

[12] 发明专利申请说明书

[21] 专利号 ZL 88107729

[51]Int.Cl⁵

G02C 7/06

[45]授权公告日 1993年3月17日

[24]颁证日 93.1.3

[21]申请号 88107729.1

[22]申请日 88.11.10

[30]优先权

[32]88.7.20[33]US[31]222,000

[73]专利权人 艾伦·L·科恩

地 址 美国弗吉利亚州

[72]发明人 艾伦·L·科恩

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

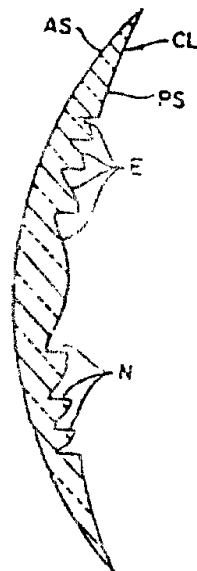
代理人 马铁良 吴秉芬

说明书页数: 附图页数:

[54]发明名称 多焦点光学器件

[57]摘要

一种衍射多焦点光学元件，它由含有若干环形同心带的相位带片组成，其中，各带以大体上正比于 \sqrt{n} 的间距配置，各带具有若干呈阶梯式的小刻面，这些小刻面在光程长中引入的不连续性小于 $\lambda/2$ 。



1. 一种衍射多焦点光学元件，它由含有若干环形同心带的相位带片组成，在该同心带中各带大体上以正比于 \sqrt{n} 的间距配置，其特征在于，各带具有若干呈阶梯式的小刻面，这些小刻面引起的光程长的不连续小于 $\lambda/2$ ，其中 λ 是设计波长。

2. 根据权利要求1所述的衍射多焦点光学元件，其特征在于，相位带片含有在光学元件中按 \sqrt{n} 间距形成的交替阶梯重复图形的小刻面，且其中小刻面的各阶梯的深度小于 $\lambda/2(\eta' - \eta)$ ，其中 η' 和 η 分别为镜片的折射率和与镜片相互作用的介质的折射率， λ 为设计波长。

3. 根据权利要求2所述的衍射多焦点光学元件，其特征在于：

a、其中某一交替带的小刻面具有一个倾斜的弯曲剖面，该剖面在带边界上另一个弯曲剖面所断开，这后一个剖面具有另一交替带的倾斜度不同的弯曲小刻面；

b、所述诸带的间距大体上与 \sqrt{n} 成正比；

c、所述诸小刻面的深度小于 $\lambda/2$ ；

d、所述各带经刻划后可以将黄光至少以充分的强度引到至少两个主焦点上，供在各该焦点上目视之用；

e、只有所述交替图形，这种元件才会有这样的强度。

4. 如权利要求1所述衍射多焦点光学元件，其特征在于，相位带片的奇数和偶数波带具有以下特点：

a、符合 $r_n \approx \sqrt{n} f_1 \lambda$ 间距离的要求，

其中， n 代表整数的带的数目， f_1 表示相位带片的第一级焦长， r_n 表示第 n 级带的径向位置；

b、彼此邻接且在至少每隔一个带边界上没有非折射阶梯界面，而在该邻接界面上形成一个呈一定坡度的剖面；

c、各奇数带的横截面具有相同的通用剖面，而各偶数带的横截面也具有相同的通用剖面；

d、奇数带的通用剖面与偶数带的通用剖面不一样，且

e、各带阶梯的深度小于 $\lambda/2$ 。

5. 如权利要求1所述衍射多焦点光学元件，它由一含有交替剖面的带小刻面的阶梯相位带片组成，其特征在于：

a、相位带片符合 $r_n \approx \sqrt{2n f_1 \lambda}$ 的要求，

其中， n 表示整数带的数， f_1 表示相位带片的第一级焦长， r_n 表示第 n 级带的径向位置；

b、交替剖面是在全周期间距内产生的：

c、小刻面的深度小于 $\lambda/2$ ；

d、各带经刻划后可以将黄光至少以充分的强度引到至少两个主焦点上，供在各该主焦点目视之用；且

e、只有该交替剖面，这些波带才会有这种供目视用的强度。

6. 根据权利要求1所述的衍射多焦点光学元件，其特征在于，该光学元件包括若干在光学上衍射的小刻面，这些小刻面形成两个不同的弯曲剖面，而这两个剖面在半径 r_n 处通过位于该半径周围的过渡剖面进行连接，该过渡剖面的剖面弯曲与上述两个不同弯曲剖面不同，从而在该过渡剖面处形成环形和同心带，这些带彼此之间的间距大致上与 \sqrt{n} 成正比，且各带经刻划后可以将黄光至少以足够强度引到至少两个焦点上供在这两个主焦点上目视之用，该元件不采用这种弯曲剖面则不会有这种供目视用的强度。

7. 根据权利要求2所述的衍射焦点光学元件，其特征在于，所述重复图形含有可用下式表示的剖面的带：

$$d = D_0 \cdot [1/2 + 1/2 \cdot \cos(\pi \cdot r^2 / b^2)]$$

其中d 是重复剖面的厚度, r是该带的径向位置, b是第一条带的半径, D_0 是设计波长的小刻面深度。

8. 根据权利要求1 所述的衍射多焦点光学元件, 其特征在于它呈眼用镜片的形式。

9. 根据权利要求2 所述的衍射多焦点光学元件, 其特征在于它呈眼用镜片的形式。

10. 根据权利要求3 所述的衍射多焦点光学元件, 其特征在于它呈眼用镜片的形式。

11. 根据权利要求4 所述的衍射多焦点光学元件, 其特征在于它呈眼用镜片的形式。

12. 根据权利要求5 所述的衍射多焦点光学元件, 其特征在于它呈眼用镜片的形式。

13. 根据权利要求6 所述的衍射多焦点光学元件, 其特征在于它呈眼用镜片的形式。

14. 根据权利要求7 所述的衍射多焦点光学元件, 其特征在于它呈眼用镜片的形式。

15. 根据权利要求8 所述的衍射多焦点光学元件, 其特征在于所述光学元件包括接触式镜片和眼内镜片的形式之一的眼用镜片。

16. 根据权利要求9 所述的衍射多焦点光学元件, 其特征在于所述光学元件包括接触式镜片和眼内镜片的形式之一的眼用镜片。

17. 根据权利要求10所述的衍射多焦点光学元件, 其特征在于所述光学元件包括接触式镜片和眼内镜片形式之一的眼用镜片。

18. 根据权利要求11所述的衍射多焦点光学元件, 其特征在于所述光学元件包括接触式镜片和眼内镜片形式之一的眼用镜片。

19. 根据权利要求12所述的衍射多焦点光学元件, 其特征在于所述

光学元件包括接触式镜片和眼内镜片形式之一的眼用镜片。

20. 根据权利要求13所述的衍射多焦点光学元件，其特征在于所述元件包括接触式镜片和眼内镜片形式之一的眼镜用片。

21. 根据权利要求14所述的衍射多焦点光学元件，其特征在于所述元件包括接触式镜片和眼内镜片形式之一的眼镜用片。

22. 根据权利要求1所述的衍射多焦点光学元件，其特征在于，所述光学元件包括一眼用接触镜片，该接触镜片至少在其光学镜片带中包括两个相位带片，至少其中一个相位带片包括环形同心带，各带间的间隔基本正比于 \sqrt{r} ，其中，各带具有阶梯式的小刻面，引起光程长的不连续小于 $\lambda/2$ ，这里 λ 为设计波长。

23. 根据权利要求1所述的衍射多焦点光学元件，其特征在于，所述光学元件包括一眼用接触镜片，该接触镜片在其光学镜片带中具有
(1) 含有同心带的相位带片，在该同心带中，各带大体上以正比于 \sqrt{r} 的间距配置，各带具有若干呈阶梯式的小刻面，这些小刻面引起的光程长的不连续小于 $\lambda/2$ ，这里， λ 是设计波长；(2) 一纯折射部分。

多 焦 点 光 学 器 件

一种衍射多焦点光学元件，它由一个含有若干环形同心带 (zone) 的相位带片组成，在该相位带片中，各带大体上以正比于 \sqrt{n} 的间隔配置，这些带具有阶梯式的小刻面 (face)，而这些小刻面产生的光程长的不连续小于 $\frac{\lambda}{2}$ 。本发明还包括一含有若干环形同心带的相位带片，这些同心带具有小刻面，这些小刻面在光学元件中按 \sqrt{n} 的间距形成交替阶梯式重复图形，而且其中各个小刻面的阶梯 (step) 深度小于 $\lambda/2(\eta' - \eta)$ ，这里， η' 和 η 分别为镜片的折射率和与镜片相互作用的介质的折射率，而 λ 是设计波长。

本发明涉及对包括接触镜片和眼内镜片在内的相位带片光学结构的改进。本说明书和权利要求书中所使用的“相位带片”一词是指镜片的整体光学部位，它利用带片和带片中各带内的光学小刻面（例如呈小阶梯光栅的形式）的组合，而这些带中的组合小刻面对光进行衍射以产生特定的波阵面，从而在带片的各级上（例如 0 级、1 级等）形成特定的光强分布。这些级构成了带片的各焦距。从特定意义和最实用的意义上讲，该相位带片是为普通镜片的使用而设计的，即其有效光强的分布取决于黄光的带间隔。本说明书所使用的“黄光”一词是指波长在 530~570 毫微米的可见光。

本发明特别涉及到接触式镜片。接触式镜片是传统的聚散式镜片。这种镜片有一个使其可镶配到眼睛上的凹形的角膜罩（后表面）从而与眼睛吻合，而外表面（前表面）则是光滑的，且其形状使眼睑可在眼睛上滑动并（在考虑到镜片材料的折射率的情况下）提供适当的聚散度使光线会聚到人眼所需要的焦点上。大多数市售的接触式镜片均

取如下形状，即镜片在光轴周围部分的厚度最薄，并沿镜片向四周延伸的倾斜径向方向逐步增加其厚度。由于从光轴向外延伸其厚度不同因而通过光轴的光必定通过较少的镜片介质。因光在空气中的传播速度较快，因而与通过较小厚度的光线相比较，通过较大厚度的光线将被偏移，从而在时间上滞后⁽¹⁾。因此镜片的形状要选择得使其能适应光的这种逐步滞后现象，从而使从后表面发出的光波同时到达所要求的焦点。

本发明涉及采用相位带片光学结构的接触式镜片，诸如相位带片双焦镜片和利用同心环形带的“调谐”菲涅耳镜片等。这些镜片通常采用例如阿伦 L. 科恩在美国专利 4, 210, 391、4, 338, 005 和 4, 340, 283 (“科恩专利”) 中所介绍的设计。科恩的镜片设计提出，环形同心带的半径“ r_n ”大体上与 \sqrt{n} 成正比，且将各带加以刻画以便将光射到一个以上的焦点上。

具有相位带片光学结构的科恩镜片设计可以将双焦镜片制造得特别薄。接触式镜片可以以相位带片光学结构进行设计，从而达到双焦点或其它多焦点的效果。相位带片特有的颜色性能可以引入接触式镜片(包括具有多焦点性能的接触镜片)的设计中。双焦点指定的所有的相位带片光学元件本来就具有将光聚焦到两个以上焦点的能力。它们之所以叫做双焦点镜片是因为对双焦点应用来说，任何两级焦点(例如 0 级和 1 级焦点)的光强度已经足够用了。从这个意义上讲，每个双焦镜片能将光线分配到第三个甚至可能更多的焦点上。判断一个镜片是双焦点的还是三焦点的，并不是根据什么严格的法则，只要配戴镜片的人对第三个或更多焦点的存在不感到不舒服，则该镜片就

注(1) 见芬彻姆(Fincham) 等人著的《“光学”》(Optics), 伦敦, 巴特沃思出版社出版, 第九版, 1980, 1981 第 72~75 页

可被视为双焦镜片(2)。

关于接触式镜片，所提出或建议采用相位带片光学结构的其它参考资料有：G. 福特斯(Forst)在“Der Augenoptiker”刊物中(1966年第12期第9~19页)发表的题为“关于圆形栅格作为视觉辅助手段的有效性的研究”；齐格勒(Ziegler)著的“光学镜片的制造或校正”，该文曾经科恩(Cohen)修改，见科恩的美国专利4,339,005的第四段的第27~36行，和科恩的美国专利4,210,391第5段第63行至第6段第68行；弗雷曼(Freeman)的美国专利4,637,697和弗雷曼(Freeman)的美国专利4,642,112(这项专利说的是全息摄影中采用的相位带片光学结构)。

目前利用上述相位波带片光学结构原理的双焦点接触式镜片市场上已有出售。据信这类镜片是应用了阶梯式环形小刻面，各个小刻面由一个全周期带组成，而各个带的深度为 $\lambda/2$ 光程长度，物理深度为 $\lambda/2(\eta' - \eta)$ ，式中 η' 和 η 分别为镜片及与镜片相互作用所在的介质(例如泪层)的折射率， λ 是设计波长，在此情况下即为黄光的设计波长。由此形成一种双焦点接触镜片，其0级和1级具有对黄光强度的相等分光，分光为40.1%。

本发明所使用的“全周期带”是指在相位带片中，彼此的间距大体上与 \sqrt{n} 成正比的最小重复率的一组小刻面。上述间距可用下式表示：

$$\frac{\lambda}{n} = \sqrt{2(n-1)\lambda}$$

注(2)见克莱因(Klein)和豪H.的文章，SPIE 1986年8月，表二，以及有关对表二的评论。

其中 d 表示 1 级焦距。而本发明所用的“半周期带”的表示式为：

$$r_n = \sqrt{n d \lambda}$$

其中 d 同样表示 1 级焦距。

尽管与阶梯平台相接的非折射阶梯壁或竖壁在镜片光轴的平面上呈圆筒形或接近圆筒形，从而只占据镜片相位带片的表面面积的一小部分，但一般认为它对许多问题的产生有相当大的作用。成象阴影和碎物收集就是其中的一些问题，这类问题可以通过减少阶梯壁或竖壁部分的深度而大大得到缓解。

但是，若将这类镜片加以修改，使其小刻面的深度 (3) 减少到小于 $\lambda/2$ 的值 (λ 为设计波长)，则镜片的光学质量就会很快变差。尽管工作于 $\lambda/2$ 时，我们所涉及的只是一些很小的数值，但几个毫微米的尺寸变化也会严重影响镜片的性能。例如，小刻面的深度减小 10% 时，这类镜片的有效双焦性能就会大受损失。应该理解的是，与相位带片的尺寸有关的其它值也都是同量级的小数值。从非折射阶梯延伸到相邻折射阶梯的最低点而产生的小刻面的小平台的厚度损失从 $\lambda/2$ 深度到相邻阶梯的最低点处的零深度。这些事实表明，将阶梯的深度减小到 $\lambda/2$ 以下时，几乎无法避免这个双焦性的损失。

已经发现，在 $\lambda/2$ 间距范围内 (在某些实施例中是极其微小地改变) 小刻面的小平台的倾斜形状的结构上的很小改变，就可以在阶梯深度小于 $\lambda/2$ 的情况下，以相位带片为基础产生有效的双焦镜片。通过

(3) 本说明书中所使用的“小平面深度”、“小平面阶梯深度”、“阶梯深度”和一些与其具有同等作用的词，是说与镜片的设计波长、与阶梯所产生的光程长中的不连续性程度有关。

科恩的一些专利和科恩镜片设计中所实施的小刻面的交替倾斜，可以小刻面的深度大约小于 $\lambda/2$ 的情况下，使接触式镜片具有优良的双焦性能。

本发明的特征在于，提供了一种新型的双焦镜片结构，该双焦镜片结构的优点是，具有 γ 带间距和呈阶梯状的小刻面，它能在小于 $\lambda/2$ 光程长度内引入非连续性。

本发明的特征还在于，提供了一种新型的双焦镜片结构，该双焦镜片结构采用具有深度大于或等于 $\lambda/2$ 的普通阶梯状小刻面的双焦镜片，减小了伴生的成象阴影现象。

本发明的特征还在于，提供了一种新型的双焦接触式镜片，与具有普通 $\lambda/2$ 抛物面小阶梯光栅结构的双焦接触式镜片相比，该双焦接触式镜片具有较小的泪液收集容积。这就是说，本发明的接触式镜片，其在眼睛上和眼睛与镜片之间的碎物收集容积较小。

按照本发明所提供的镜片结构，与角膜接触的表面能使相位带片的小刻面的弯曲与角膜表面相切接触。这使本发明的新型镜片能更舒适地座落在人眼上。

本说明书所介绍的是一种采用相位带片且小刻面深度小于设计波长的二分之一的双焦接触式镜片，其中主焦点位于两级上，例如0级和1级上、0级和2级上、或任何其它的两级组合。

本发明涉及一种由一个相位带片组成的衍射多焦点光学元件，上述相位带片含有若干环形同心带，其中各带之间的间距大体上与 \sqrt{n} 成正比，且各带具有若干阶梯状的小刻面，由此引入小于 $\lambda/2$ 的光程长不连续性，其中 λ 是设计波长。

本发明包括一种含有若干环形同心波带的相位带片，这些环形

同心带具有在光学元件中按 \sqrt{n} 的间距交替形成的呈阶梯状重复图形的小刻面，而且其中各小刻面的阶梯的深度小于 $\lambda/2(n'-n)$ ，这里， n' 和 n 分别为镜片及与镜片相互作用的介质的折射率， λ 为设计波长。

在本发明的一个特定实施例中，光学元件由在各环形同心带中的若干小刻面组成，并由此形成交替的呈阶梯状的重复图形，其中：

1、某一个交替带的小刻面具有倾斜的弯曲剖面，该倾斜的弯曲剖面在该带边界处为另一个弯曲剖面所中断，而后一个弯曲剖面是另一个交替带的具有不同倾斜的弯曲剖面。

2、各带的间距大体上与 \sqrt{n} 成正比；

3、各小刻面的深度小于 $\lambda/2$ ；

4、各带经刻画，可以将黄光至少以充分的强度射到至少两个主焦点上，供在各该主焦点上目视之用；且

5、除该交替图形之外，该元件不会有这样的强度。

本发明包括一科恩镜片设计式的双焦光学元件，其中相位带片的奇数和偶数波带：

a、符合 $\gamma n \approx \sqrt{n f_1 \lambda}$ 间距的要求；

b、彼此邻接并且在至少每隔一个带的边界上没有非折射性阶梯界面，且在该邻接界面上形成一个呈一定坡度的剖面；

c、各奇数带的横截面具有相同的通用剖面，而各偶数带的横截面也具有相同的通用剖面；

d、奇数带的通用剖面与偶数带的通用剖面不一样；且

e、各带阶梯的深度小于 $\lambda/2$ 。

上述坡度剖面从一个带至另一个带的过渡最好是平滑的。

另一方面，本发明包括一科恩设计式的双焦光学元件，该元件由一含有交替剖面的刻有阶梯的相位带片组成，其中：

a、相位带片符合 $\gamma_n \approx \sqrt{2 n f \lambda}$ 的要求；

b、交替剖面是在全周期间距内产生的；

c、小刻面的深度大约小于 $\lambda / 2$ ；

d、各带经刻画后，可以将黄光以至少足够的强度引到至少两个主焦点上，供在各该主焦点上的目视之用，且

e、只有这种替剖面，各带上才会有这种供目视用的强度。

在一个优选实施例中，本发明的光学元件由若干光学衍射小刻面组成，这些小刻面形成两种不同弯曲的剖面，它们在半径 γ_n 处通过位于该半径周围的过渡剖面相连接，该过渡剖面的剖面曲率与上述两种不同的弯曲剖面不同，从而在该过渡剖面处形成环形同心带，这些同心带彼此之间的间距大致上与 \sqrt{n} 成正比，且各带经刻画后，可以将黄光以至少足够的强度引到两个主焦点上供在每个这种主焦点上目视之用，只有该元件的这种弯曲剖面才会有这种供目视用的强度。

本发明涉及一种眼用镜片，诸如含有这类光学元件的接触式镜片和眼内镜片。在本发明的一个较佳实施例中，眼用镜片是一种双焦镜片，它将光以大体相等的光强分到两个焦点上。在本发明的最佳实施例中，镜片的光学元件由其剖面可用下式表示的带的重复图形构成：

$$d = D_0 \cdot (1/2 + 1/2 \cdot \cos (\pi \cdot r^2 / b^2))$$

其中， d 是重复剖面的深度， r 是带的径向位置， b 是第一条带的半径， D_0 则是对设计波长的小刻面深度。

本发明的一个实施例是用于眼用接触式镜片，该镜片在其光学镜

片带中至少含有两个相位带片，而且其中至少一个相位带片具有前述光学元件的特点。

本发明另一个实施例是用于一种眼用接触式镜片，该镜片的光学镜片带中具有：（1）一个具有上述光学元件特点的相位带片，和（2）一个纯折射部位，最好呈一个或多个通道的形式。

图1例示了入射平面波照射到衍射双焦点光学元件上的情况，这种光学元件表示一种典型的抛物面形元件，它具有科恩镜片设计的 π 间隔形式，于是该入射平面波被转化成两（2）个射向不同焦点的出射球面波，从而描绘出多焦点衍射的一般原理。

图2是从一般现有技术的衍射双焦光学元件（例如上面谈到的齐格勒镜片）上切下的小阶梯光栅剖面的曲线图。d坐标轴表示小阶梯光栅的厚度，r坐标轴表示沿小阶梯光栅的径向距离。

图3是本发明光学元件一个实施例的横截面，其小刻面形状在图4中以曲线形式给出。

图4示出本发明一个实施例的小刻面剖面的曲线。d坐标轴表示小刻面的厚度，r坐标轴表示沿小刻面的径向距离。

图5对现有技术中具有一般抛物线剖面的全周期间隔的小阶梯光栅带与含多剖面中断结构的半周期间隔的小刻面带的曲线剖面进行了比较。

图6至12是对本发明范围内光学元件的各种小刻面配置方式的剖视图的曲线说明。

本发明特别涉及一些由一个采用衍射装置获取多焦点性能的光学带部分组成的双焦光学镜片。该衍射装置采用的重复图形带有浅的小刻面深度及新的剖面。采用浅的小刻面深度的剖面可以减少象的阴影、

相位片与眼睛之间的碎物堆积现象(指接触式镜片的情况)和提高配戴接触式镜片时配戴者的舒适感。

本发明特别适用于接触式镜片。本发明包括在接触式镜片的前部分或后部分,或两者中装设光学元件。该光学元件可以通过车削或模制的方法装设在接触式镜片上。本发明最好用于多焦点(特别是双焦)眼内镜片。

本发明涉及衍射双焦点光学元件。该元件按科恩的作法利用了圆闪耀衍射光栅来获取多焦点性能。有了闪耀光栅,通过调节小刻面的深度 D_0 和闪耀小刻面本身的剖面可以调节在两焦点之间的分光。本发明对光学元件的小刻面采用了新的剖面。

本发明涉及一种衍射双焦点光学元件,它利用圆闪耀衍射光栅来获取其多焦点性能,其中闪耀光栅能通过调节小刻面深度 D_0 和闪耀小刻面本身的剖面来调节在两焦点之间的分光,且闪耀小刻面形成按 π 带间距划分的交替倾斜。

本发明的新型小刻面配置方式将现有技术中的小刻面全周期(λ)间距划分成交替倾斜的半周期($\frac{\lambda}{2}$)小刻面带,而这种带中每两个交替半周期带只含有一个非折射圆筒形(或基本上是圆筒形)表面,这两个交替半周期带由一表面光滑的小刻面连接,这个小刻面使设计波长的光线在半周期带之间产生相移。所有圆筒形或基本上是圆筒形的非折射面其深度都小于 $\lambda/2$ 。本发明的交替带可以对镜片各焦点之间的分光进行控制。通过调节交替带的倾斜度,有可能改变射到各焦点的光强度。

本发明包括一种叠加到、刻蚀入和/或埋置入镜片表面层的衍射双焦光学元件,它具有独立地将光聚焦于至少两个(最好是两个)主

焦点上的能力。其中该光学元件由一些交替倾斜半周期 ($\frac{\lambda}{2}$) 小刻面带组成。这些带中每两个交替半周期带中只含有一个非衍射圆筒形 (或基本上是圆筒形) 表面, 且这两个交替半周期带用一个表面光滑的小刻面连接, 这个小刻面能使设计波长的光在各个半周期带之间产生相移。所有基本上圆筒形或圆筒形的非折射表面的深度都小于 $\lambda/2$ 。

本发明令人注目的一点在于: 在交替小刻面中只要求很小的倾斜度差异, 就能在所设计的焦点上得到极好的光强度, 同时取得上述的种种改进 (包括减少眩光和/或晕圈效应在内)。要制造具有本发明的优点的镜片, 只要求在半周期带中的倾斜度与传统的抛物线形式有小的差异即可。这种小的差异是由于各个小刻面甚至在整个全周期带的尺寸都很小而产生的。举例说, 本发明的一个实施例可用于这样的接触式镜片:

1. 该接触式镜片的相位片的特征是由 8 个全周期带组成并置于镜片的后表面上;

2. 镜片与眼睛的形状相符, 并对远焦点提供典型的折射; 而且

3. 设计波长是黄光的波长, 约为 555 毫微米;

1. 光轴处的第一条带其半径约为 0.75 毫米;

2. 偏离光轴最远的带的宽度由该带外周边的半径与该带内周边的半径差值所确定, 约为 0.14 毫米; 且

3. 每个小刻面的深度约为 0.003 毫米。

但这同一结构, 利用在尺寸约为 \sqrt{n} 的一点上出现的剖面表面弯折所引起的 16 个半周期带间距进行测量

4. 在光轴处的第一条带半径为 0.053 毫米;

5. 偏离光轴最远的带的宽度由该带的外周边的半径与该带的内周边的半径的差值所确定, 约为 0.067 毫米。

在将由在整个全周期带间距里呈传统抛物面形的若干小刻面组成的光学元件与由本发明的半周期带间距和小刻面剖面组成的阶梯深度取 0.008 毫米的光学元件进行比较时, 可以发现, 半周期带间距在反映各小刻面剖面的各曲线底下具有较小的面积。该差值约为面积的 1%~10%。一般说来, 差值为大约 2% 至大约 5% 的面积差。在上述说明中, 面积差约为 3%。尽管看来面积差值不大, 但它对镜片性能的影响却是很大的。

具有外形呈现有技术抛物面形的小阶梯光栅和全周期间距, 而且小阶梯光栅深度为 $0.8\lambda/2$ 的镜片, 其所产生的光的强度分布如下:

- 1	0	1
. 0 5	. 5 7	. 2 5

将此与克莱因 (Klein) 和豪 (Ho) 所述的 $\frac{\lambda}{2}$ 比较, 后者显示出类似下列的光强分布:

m	3. 非交替 (b = . 5)
- 4	. 0050
- 3	. 0083
- 2	. 0162
- 1	. 0450
0	. 4053
1	. 4053
2	. 0450
3	. 0162
4	. 0083

将断面稍微修改同时保持 $0.8\lambda/2$ 的深度可以得出本发明在

0级和1级光强度分布为。405的双焦点元件。

相位带片的交替带的每个小刻面的深度小于 $\lambda/2$ ，其中 λ 为相位带片的设计波长。在一个带的小刻面由一个弯曲剖面连接到另一带的小刻面的那些情况下，若只有其中一个带的小刻面是由代表非折射面的阶梯竖壁部分形成的话，则这两个带的小刻面的组合深度小于 $\lambda/2$ 。在此特殊情况下，且为便于计算起见，可以从全周期带间距的概念来看待这个组合深度。且这种交替倾斜的带的小刻面可看作是深度可变的带的小刻面。各小刻面的深度可以处在大约 $\frac{\lambda}{2}$ 的0.01至大约0.99倍的范围内，较好在 $\frac{\lambda}{2}$ 的大约0.05至大约0.95倍的范围内，最好是在 $\frac{\lambda}{2}$ 的大约0.1至大约0.9倍的范围内。

如果说本领域的技术人员就想要减小小刻面的深度展开争论，是合乎逻辑的，但在本发明出现之前没有较好的方法来制造小刻面（小阶梯光栅）深度小于 $\lambda/2$ 波长而又不会对光能在两个出射球面波之间的分配产生不利影响的衍射双焦镜片。

本发明使得制造那种在两个球面波之间的第零级和第一级上光能分配相等或基本相等的较浅小刻面（小阶梯光栅）的衍射双焦点镜片，成为可能。

本发明支持这样一个新概念，即光能在两出射球面波之间的分配由下列因素确定。

- 1、小刻面（小阶梯光栅）的深度；和
- 2、小刻面（小阶梯光栅）的实际剖面。

已经确定，通过使小刻面（小阶梯光栅）具有适当的剖面，即使将衍射双焦镜片刻画得使其小刻面（小阶梯光栅）的深度较浅，也能得到相等的光能分配。

参考图 1，该图说明了一个其曲率足以达到会聚折射和衍射的衍射双焦镜片 C L。图中，光学元件 E（以设想的全周期间距为基础）将入射的平面波变换成主要由两个球面波组成的波阵面。举例说，平面相阵面为 P 的入射光波通过镜片 C L 的前表面 A S，以主要由两个强度分别为 I_1 和 I_2 的球面相阵面 S_1 和 S_2 组成的光波从后表面 P S 出射。后表面 P S 包含小阶梯衍射光栅 E 及其相应的非光学边缘 N。衍射光学元件中的小刻面（小阶梯光栅）间距可由下列标准公式求出：

$$r_n = \sqrt{n} \cdot r_1$$

式中 r_n 是第 n 个带（采用全周期间距）的半径。 n 和 n' 则分别为空气和镜片 C L 的折射率。两个球面波阵面的焦点的位置由第一条带的半径 r_1 和镜片 C L 的光焦度确定。特别是，第 n 级焦点 f_m 可由下式求出：

$$f_m = (r_1)^2 / (2 \cdot \lambda \cdot m)$$

其中 λ = 波长。 $m = 0, \pm 1, \pm 2$ 等。

有人提出，理想的光能分配应在两出射球面波载有相等数量的总光能时，即当 $I_1 = I_2$ 时出现。目前的文献指出，当小刻面（小阶梯光栅）的深度 D_0 被置于 $1/2$ 波长深时就是这种情况（参见克莱因（Klein）和豪（Ho）的上述文章）。

图 2 画出了现有技术（见上述齐格勒的文章）中所使用的标准抛物线形剖面。重复剖面的深度 d 作为径向位置 r 的函数如下式所示：

$$d = D_0 \cdot (1 - r^2/b^2) \quad b \text{ 为第一条带的半径}$$

该剖面在各带中重复，但成比例地缩小。每条带的宽度。对于在零级和1级处的等光能分配，小刻面（小阶梯光栅）的深度如下式所示：

$$D_0 = 0.500 \cdot \lambda / (n-1) \quad n \text{ 为折射率}$$

强度分配则可由下式求出：

$$I_1 = I_2 = (2.0/\pi)^2 = 0.405.$$

图3显示了含有按图4所示设计的小刻面的衍射双焦光学镜片。小刻面的深度为现有技术镜片所要求的深度的 $0.405 / 0.500 = 80\%$ 。

图4显示了本发明的一个实施例中所使用的一种新型的余弦剖面。该重复性剖面可由下式求出：

$$d = D_0 \cdot [1/2 + 1/2 \cdot \cos(\pi \cdot r^2/b^2)]$$

对于等光能分配，采用各阶梯的非折射边缘之间的全周期间距，但在半周期间距中含有交替倾斜的小刻面时，小刻面深度可由下式求出：

$$D_0 = 0.405 \cdot \lambda / (n-1)$$

强度分配则可由下式求出：

$$I_1 = I_2 = J_0^2(0.405 \cdot \pi) = 0.403$$

其中， J_0 是贝塞耳函数。

图3包括一个具有前表面 AS 和周边后表面 PS 的光学镜片 CL。

在此实施例中，光学镜片带的后表面由衍射性小刻面（小阶梯光栅）E和与之相应的非光学边缘N组成。小刻面（小阶梯光栅）E的实际剖面可由下式求出：

$$d = D_0 \cdot [1/2 + 1/2 \cdot \cos(\pi \cdot r^2/b^2)]$$

式中 d 是小刻面（小阶梯光栅）的厚度， r 是到该带内边缘的径向距离，（这种小刻面在每个带里重复并按各该带的宽度比例缩小），在带内形成小刻面（小阶梯光栅）并出现这种剖面交替，而 b 为第一条带的半径。图 4 画出了这个特定的剖面。

图 5 把代表现有技术特征的抛物面小阶梯光栅设计 a（见图 2）、图 4 的余弦剖面 b 和另一种双焦镜片的实用的剖面 c 画在一起。这样做的目的在于说明本发明和图 2 所示的现有技术在剖面上的差异。特别值得注意的是曲线 b 的剖面在 π 间距处的位移。这个小差异使曲线 b 的剖面可适用作本发明镜片元件的小刻面剖面。

小刻面 c 的实际剖面可由下式求出：

$$y = 1 - [(r^2 - 1/\sqrt{2}) / (1 - 1/\sqrt{2})]$$

$r > 1/\sqrt{2}$

在深度如此减小的情况下，剖面 a 和 c 不能使光能等强度分配到 0 级和 1 级，而当

$$D_0 = 0.500 \cdot \lambda / (D-1).$$

时就能做到这一点。

图 6 至图 10 画出了各种可按本发明使用图 2 的镜片结构的实用

小刻面剖面。

图 6 用图解法画出了沿 X - Y 轴的图 4 的剖面情况，其重复顺序为由奇数和偶数带所代表的交替半周期倾斜带的重复顺序。此特定实施例的特征可用下式表示：

$$y = 0.405\lambda / (n - 1) \cdot [1/2 + 1/2 \cos (\pi r^2 / 2r_0^2)]$$

$$I_0 = I_1 = 0.402$$

其中 λ 为设计波长， n 为镜片介质的折射率。

图 7 是沿 X - Y 轴线用图解法画出的另一种剖面，其中阶梯的非折射边缘的深度进一步减小到 0.31λ ，且偶数半周期带的深度与非折射边缘成弯曲连接。本发明这个实施例的特征可用下式表示：

$$y = 0.314\lambda / (n - 1) \cdot 2.5 [1/2 + 1/2 \cos (\pi r^2 / 2r_0^2)]$$

$$- 0.314\lambda / (n - 1) \cdot 1.5 [1 - r^2 / 2r_0^2]$$

$$I_0 = I_1 = 0.390$$

图 8 显示了一种阶梯边缘倾斜着的剖面，这表明它对相位带片的光学质量有贡献。本实施例中半周期交替带的剖面与前述的一些设计不同，这主要是因为基本上除去了非折射边缘的缘故。此实施例的特征可用下式表示：

$$y = \lambda / (n - 1) [r^2 / r_0^2 + \cos (\pi r^2 / 2r_0^2) - 1]$$

$$I_0 = I_1 = 0.314$$

应该指出的是，在本实施例中奇数带小刻面的深度进一步减小到

0.21λ，但偶数带的深度比奇数波带的最低点还低0.21λ。

图9显示了一个小刻面剖面，其中偶数带倾斜具有底部弯曲部分，在与小阶梯的非折射边缘连接之前形成两个背对背的弯曲。本发明的这个实施例的特征可用下式表示：

$$y = 0.394\lambda / (n - 1) [0.287 + 0.731J_0(4.20 \cdot r^2 / 2r_0^2)]$$

$$I_0 = I_1 = 0.402$$

其中 J_0 是贝塞尔函数。

图10显示了另一个采用两个相位带片和一个纯折射部分的小刻面的剖面。在本实施例中，从一个全周期带到另一全周期带深度在减小，尽管在整个光学镜片带中不需要存在这种减小。举例说，光学镜片全周期带的头半个可以只有一个深度，而该全周期波带的后半部可以在深度上逐步减小。在这些实施例的值得推荐的方式中，每个小阶梯，不论其深度是否相同，都沿光学镜片带的一公共平面被等分。纯折射部分最好呈一个或多个通道的形式，该通道可装在光学镜片带内和/或成为镜片带的外接圆。图10所示特定实施例的特征可用下式表示：

$$y = \alpha\lambda / (n - 1) (1/2 + 1/2 \cos \pi/2 \cdot r^2 / r_0^2)$$

其中 α 逐带减小。

图11和12所示小刻面剖面在全周期带中的 q_1 处引入一个间距减小，因而可使阶梯从 q 进到 r 等。这种在交替带中的间距减小并不被认为能改变各带的 \sqrt{n} 间距。图11的特征可用下式表示：

$$y_n = .40(1/2 + 1/2 \cos[(\pi/q_n^2 - r_n^2) (r^2 - r_{n-1}^2)])$$

其中 $r_{n-1} < r < q_n$

$$y_n = .40(1/2 + 1/2 \sin[\pi/r_n^2 - q_n^2 \cdot (r^2 - (r_n^2 + q_n^2)/2)])$$

其中 $q_n < r < r_{n-1}$

$$r_n = \sqrt{2 n f_i \lambda}$$

$$q_n = r_{n-1} + (r_n - r_{n-1} / \alpha)$$

$$\alpha = 1.085$$

图 1 2 特征可用下式表示：

$$y_n = .39(1/2 + 1/2 \cos[\pi/q_n^2 - r_n^2 \cdot (r^2 - r_{n-1}^2)])$$

其中 $r_{n-1} < r < q_n$

$$y_n = .39(1 - (r - r_n / r_n - q_n)^2)$$

其中 $q_n < r < r_n$

$$r_n = \sqrt{2 n f_i \lambda}$$

$$q_n = r_{n-1} + (r_n - r_{n-1} / \alpha)$$

$$\alpha = 1.085$$

应该理解的是，本发明并不局限于本说明书中所示和所述的结构
的精确细节，因为熟悉本技术领域的人是可以对它进行多种修改的。
特别是可以确定多种不同剖面，使小刻面（小阶梯光栅）的深度减小
而不改变所希望的等光能分配。但小刻面剖面的选择并不取决于等光
能分配的实施。我们认为，光能的分配，无论是否等分，都是直接从
半周期带交替倾斜得出的。

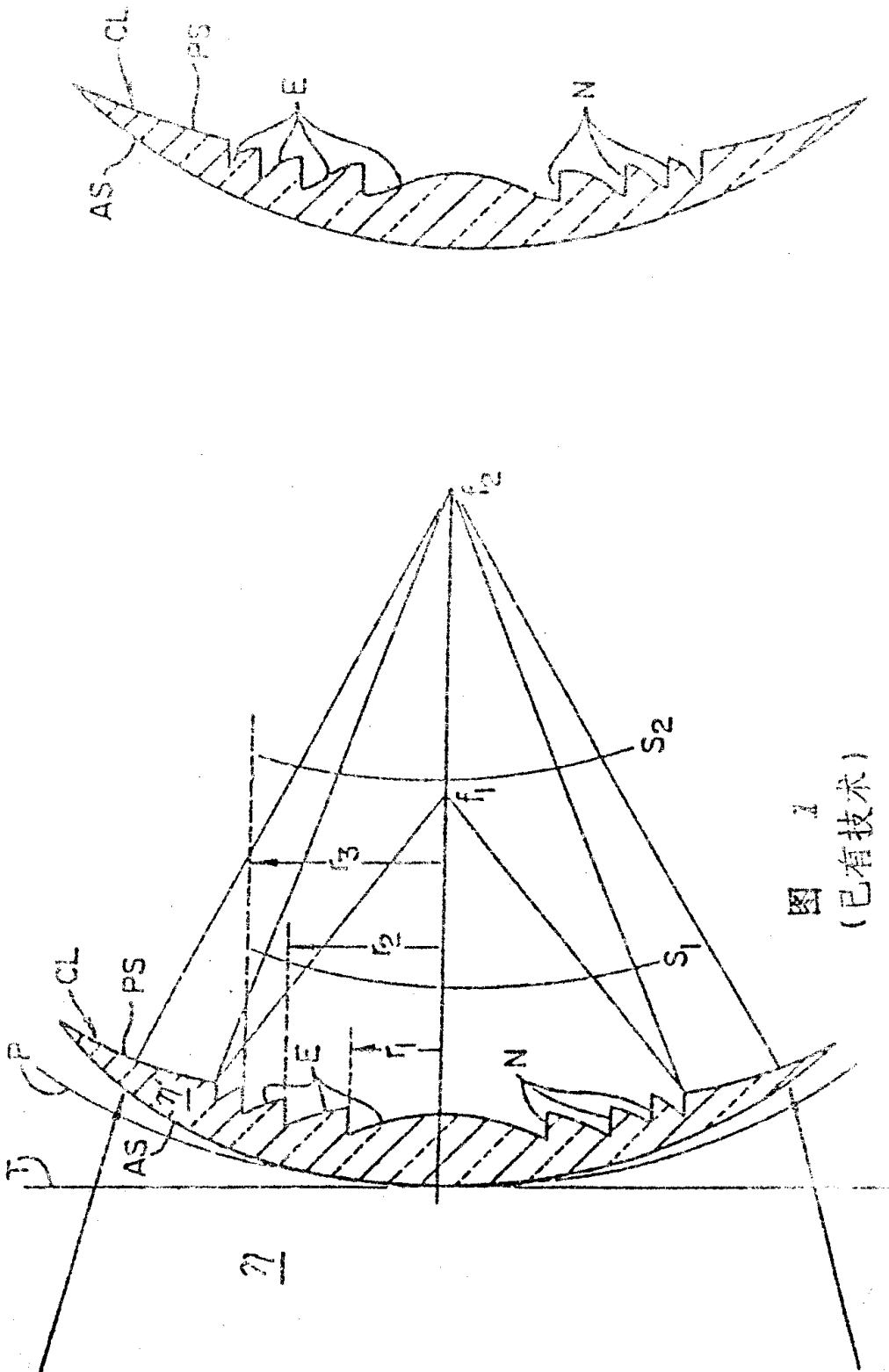


图 1
 (已有技术)

图 2

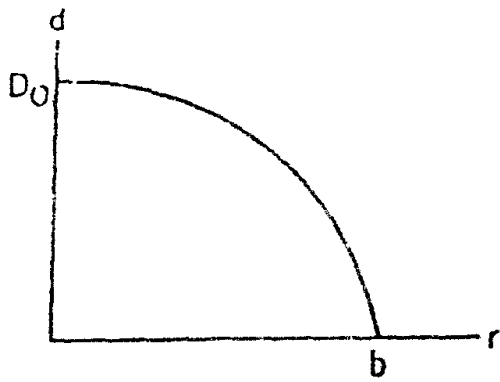


图 2
(已有技术)

图 4

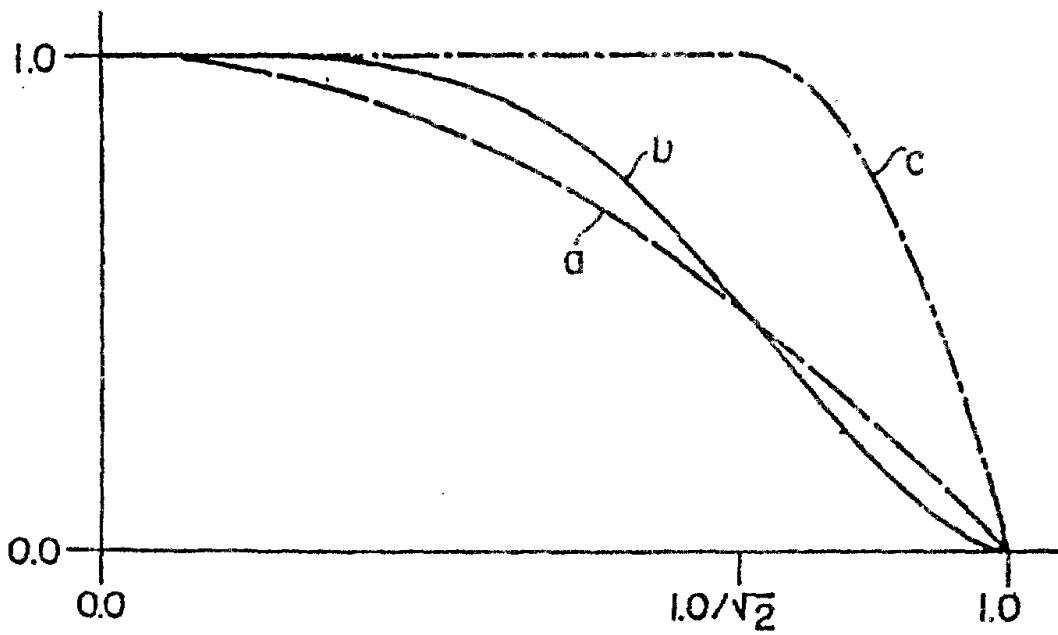
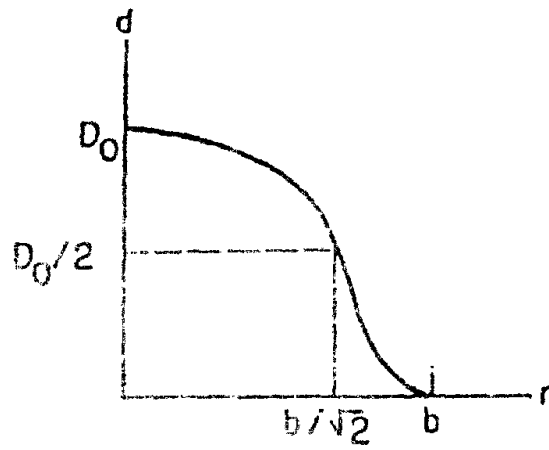
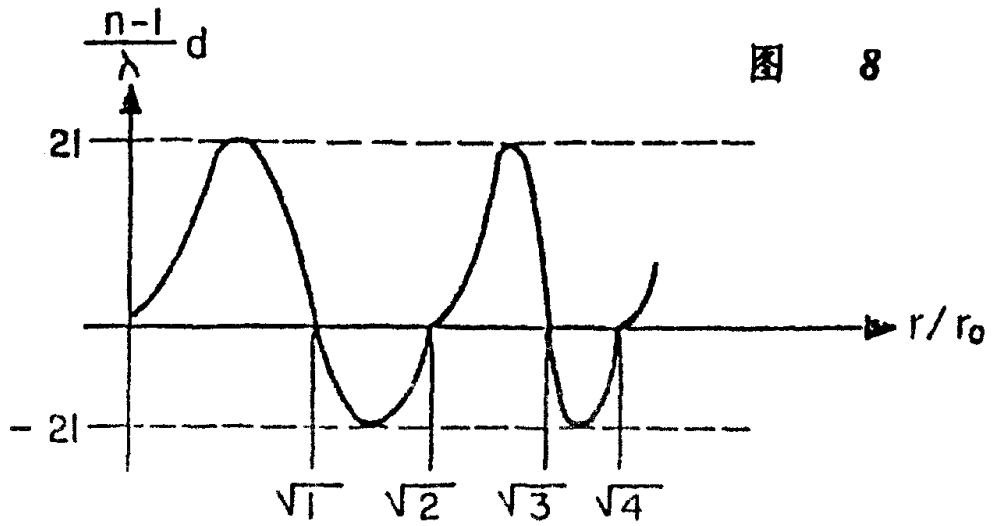
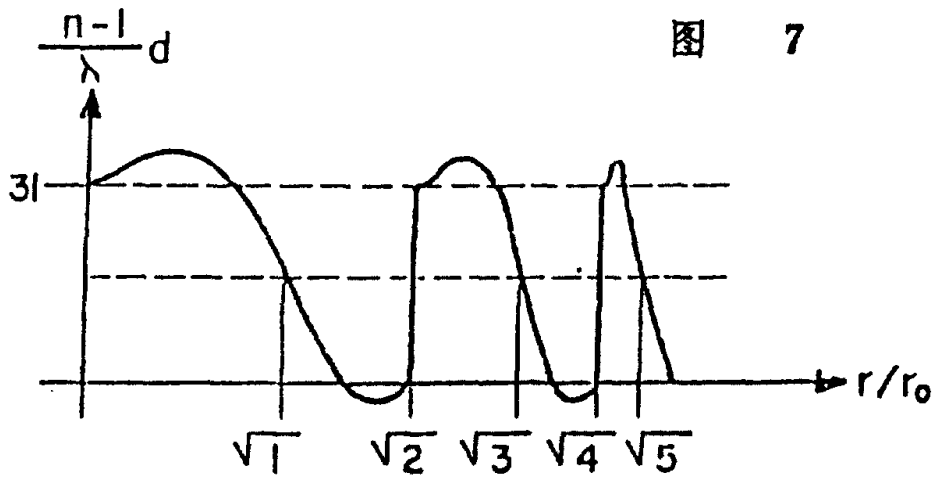
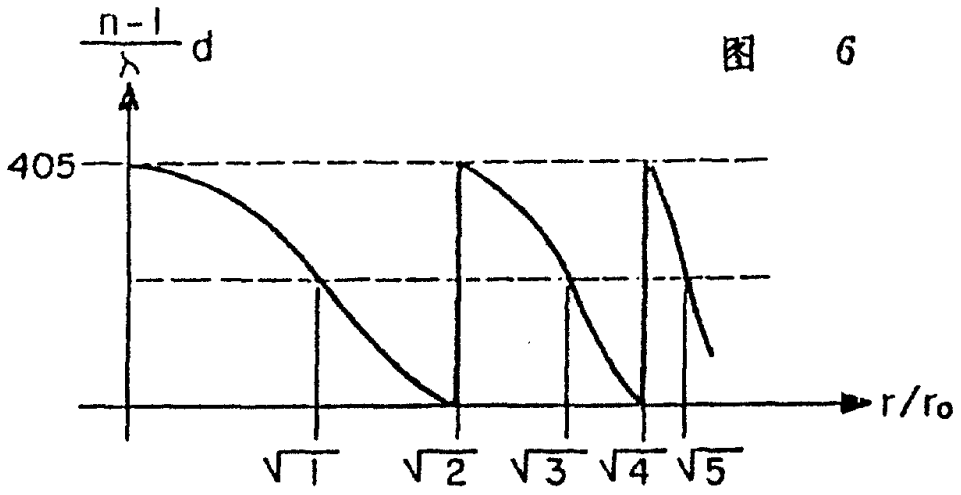


图 5



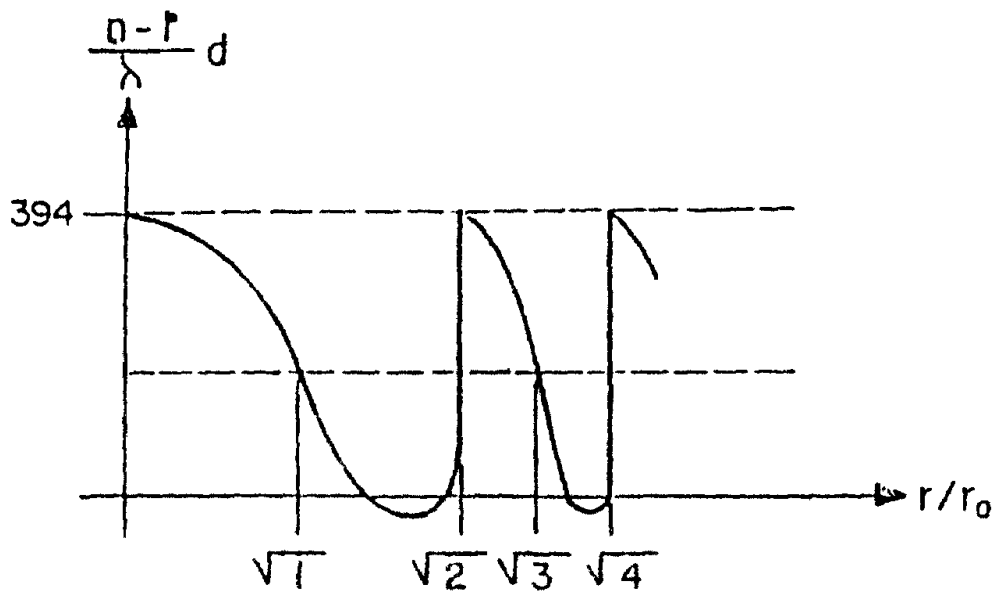


图 9

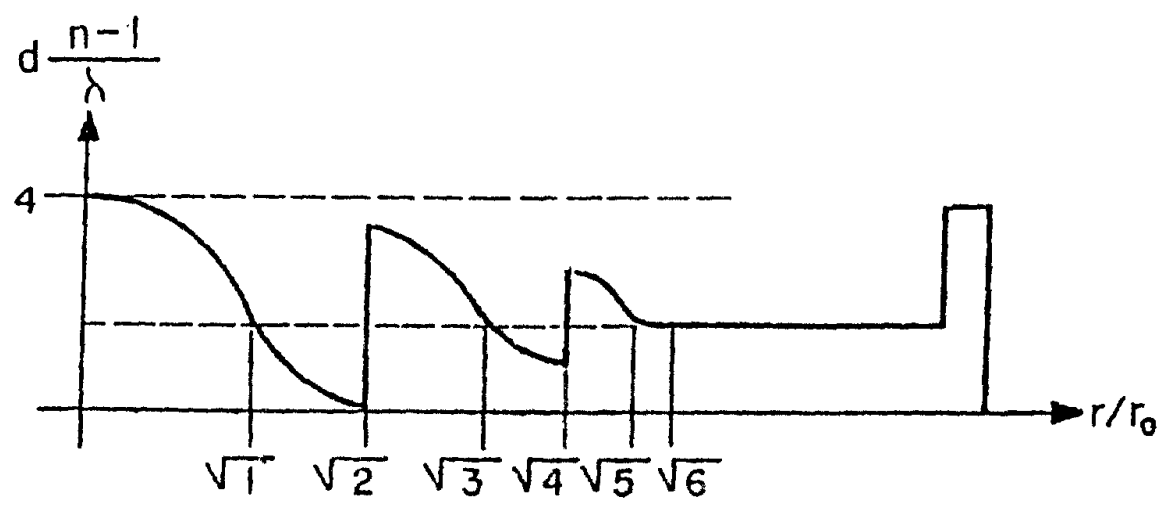


图 10

图 1 1

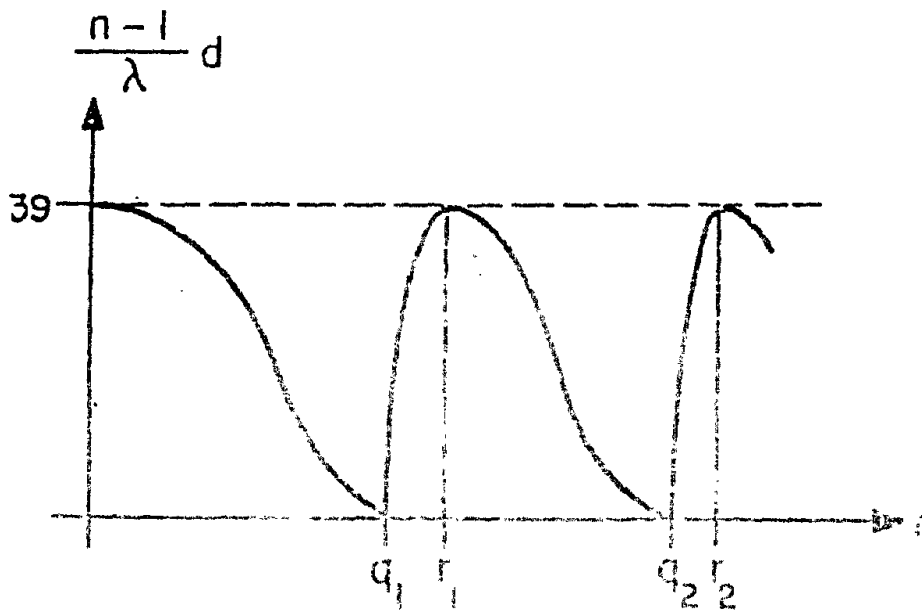
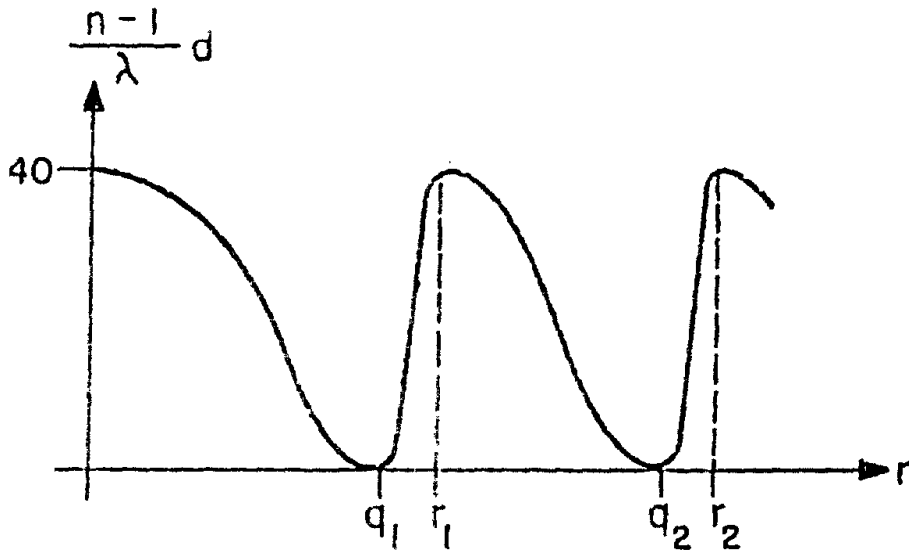


图 1 2