明屏挡住, 只留下一小部分  $AC$ , 照片中只有透过亮缝  $A$ 、 $B$  和  $C$  的光线束才对像点及虚像有贡献, 实像和虚像的交会区域仍然是  $F$  点和  $F'$  点, 只不过是会聚的光线数量较少而显示出强度 (准确地说应该是垂直于照射面光线的密集程度) 很弱比透过整体胶片时刻, 这就是破损全息照片同样可以再现像而又没有完好照片现像清晰的真正原因。

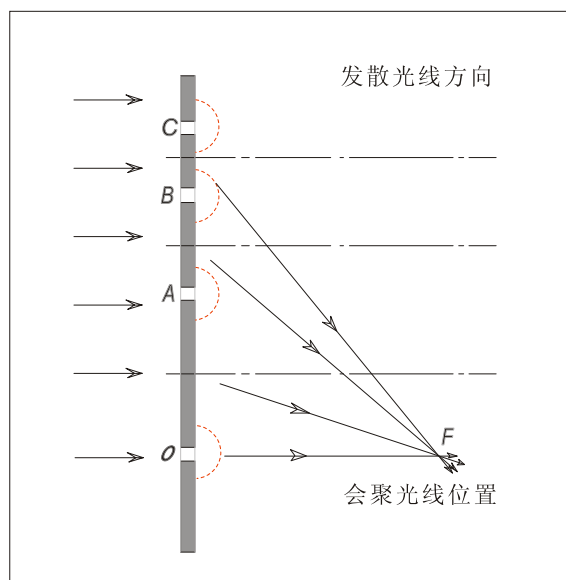


图3 照片生成的象和虚象

Figure 3. Photo-generated images and virtual image

#### 4. 镜与像的对称性证明

如图4示,当用光照亮物体,假设从物点 $F$ 发出(或产生)的球形包络面,是以物点 $F$ 为中心向外均匀扩散的球形包络面。

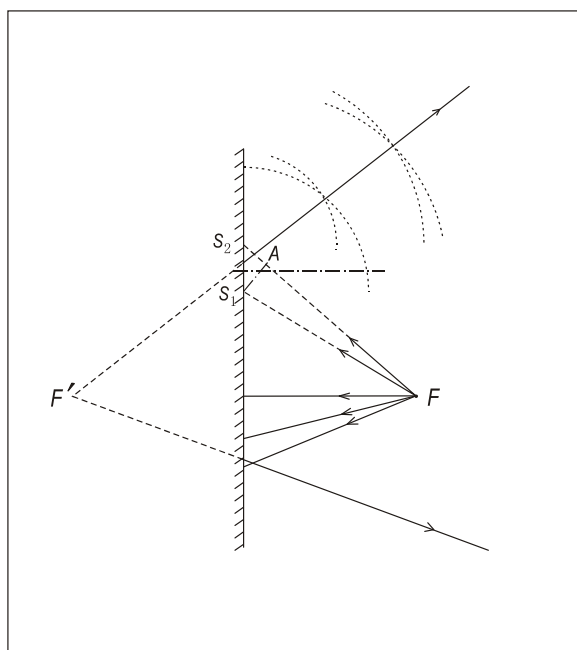


图4 物体在平面镜中的像

Figure 4. Objects like in a plane mirror

并且设想,在这个球形包络面上有两个“面元”的光线先后分别落于镜面上的点 $S_1$ 和 $S_2$ ,这两个面元的光分别在镜面上产生各自独立的次级球形包

络面,以 $S_1$ 和 $S_2$ 为中心呈球形向外扩散,这两个次级球形包络面在镜前空间域又相交叠,其公共交迭轨迹为图4中的一条射线,这条射线即是反射光的方向线,——它实质上不是一条光线,是对反射光出现几率最大区域的一种表述。在本讨论中只讨论了一个物点的一次球形包络面的两个面元对反射光束的贡献,在实践中是由大量物点和多次球形包络面的综合作用,由于视觉因素,众多反射光线的反向延长线就是物点 $F$ 的像点 $F'$ 。点光 $F$ 到 $S_1$ 和 $S_2$ 的几何程差为 $\Delta S = FS_2 - FS_1$ ,光程差为 $\Delta\Psi = n\Delta S$ , $n$ 为空气折射率( $n=1.0003$ )。在反射后,两个次级球形包络面的半径差就是这个几何程差 $\Delta S$ 。所以,为了讨论的简单化,就以几何程差为近似值进行作图和代数运算即可。

#### 5. 结束语

物光与参考光同时到达感光板时刻,在这个狭小区域(可以看作一个点)发生光化学反应,而当物光与参考光不同时到达感光板上的区域,认为没有发生光化学反应,从而使胶片上生成明暗相间的图纹,这就制成了全息照片。这里必须强调,暗条处也有光子存在,只是两份光子不同时到达而已。当:上一个包络面的光子被感光胶片吸收后,它又马上辐射出去(再次反和散射),而下一包络阵面的光子才到达感光胶片处被接收;根据本文的反射理论,上一球阵面的光子只是存在微弱的反射及散射,由于没有同时到达某个“点”的几份(两份或两份以上)光子出现,这个区域就不可能产生光化学反应,维纳(O.Wiener)的驻波实验也证实了这个论述。两个弧面交叠点及附近区域落足点的光子密度最大,光子的作用密度很大——呈交叉状态作用在感光板上的某一小区,在同时到达的那些光子的作用下产生光化学反应。当在实践中用相同参考光照射这张全息相片时,两明纹与一暗纹就组成了一个微型杨氏干涉仪,整个图纹就象是无数个连续排列的微型杨氏干涉仪群,在环纹的内侧,干涉光线束向着环中心方向,若干束光的聚焦,这个聚焦区域即为原物点;而环纹外侧的光束方向为发散光线,它不可能呈现聚焦状态,由于视觉因素,它在发散光线束方向的反向延长线聚焦为一点,就如同平面镜中的像一样,通常这个视觉点称为全息的虚像。

#### 参考文献 (References)

- [1] 张克 编著. 折光之谜[M]. 北京: 科学普及出版社, 1992
- [2] D. Gabor, *Nature*, **161** (1984), 777; *Proc. Roy. Soc., A*, **197** (1949), 454; *Proc. Phys. Soc., B*, **64** (1951), 449.
- [3] G. B. Develis and G. O. Reynolds, *Theory and*

- Application of Holography* (Reading , Mass, Addison-Wesley Publishing Company , 1967) .
- H. M. Smith , *Principles of Holography* ( New York , J . Wiley and Sons , 1969 ) .
- [4] D. Gabor , *Proc . Roy . Soc . , A* ,197 (1949) ,454 .
- [5] E. N. Leith and J .Upatnieks , *J .Opt .Soc . Amer .* , **52** (1962) ,1123 ; **53** (1963) , 1377 ; **54** (1964) , 1295 .
- [6] 杨发成, 在胡克参考球观念下诞生的新理论 [OL]. [2010-07-30]. <http://www.paper.edu.cn/>
- [7] 杨发成. 关于微观粒子波动图象的再思考[OL]. [2010-08-01]. <http://www.sciencepub.net/academia>

## Holographic Recording and Reproduction of Holographic Micro-mechanism

Yang Fa-cheng  
Company of Ruida Centre in Xinjiang  
15 Hongxing Street, Kalamayi, Xingjiang 834000, CHINA

**Abstract:** From the particle viewpoint , the use concept of Huygens, and the point light source radiation spherical envelope, a very good coherence of the laser as the light source, on holography and holographic representation of the theoretical analysis of records. To prove that light, not the wave. Those optical phenomena such as wave characteristics, is light particles and the interaction between a physical body, the results of statistical rules to comply with the macro.

**Key words:** Point light source; spherical envelope; hologram; hologram reproduction; a series of concentric circles; Young interferometer group

8/6/2010