

光纤通信用无源器件
译丛

3

四机部 1423 研究所情报室

目 录

1. 渐变折射率棒透镜在光纤通讯系统中的应用.....	1
2. 多模光纤器件中的渐变折射率棒透镜的象差.....	24
3. 采用渐变折射率棒透镜的纤维耦合.....	42
4. 采用硅红外光栅的光解复器.....	60
5. 用于单模纤维传输系统的可调衰减器.....	70
6. 在可见光和 1.06 微米范围内产生低强度光束的激光衰减器.....	76
7. 单模光纤功率分配器：管封刻蚀法.....	92
8. 一种熔接成的光纤分路器.....	98
9. 多位光纤开关.....	103
10. 光纤数据母线系统的光旁路开关.....	107
11. 用四端口电—光液晶开关实现非偏振光的全转换...	116
12. 薄膜镀层自动控制系统的制造原理.....	122
13. 无源光器件的测量技术.....	125
14. 非等同纤维接头损耗的精确表征.....	137
15. 利用环形抛光机进行非球表面抛光.....	143

渐变折射率棒透镜在光纤通讯系统中的应用

W. J. Tomlison

摘 要

渐变折射率棒透镜 (GRIN棒透镜) 具有某些特性, 使其特别适用于控制和处理光纤通讯系统中的光信号的光器件。这样的透镜能直接粘合在器件的其它元件上, 从而得到一个紧凑、稳定而牢固的整体结构。与等效的单一匀质透镜相比, 它们的像差也小得多, 从而产生较低的插入损耗。本文评述了各种渐变折射率棒透镜器件的结构, 其中包括连接器、衰减器、定向耦合器、开关、隔离器和波分复用器。对于所考虑的所有器件的结构提供了估计损耗的统一方法。

I 序 言

在光纤通讯系统中, 用来控制和处理光信号的大多数光器件都有透镜, 并且对于这些器件的大多数来说, 径向渐变折射率棒透镜 (GRIN棒透镜) 比普通透镜有许多优点。在本文中, 我们概括了这些优点并且评述了一些已经提出的基本器件的结构。光纤器件在迅速发展, 而发表的实验报告从最初的可行性实验发展到商品的数据图表。因为这些可能是在不同的发展阶段以及使用不同类型光纤的器件所得的结果, 所以这就很难把对不同结构的器件所报导的性能进行比较。因此, 我们想就各种器件结构的基本区别以及这些区别是怎样影响器件可得到的性能提供某些看法。我们的全部目的在于使读者了解GRIN棒透镜的基本性能, 在光纤器件中使用这种棒透镜的方法, 各种器件结构的有关优缺点, 并且提供估计这些器件可达到的插入损耗的统一方法。

直到最近, 基本上所有的光纤系统都使用多模光纤, 因而我们

在本文中主要讲多模光纤器件。然而，很多器件对于单模系统也是有用的，对于每种器件，我们将扼要把讨论它用于单模光纤的可能性和所存在的问题。在今后的文献中将提供单模器件的更详细的研究情况。

在第Ⅱ和第Ⅲ部分里，我们讨论光纤系统中对透镜的需要和使用渐变折射率棒透镜的光纤器件的一般性能。在第Ⅳ部分里，我们叙述使渐变折射率棒透镜特别适用于光纤器件的一些性能，然后在第Ⅴ部分我们评述已经提出的一些器件的结构。最后，在第Ⅵ部分，我们讨论光纤器件中产生损耗的各种原因，并且提供估计每种基本结构的器件应达到的插入损耗的统一方法。

Ⅱ 为什么需要透镜？

用于光通讯系统中的多模渐变型折射率光纤的芯径一般为50微米左右，包层直径大约为该芯径的两倍，而数值孔径为0.2左右。正是由于这些基本特性，所以需要透镜。

0.2的数值孔径的意思（根据定义）是在光纤端部出射光将以

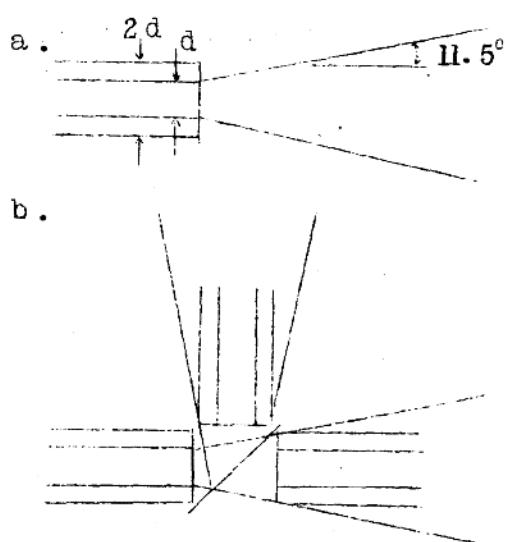


图1 (a)典型多模光纤的剖面简图，它表示了0.2数值孔径的光纤的输出光束（在空气中）的发散情况。(b)表示把一根光纤中的光束分成两束并把这些光束耦合到两根输出光纤去的简图。

11.5° 的半角（在空气中）发散，如图 1 (a) 所示。如果你需要利用这一束光（例如，用一个光分束器把它分成两束独立的光束，然后把这些光束汇集到两个输出光纤里），那么，你就会遇到图 1 (b) 所示的问题。即使光分束器的厚度可以忽略，你实际上也不能把输出光纤放置在比输出光束几乎已经发散到厚直径 2 倍大的更近的地方。这就会产生 6 分贝的损耗，我们认为这是不能接受的。而且，器件的损耗就会在很大程度上取决于输入光的模式分布。（通过在纤维之间的空间里使用折射率匹配介质，这些问题能够减少，但不会消除。）由于一般光纤的数值孔径比较大，因此在光纤器件中，人们就需要用透镜把输入光纤的发散光束变成能有效地耦合到输出光纤的会聚光束。

在某些器件中，还有另外的需要透镜的理由，它也和光纤的数值孔径大有关。在大多数情况下，人们需要用像干涉滤光片或者光栅这样的元件来处理光，这些元件对于入射光的角度很敏感，此时，用 0.2 左右数值孔径的光纤得到的光束就不能达到所要求的灵敏度。因此，为了用于角灵敏元件，光纤器件需要用透镜把来自输入光纤的发散光束变成平行光束，以便用角灵敏元件进行处理，然后再把得到的平行输出光束变成能够有效地耦合到输出光纤的会聚光束。

III 使用 GRIN 棒透镜的光纤器件的基本性能

GRIN 棒透镜由一个介电材料的圆柱体构成，其折射率的分布是在棒的轴线上具有最大值，并且近似地按径向距离的平方减少。这些透镜的聚焦性能已经在有关文献中作了非常详尽的阐述，因此，我们仅作扼要的论述。

在 GRIN 棒透镜中，光线以一个近似不变的周期大致遵循正弦路径传播。图 2 (a) 表示了轴上一点和离轴距离为 r 的一点（图 2 (b)）的典型光线路径。对于在 GRIN 棒透镜一端的一个物体，这根棒将会在 $L/2$ 远处形成一个放大倍数为 1 的倒像，而在 L 远处形成一个放大倍数为 1 的正像，这儿 L 是正弦光线路径的周期。在中间的 $L/4$ 和 $3L/4$ 点，从给定物点来的所有光线都是平行

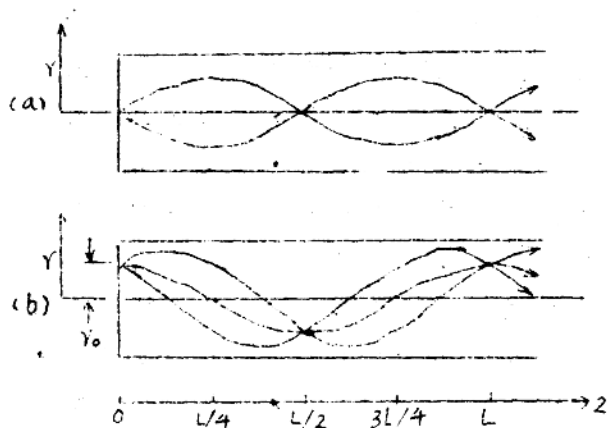


图 2

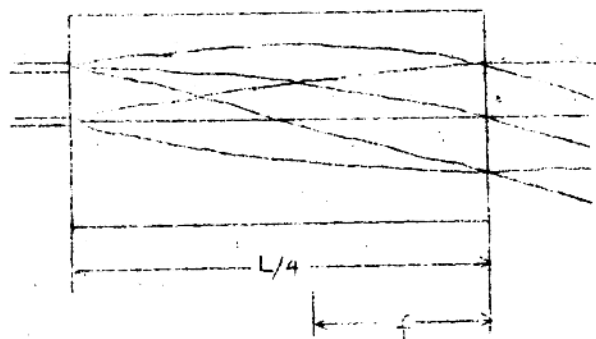


图 3

图 3 $1/4$ 节距的 GRIN 棒透镜的剖面图。 f 标记的距离是透镜的焦距。

的，因而在这些点就形成了平行光束。

用于光纤器件的基本构件是 $L/4$ 长度的 GRIN 棒透镜，通常称作 $1/4$ 节距的透镜。如图 3 所示，用这些透镜把从输入光纤发出的

图 2 GRIN 棒的剖面图，它表示了轴上一物点（图 a）和轴外一物点（图 b）的光路。

小直径大数值孔径的光束变成大直径的平行光束。更确切地说，该透镜实际上是对输入光束进行空间的傅立叶变换，因而输出光束有一个小的张角，它等于输入光束的直径与该透镜的焦距之比。但是，对于我们所讨论的大多数情况说来，把输出光束作为平行光束是足够了，并且比较简单。然后，这一平行光束用一个或者多个光学器件进行处理，像衰减器、光分束器、滤光片、光栅、起偏器等，最后，用一个类似的 $1/4$ 节距的透镜把这束处理过的光束变回到能够有效耦合到输出光纤里去的输入光束的影像。

这束平行光不仅使角灵敏元件的应用成为可能，而且由于它的发散性小，可以使输入和输出透镜安放得足够远，从而有足够的空间来安置必要的元件。此外，由于输出光束是输入光束的1:1的像，因此，器件的损耗对于输入光纤中的光的模式分布是不敏感的。这些特性是重要的，而且能够等效地应用于使用普通匀质透镜的器件。在第IV部分，我们将阐述GRIN棒透镜和匀质透镜的区别，并且提出在光纤器件中使用GRIN棒透镜更为可取的一些理由。

IV GRIN棒透镜的性能

A. 平面端面。

一个GRIN棒透镜具有平面输入面和平面输出面（图3），并且在透镜的这些面上工作时，不需要折射（不像匀质透镜那样）。这就意味着，它的任一端的光学元件都能直接用一种透明胶粘接在这些透镜端面上，这就产生了三个重要的优点。通过选择折射率接近于透镜和要粘接在它上面的元件的平均折射率的一种粘接剂，人们一般能够使界面上的反射损耗降低到很低的水平。对于反射光束会影响串音的器件，这是一个特别重要的特性。由于形成的固定组合体在空气中没有光路，因此就没有会积聚灰尘或者被擦伤的空气界面。最后，因为元件是直接相互粘牢的，所以组合体就可牢固、稳定而紧凑。

B. 像差。

在光纤器件里，透镜的像差使输出光束变粗，从而使这些光束耦合到输出光纤里去的效率下降，所以增加了器件的损耗。参考文献5中非常详尽地分析了GRIN棒透镜的像差。分析表明：对于芯径为60微米、数值孔径为0.2的渐变型折射率光纤，可使用的GRIN棒透镜的像差损耗的计算值取决于透镜的参数，在0.3~1.1分贝范围内。而一对最佳的等效匀质透镜的损耗至少大3倍。此外，对于GRIN棒透镜来说，如果能够使透镜的折射率分布最佳，那么就可能得到更低的损耗。甚至忽略匀质透镜的所有其它缺点，对于第V部分中阐述的大多数光纤器件来说，由于像差，好像用匀质透

镜不可能得到满意的插入损耗，除非使用多个元件或非球面透镜。

已经报导了使用端面不垂直于棒轴的 GRIN 棒透镜的各种器件。这样的结构比起使用端面垂直于棒轴的透镜的等效结构来说，先天就有较大的像差损耗，对此我们在本文中不予讨论。

C. 角特性。

在 GRIN 棒透镜和简单的匀质透镜之间有一个重要的差别，对此，我们没有一个合适的名字，仅用图 4 给以说明。这幅图表示了 $1/2$ 节距的 GRIN 棒透镜和等效的单件匀质透镜轴外一点的成像光路。请注意，对于 GRIN 棒透镜，如果从物体发出的光锥中心线平行于透镜的轴，则成像的光锥中心线也平行于透镜的光轴。对于匀质透镜来说，这是不适用的。（用适当分开的二重透镜，人们能够得到与 GRIN 棒透镜同样的角特性，但是在很多情况下，提供所需要的间隔就会使器件的机械结构变得复杂。）为了最有利地耦合到输出光纤，入射光锥必须对准光纤的轴心。这就意味着，在使用简单的匀质透镜的光纤器件中，安装在轴外不同位置上的光纤应

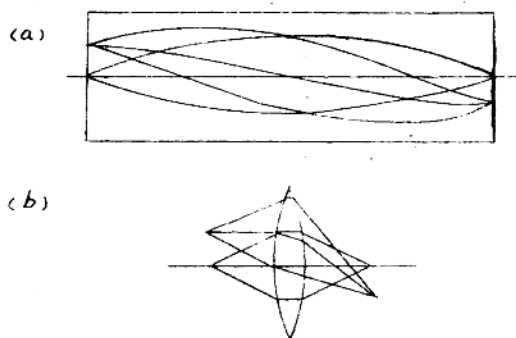


图4光路比较 (a) $1/2$ 节距 GRIN 棒透镜 (b) 单件匀质透镜。这两个图比例相同，并且对于两透镜来说，光束的数值孔径、轴外点离轴的距离以及准直光束的直径都是相等的。（但是为具有所需要的焦距，标明了表面半径的匀质透镜需用折射率为 4.5 左右的材料来制造）。

应该以它们的轴线相对于透镜的轴线呈不同的角度来确定方向，而对于 GRIN 棒透镜来说，所有的输入和输出光纤都能以它们的轴线平行于透镜的轴线来确定方向。我们认为，光纤的平行排列对于制造和调整来说要比不平行排列容易得多，因而这种角特性则是 GRIN 棒透镜的另一个重要的特性。

D. 合适的焦距和数值孔径。

对于光纤器件，人们需要几个毫米焦距的透镜并且它的数值孔

径比所使用光纤的数值孔径稍大一点。目前通用的 $1/4$ 节距的 GRIN 棒透镜的焦距在 1.2 毫米到 3.4 毫米之间，其数值孔径为 0.3 或 0.5，这样就复盖了光纤器件所要求的范围。一个用 $n = 1.5$ 的材料制成的具有最小球差的匀质透镜要求它的表面的曲率半径大约是它的焦距的 0.58 倍。为了与适用的 GRIN 棒透镜的焦距范围相匹配，这样的匀质透镜要求曲率半径在 0.6 毫米和 2 毫米之间。这样小的半径的透镜是很难制造的，并且正如上面指出的，它提供的成像质量要比 GRIN 棒透镜差。

E. 安装调准方便

图 4 清楚地说明，GRIN 棒透镜的安装和调准比匀质透镜方便得多。匀质透镜的薄片不仅使可靠地固定透镜变得困难，而且也难以检验它的光轴是否恰当地调准和对中。另一方面，对于圆柱形的 GRIN 棒透镜，却很容易设计简单的托架（例如一对 V 形槽），它不仅会可靠地固定透镜，而且会使透镜自动地对中和调准。

V 使用 GRIN 棒透镜的器件

对于在这一部分中我们考虑的每个器件，我们都提供了表示透镜、光纤和其它元件基本结构的简图。为了使图尽量地简单，我们没有表示出光束的轮廓线，而是以虚线表示出各种光束的中心（主光线）的路径。我们应该强调，我们的目的是要表示能够用 GRIN 棒透镜制作的器件的类型，同时，我们提出了一些代表性的文章作为参考，我们无论如何不想以此作为对这些器件的所有实验报告的综合评论。

A. 连接器

最简单的 GRIN 棒透镜器件是图 5 所示的连接器。每根光纤都永久地固定在透镜的中心，如果两个透镜在轴向相互调准，则无论

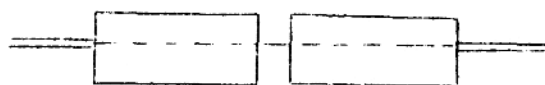


图 5 使用 GRIN 棒透镜的光纤连接器剖面简图。虚线表示了光束中心的路径。

从哪根光纤中来的光都会耦合到另一根里去。与我们在下面描述的大多数器件不同的是，连接器还存在着另外可行的不用任何透镜的结构：对接式连接器，在这种连接器中两根光纤简单地相互对接起来。现在，还不清楚透镜式连接器对于哪一种应用（如果有的话）更为适用，因此，我们简单地说明这两种基本结构的特性。

在对接式连接器中，光纤一定要以几个微米的数量级的精度来定位，而它们的角度的调准只需要在 1° 左右的范围内（对于典型的多模光纤）。在透镜式连接器中，透镜有效地把线偏差变成角偏差，并且反过来也一样。因此，在透镜式连接器中，两透镜角度的调准必须限制在很高的精度内。而该连接器对于线偏差相对而言是不灵敏的。在透镜式连接器中，光纤仍然要以与对接式连接器同样的线偏差在透镜上定位，但是，这种调准是在连接器制造期间进行的，然后这根光纤就被永久地粘接在这个位置上。

虽然设计连接器的壳体来控制透镜式连接器所需要的角偏差比控制对接式连接器所需要的线偏差可能容易些，但是，还完全不清楚这个优点是否足以弥补透镜式连接器所增加的复杂性。

由于光束在两个透镜之间变粗，所以透镜式连接器相对来讲应不易受灰尘微粒的影响，而这种微粒在对接式连接器中能引起非常大的损耗。因为透镜之间的光束是准直的，所以透镜之间能够分开的距离比对接式连接器中容许的距离大得多，因而就减少了尘粒引起连接器损坏的风险。这种差别表明透镜式连接器使用在有灰尘的环境里以及特别是连接器必须插拔多次的场合是有利的。

对透镜式连接器可能有利的另一个领域是用于单模光纤。两根单模光纤之间的对接与多模光纤相比对于线位移实际上更为灵敏，因此，透镜提供的线偏差和角偏差之间的变换在这种情况下更为有用。单模光纤要求接近受衍射限制的成像，但是，这或许能够靠GRIN棒透镜来提供，尤其是对于像连接器这种所有的光纤都能安放在透镜轴上的器件。对于典型的单模光纤而言，有效数值孔径（用远场衍射角定义）比典型的多模光纤小得多，并且正如参考文献5所述，球差效应随数值孔径的立方而变化。

B. 衰减器

图 6 所示的衰减器结构使用透镜之间的准直光束使衰减器的元件能任意地插入和抽出。只要衰减器的元件不产生任何光束的偏移

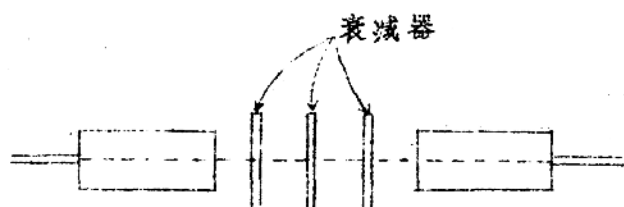
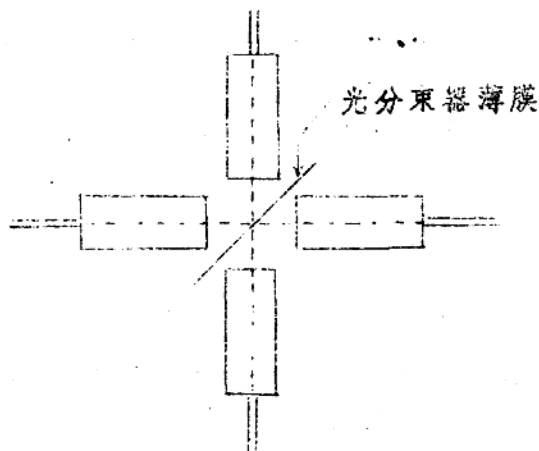


图 6 具有复合衰减器元件的衰减器剖面简图

或者任何能耦合到一根光纤里去的反射光束，那么器件的总衰减将正好是各个元件衰减的总和，而跟它们的次序无关。在市售的这种结构的衰减器中，含有两个透镜的本体调整成具有 3.0 分贝的总插入损耗，并且提供具有 3 分贝、7 分贝和 17 分贝衰减量的插入式衰减器元件。这种结构的衰减器能应用于单模光纤。

C. 定向耦合器

图 7 所示的定向耦合器是图 1 (b) 提出的问题的明确解答。我们图示了最普通的四端形式，但是，很显然，如果一根光纤不用，它和它的透镜就能省去。靠使用一个立体光分束器，就能把整个器件粘接成一个牢固的组件。这种结构的定向耦合器有一些基本的优点。



由于所有的透镜是近轴使用的，所以这种器件对于透镜的高轴像差将是很敏感的，而且由于在每个透镜上只固

图 7 使用 4 根 GRIN 棒透镜的四端定向耦合器的剖面简图。

定一根光纤，因此应当在每根光纤粘接到组合件上去之前进行光学调准。由于这些原因，该器件应能适用于单模光纤。但是，光分束器以大约 45° 角使用的实际情况意味着反射和透射信号将决定于输入信号的偏振情况。另外，该器件需要四个透镜并且使光纤在四个不同的方向上调整。这种结构的商用耦合器已有报导，对于数值孔径为 0.2、芯径为 60 微米的渐变型折射率光纤，其典型的插入损耗为 1.5 分贝。这个数值包括连接器损耗，并且，我们估计这个器件本身的损耗大概是 1 分贝左右。

一种更简单、更紧凑的定向耦合器结构示于图 8。这种结构利

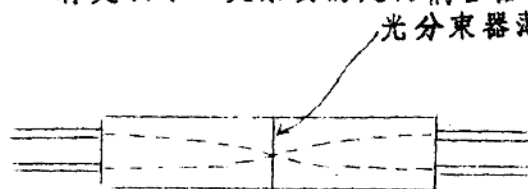


图 8 使用两个 GRIN 棒透镜的四端定向耦合器的剖面简图。

用了透镜的离轴性能，因此每个透镜接两根光纤并且仅需要两个透镜。由于使用光分束器的薄膜时接近于垂直入射，所以器件的性能对于输入光的偏振将会是比较敏感的。器件本身比图 7 所示的更为紧凑，并且光纤都调整成相互平行，因而总体外壳可以小很多。由于透镜是离轴使用的，所以器件的损耗对于透镜的离轴像差是敏感的。但是，参考文献 5 中的研究结果表明，当离轴距离为典型光纤直径数量级左右时，仅仅产生少量的附加损耗。据报导，市售的这种结构的耦合器，对于数值孔径为 0.2、芯径为 60 微米的渐变折射率光纤，其典型的插入损耗为 1.2 分贝。

安装光纤时应尽量靠近透镜的轴线，这样的耦合器也能适用于单模光纤，如最新报导已证实，实验单模器件的插入损耗为 0.7 分贝。

D. 使用滤光膜的复用器

如果选择定向耦合器中的光分束器镀膜层，使之具有随入射光的波长而发生显著变化的反射和透射率，那么，耦合器能够用作波分复用系统中的复用器和解复用器。这里我们阐述了这种器件的基

本特性，而在第 V 部分的 G 中，我们将把它们与使用光栅的复用器件进行比较。当实际上偏离垂直入射某角度使用时，多层介质滤光膜比宽频镀膜表现出大得多的偏振相关性以及其它一些问题；这样，关于滤光膜型复用器的大量工作就集中在几个如图 8 所示的结构上，这里使用滤光膜近乎垂直入射，采用这种方法有四个基本的问题。由于单滤光膜只能把一束输入光束分成两束输出光束，因此，要分成 m 条讯道至少需要 $m-1$ 个分离的滤光膜，并且在很多情况下，一个或者多个信号一定受到所有 $m-1$ 层滤光膜的作用。用通常可以得到的材料和技术难以得到能够提供低的插入损耗、宽的频带宽度和好的隔离度（低串音）的滤光膜，并且在某些实验性器件中需要附加外部滤光片。正如下面所讨论的，两个讯道以上的器件也是很复杂的，需要多个透镜和滤光膜。

通过使用光纤连接若干个图 8 所示类型的基本器件就能制成一种多讯道的复用器，但是在每个透镜和光纤的界面上都会产生耦合损耗。为了防止这种问题，已将单个的器件直接连接在一起，如图 9 所示。虽然对于必须通过许多透镜的信号来说透镜像差的影响累积起来并且可能是很大的，但是采用这种方案每个讯道只有一个耦合损耗。在图 9 所示的这类器件中，因为调准和安装所有透镜和光

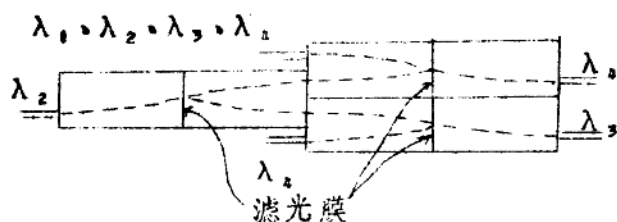


图 9 使用干涉滤光膜的波分复用器的剖面简图

纤的机械问题，必须非常仔细地使使用透镜，这将产生更大的象差损耗，这一事实可能是比较重要的。

最近报导了使用干涉滤光片的多讯道器件的结构，如图 10 所示。在这种结构中滤光片使用于 15° 角左右，这一角度已足够小，所以偏振的影响不太严重，但是它却允许每个讯道由一个透镜外加

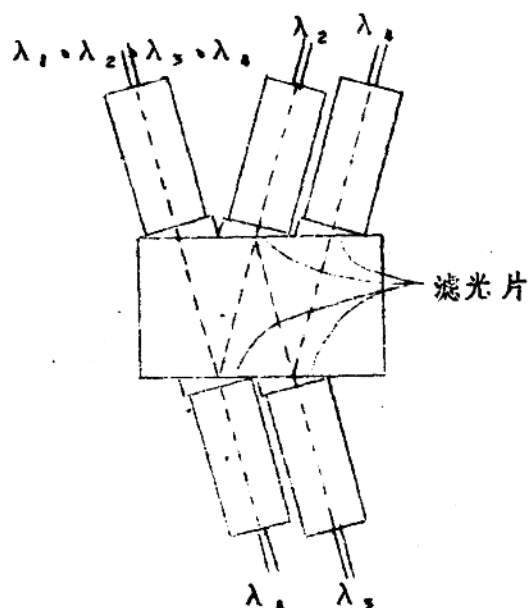


图 10 使用干涉滤光片的另一种波分复用器的剖面简图。

一个普通光纤组成。这是一个比较简单的器件，它允许所有的透镜都是近轴地使用，但是它仍然需要非常精确地设计和制造滤光片。因为透镜近轴地使用，所以它很可能比图 9 所示的器件更适于单模光纤。

E. 两位开关

已经报导了两位开关的几种不同的结构。所有的结构对于三根光纤的每一根都使用一个单独的透镜并且使用了某种形式的运动元件来转换

准直光束。图 11 表了一种这样的结构。将棱镜移动至上方位位置，如图所示，光就在上方光纤和中间光纤之间进行耦合。

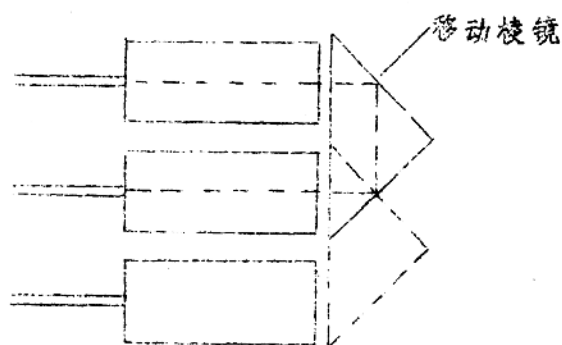


图 11 使用滑动棱镜的两位置开关的剖面简图。

到虚线轮廓所示的下方位置时，光就在中间光纤和下方光纤之间进行耦合。所有这些开关结构都利用了准直光束性能的优点，因此，移动元件不必以很高的精度定位。然而移动元件必需不使通过它的光束产生任何角偏差。对于图 11 所示的结构来说，

棱镜能够靠使用一个弹簧把它压到透镜的端面上，做到自动调准。在透镜和棱镜之间加入一种折射率匹配液薄膜作为润滑剂并且消除反射损耗。在另外一些结构中，靠移动 $1/2$ 节距透镜，或者移动表面是平行平面的板使光束转换。已经报导了一种使用移动平行面板的开关商品，当使用数值孔径为 0.2、芯径为 60 微米的渐变折射率光纤时，它的标称插入损耗为 0.8 分贝。最近的一份报告阐述了一种移动平板开关。在这种开关里，平板做成菱形，以便提供 2×2 的转换开关。六个这样的元件与 4 个输入透镜和 4 个输出透镜组合起来制成了 4×4 转换开关。对于使用于单模光纤而言，这些具有移动棱镜或平板的结构比移动透镜的结构大概更可取，因为光线仅仅通过两个 $1/4$ 节距的透镜，并且两个透镜都是近轴使用。最近已证明，图 1 1 的一种移动棱镜式结构的开关可用于单模光纤，并且已经报导其损耗小于 1.4 分贝。

F. 多位开关

多位开关能够利用与刚刚阐述过的两位开关同样的原理制成，只不过使移动元件在公用透镜和一组其它透镜中的任何一个之间进行光束耦合。这种结构具有全部透镜用于近轴的优点，但是它们的每根光纤都要求有一个单独的透镜，并且必须分别安装和调准。

图 1 2 所示的另一项研究具有一些重要的特性。这里公用光纤对准透镜的轴线，而其它光纤则围绕若公用光纤在同一个透镜上排列成一个圆阵。一个安装在机械转子上的平面镜产生了一束反射光。这样，光就能在公用光纤和圆阵上的任何一根光纤之间进行耦合。只需要一个透镜，而光纤一定要离开轴固定，对于六个位置以内的情况，离开轴的距离能像光纤直径那么小。反射镜可以做成透明的楔形（在背离透镜的一边有反射膜），楔形反射镜贴住透镜的端部，因此能自动地使反射镜保持倾斜角。然后，转子仅仅提供角度的变换，而一个相当简单的机械制动器可以有足够的精度。图 1 3 表示了这种开关的实验样机，它采用标准的电气式转动开关制成制动器机构。如图所示，这种开关的结构能够方便地安装在仪器面板上，所有的光纤都从背面进来。

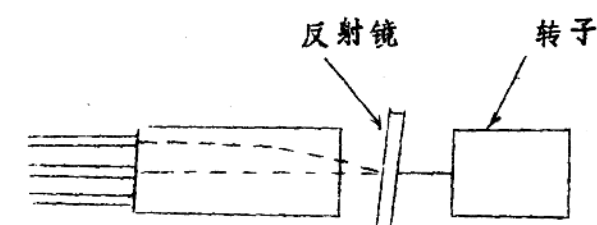
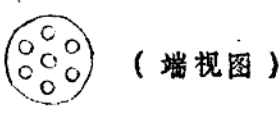


图12.多位开关的剖面简图



以不同的角度进行反射，然后透镜就把它们聚焦在不同的输出光纤上。

与前面所讲的干涉滤光片器件不同，这是一个并行器件，它只使用一个波长敏感元件（和一个透镜）来分出各个讯道。将图14与图9或图10进行比较，显而易见这是一个非常简单的器件。也可以得到这样的结果：当用于多模光纤时、光栅式器件通常能比干涉滤光片式器件提供更低的串音。

（照片，略）

图13 图12所表示的六位置开关的实验样机。请注意，这个开关采用标准电气式旋转开关制成了制动器机构。

G、光栅复用器

图14表示了使用平面光栅作为波长敏感元件的波分复用器的基本结构。当用作解复用器时，来自公用光纤的输入光束由透镜准直，光栅对不同的波长组分

在透镜和光栅之间的空间可以用楔形介质垫片填满，使整个器件能粘合在一起成为稳定坚固的组件。图15（照片，略）表示了这种器件的实验型式。这是第一个业已报导过的这种整体器件，由于实验的细节以前尚未发表，因此将这些资料刊登在附录里。

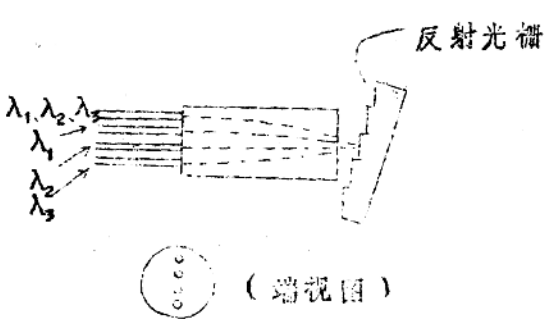


图14 使用平面反射光栅的波分复用器剖面简图。

我们认为，关于多模光纤的波长复用，一般说来光栅式器件比干涉滤光片式器件更可取，因为光栅式器件很简单并且通常有较好的光学性能。一个可能的例外是具有很宽的讯道间隔的两讯道器件。

(图 15 略)

然而，甚至在这种情况下，光栅式复用器仍可能是一个很强的竞争者。

图 15 图 14 所示类型的复用器实验模型。进一步的细节请看附录。(回形针表示了复用器的相对尺寸)。

对于单模系统来说，情况稍有不同。基本的问题是，在光栅式复用器中，讯道带宽与讯道间的间隙之比大致等于输出光纤的芯径和它的包层直径之比。对于典型的

多模光纤，这个比值是 $1/2$ 左右；但是，对于单模光纤，这个比值 $\leq \frac{1}{10}$ 。这就意味着，对于给定的讯道间隔，单模光栅式复用器

的讯道宽度至少比多模器件小 5 倍，这就会导致对光源波长稳定性的过高要求。

对于单模复用器(和解复用器不同)，图 10 所示的普通结构的干涉滤光片式器件可能是最好的方法，因为讯道带宽是由滤光片的特性而不是由光纤尺寸决定的。复用器不受干涉滤光片一般说来串音较高的影响，并且所有的透镜都用于近轴。然而，对于单模系统的解复用器来说，也许不必用单模光纤来输出，因为这些光纤比较短并且直接引至检测器。在这种情况下，输入的单模信号能够用接多模输出光纤的光栅式器件满意地分离，因此，我们认为，这可证明这是个最好的方法。

H. 隔离器

在某些光纤系统中可能必须用隔离器来防止反射信号到达激光器光源，图 16 表示了这种隔离器的基本结构。为了获得最小的插入损耗，偏振器可以采用具有偏振膜的立体式光分束器的形式。在 $0.8 \sim 0.9$ 微米波段，最好的可以应用的旋光器材料需要几个厘米