

光隔离器的基本原理

偏振无关光纤隔离器 (Polarization Insensitive Fiber Isolator)

光纤隔离器根据偏振特性可分为偏振无关型 (Polarization Insensitive) 和偏振相关型 (Polarization Sensitive) 两种。由于通过偏振相关型光纤隔离器的光功率依赖于输入光的偏振态, 因此要求使用保偏光纤作尾纤。这种光纤隔离器将主要用于相干光通信系统。目前光纤隔离器用的最多的仍然是偏振无关型的, 我们也只对此类光纤隔离器做分析。

1 偏振无关光纤隔离器的典型结构

一种较为简单的结构如图 1 所示。这种结构只用到四个主要元件: 磁环 (Magnetic Tube)、法拉第旋转器 (Faraday Rotator)、两片 LiNbO₃ 楔角片 (LN Wedge), 配合一对光纤准直器 (Fiber Collimator), 可以做成一种在线式 (In-line) 的光纤隔离器。

2 基本工作原理

下面具体分析光纤隔离器中光信号正向和反向传输的两种情况。

2.1 正向传输

如 (图 2) 所示, 从准直器出射的平行光束, 进入第一个楔角片 P1 后, 光束被分为 o 光和 e 光, 其偏振方向相互垂直, 传播方向成一夹角。当他们经过 45° 法拉第旋转器时, 出射的 o 光和 e 光的偏振面各自向同一个方向旋转 45°, 由于第二个 LN 楔角片 P2 的晶轴相对于第一个楔角片正好呈 45° 夹角, 所以 o 光和 e 光被折射到一起, 合成两束间距很小的平行光, 然后被另一个准直器耦合到光纤纤芯里去。这种情况下, 输入的光功率只有很小一部分被损耗掉, 这种损耗称之为隔离器的插入损耗。(图中“+”表示 e 光向此方向偏折)

2.2 反向传输

如 (图 3) 所示, 当一束平行光反向传输时, 首先经过 P2 晶体, 分为偏振方向与 P1 的晶轴各呈 45° 夹角的 o 光和 e 光。由于法拉第效应的非互易性, o 光和 e 光通过法拉第旋转器后, 偏振方向仍然向同一个方向 (图中为逆时针方向) 旋转 45°, 这样, 原先的 o 光和 e 光在进入第二个楔角片 (P1) 后成了 e 光和 o 光。由于折射率的差别, 这两束光在 P1 中再也不可能合成一束平行光, 而是向不同的方向折射, e 光和 o 光被进一步分开一个更大的角度, 即使经过自聚焦透镜的耦合, 也不能进到光纤纤芯中去, 从而达到了反向隔离的目的。此时的传输损耗称之为隔离度。

3 技术参数

对于光纤隔离器, 主要的技术指标有插入损耗 (Insertion Loss)、反向隔离度 (Isolation)、回波损耗 (Return Loss)、偏振相关损耗 (Polarization Dependent Loss)、偏振模色散 (Polarization Mode Dispersion) 等, 以下将作一一说明。

3.1 插入损耗 (Insertion Loss)

在偏振无关光纤隔离器中, 插入损耗主要包括光纤准直器、法拉第旋转器和双折射晶体等的损耗, 由光纤准直器造成的插入损耗的详细分析请参见《准直器原理》。隔离器芯主要由法拉第旋转器和两片 LN 楔角片组成。法拉第旋转器的消光比越高、反射率越低、吸收系数越小, 插入损耗就越小, 一般法拉第旋转器的损耗约为 0.02~0.06dB。由 (图 2) 可知, 一束平行光经过隔离器芯后, 会分成 o、e 两束平行光。由于双折射晶体的固有特性, no' ne, o 光和 e 光不能完全会聚, 从而造成附加损耗。

3.2 反向隔离度 (Isolation)

反向隔离度是隔离器最重要的指标之一,它表征隔离器对反向传输光的衰减能力。

影响隔离器隔离度的因素很多,具体讨论如下。

(1) 隔离度与偏振器距法拉第旋转器距离的关系

(2) 隔离度与光学元件表面反射率的关系隔离器中光学元件表面反射率越大,隔离器的反向隔离度就越大。实际工艺中必须使 R 小于 0.25%,才能保证 I_{so} 大于 40dB。

(3) 隔离度与偏振器楔角、间距的关系双折射晶体为钽酸钇 (YVO4) 的光隔离器,当其楔角小于 2° 时,隔离度随角度的增大而迅速增大,当楔角大于 2° 时,变化就小多了,大约稳定在 43.8dB 左右。不同材料构成的光隔离器,其隔离度随楔角而变化是不一样的。光隔离度随间距的增大而变化的幅度不大,因为隔离度主要取决于反向输出光与光轴之间的夹角。

(4) 隔离度与晶轴相对角度的关系

两个偏振器及旋光器晶轴相对角度对隔离度的影响是最大的,当角度相差大于 0.3 度则隔离度将不能大于 40dB。其他的因素还有很多,主要是两个偏振器的消光比,晶体厚度等等,要使隔离度大于 40dB 以上,

还必须使: R_1 和 R_2 相等,小于 0.25%;分束器晶轴间夹角误差小于 0.57° 等。

此外,由于在法拉第效应中, $\theta = VBL$, V 不仅是波长的函数,也是温度的函数,所以法拉第旋转角也会随温度变化,这也是因素之一。

3.3 回波损耗

光隔离器的回波损耗 RL 是指正向入射到隔离器中的光功率和沿输入路径返回隔离器输入端口的光功率之比,这是一个重要的指标,因为回波强,隔离度将受到很大的影响。隔离器的回波损耗由各元件和空气折射率失配并形成反射引起。通常平面元件引起的回波损耗在 14dB 左右,通过增透膜和斜面抛光等可以使回波损耗到 60dB 以上。光隔离器的回波损耗主要来自它的准直光路(即准直器部分),经理论计算当斜面倾角在 8° 时,回波损耗大于 65dB。准直器的回波损耗在准直器原理中已经分析,请参看《准直器原理》。

3.4 偏振相关损耗 PDL

PDL 与插损不同,它是指当输入光偏振态发生变化而其它参数不变时,器件插入损耗的最大变化量,是衡量器件插入损耗受偏振态影响程度的指标。对于偏振无关光隔离器,由于器件中存在着一些可能引起偏振的元件,不可能实现 PDL 为零,一般可接受 PDL 小于 0.2dB。

3.5 偏振模色散 PMD

偏振模色散 PMD 是指通过器件的信号光不同偏振态之间的相位延迟。在光无源器件中,不同偏振模式具有不同的传播轨迹和不同的传播速度,产生相应的偏振模色散。同时,由于光源谱线有一定带宽,也会引起一定色散。在高速光通讯系统中,PMD 就非常重要了。在偏振无关光隔离器中,双折射晶体产生的两束线偏振光以不同的相速和群速传输,即是 PMD,其主要来源是用以分离和会聚 o 光、e 光的双折射晶体。它

可由两束线偏振光的光

程差 ΔL 近似得到。

偏振模色散:

在偏振无关隔离器中:

显然,可以通过求分个元件的光程 L ,来求整个的器件的 PMD。PMD 主要受 e 光和 o 光折射率差的影响,因此与波长也有较大的关系。

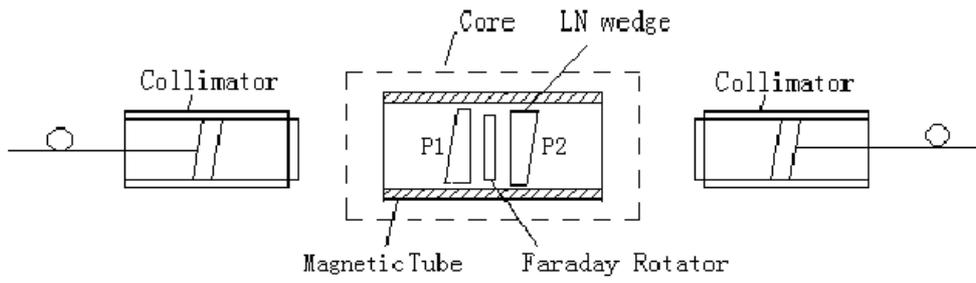


图 1

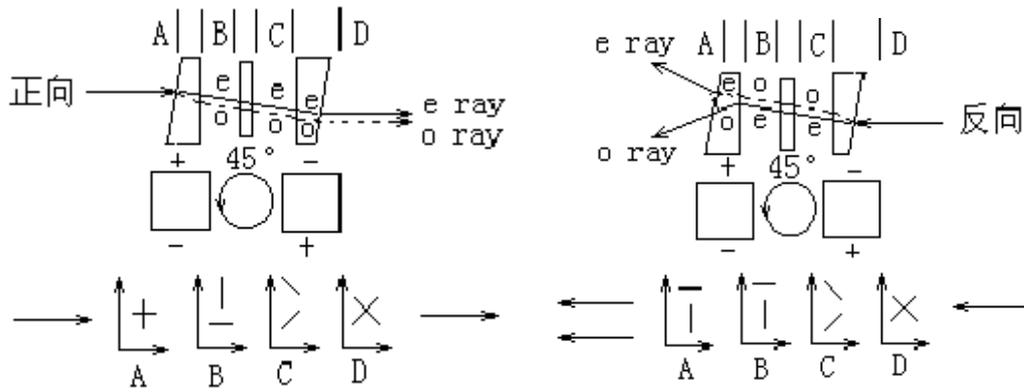
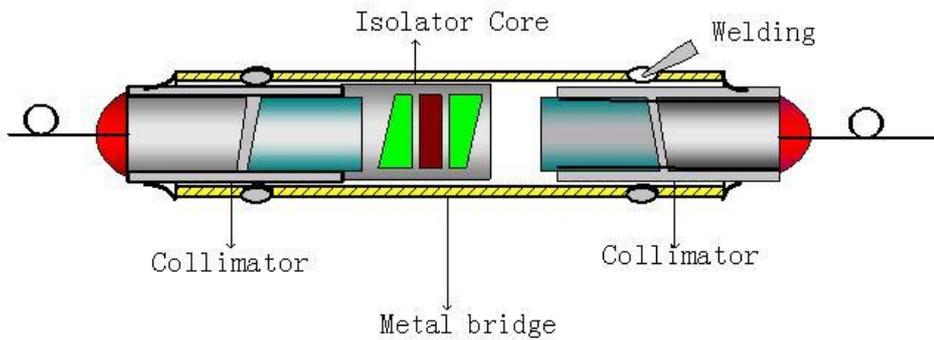
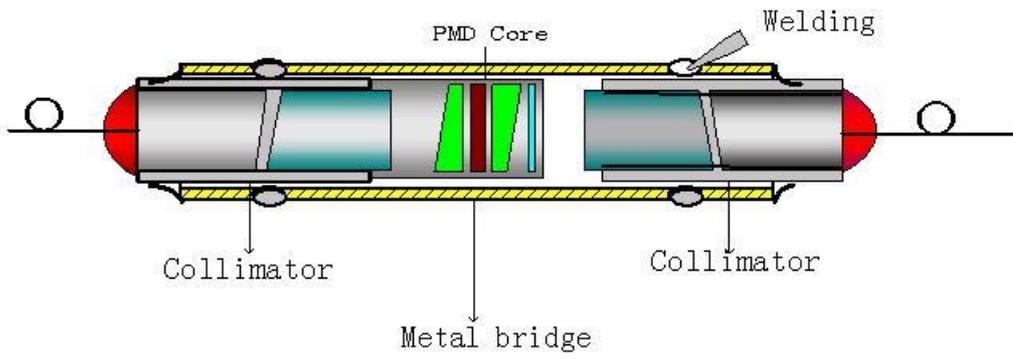


图 2

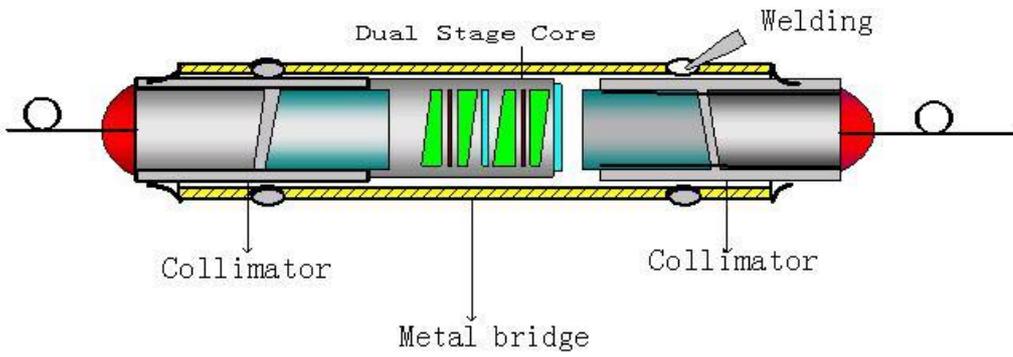
图 3



Single Stage Isolator



PMD Isolator



Dual Stage Isolator