

神奇的偏光片

范志新

(深圳市三利谱光电科技股份有限公司 518106)

偏光片的全称是偏振光片，作为偏振光学元件，它具有柔性好、轻薄，面积不受限等特点，早期，人们通过观看立体电影要佩戴的偏光眼镜知道了偏光片，现在，偏光片是液晶显示器件主要组成部件，随着液晶显示器件的广泛应用，偏光片也正被大量地生产制造着。

偏光片的分类

对于学过大学物理课程的理工科大学生而言，学过的偏光片只有一种，就是吸收型偏光片。但对于偏光片使用者而言，了解得更详细些，知道偏光片按用途分类有液晶显示器(LCD)用偏光片，有机电致发光二极管(OLED)用偏光片和眼镜用偏光片等之分。还知道，液晶显示器用偏光片有扭曲向列相液晶显示器(TN-LCD)系列，超扭曲向列相液晶显示器(STN-LCD)系列，薄膜晶体管液晶显示器(TFT-LCD)系列。又知道，眼镜用偏光片有观看三维(3D)立体电影用和司机用防眩光眼镜用以及太阳镜用偏光片之分。

对于偏光片研究者而言，知道的可能就更深入些，偏光片按原理分类有反射型、折射型、双折射型、散射型、二向色型等分类。制作偏光片所能利用的原理是二向色性，双折射，反射和散射四种现象。吸收型偏光片按二向色性物质分类有

H, J, K, L, M, S等偏光片之分。利用长度为 $0.1\sim 1\ \mu\text{m}$ 微晶型的金属，如金、银、汞等制成的偏光片称“M”片。利用微晶型的碲、石墨等制成的偏光片，称“S”片。利用微晶型的碘硫酸奎宁制成的偏光片称为“J”片。用无机碘等制成的偏光片，称“H”片。利用有机染料制成的偏光片，称“L”片。利用氯化氢气体在一定温度下，使聚乙烯醇脱水，所制成的偏光片，称“K”片。上述各种类型偏光片，以H和K片的性能最佳。

实际应用上除了吸收型偏光片之外，还有反射型偏光片和散射型偏光片。自然光入射到偏光片上，都可以分解成水平(x 坐标)和垂直(y 坐标)两个均等分量。假设偏光片的透光轴在水平方向，吸收型偏光片是把 x 分量的一半光透射， y 分量的一半光吸收，因此吸收型偏光片外观上基本是暗灰色的。反射型偏光片是把 x 分量一半光透射， y 分量一半光反射，因此反射型偏光片外观上是亮银色的。散射型偏光片是把 x 分量一半光透射， y 分量一半光散射，因此散射型偏光片外观上是淡白色的。

偏光片的原理和制造工艺

吸收型偏光片的原理是二向色性，包括碘系偏光片和染料系偏光片等。二向色性是有些材料在不

同方向上对光的吸收不同，如电气石和碘硫酸奎宁等晶体材料，尤其是碘针状晶粒这种光吸收各向异性差别非常大。现在实际生产的碘系偏光片是把由聚乙烯醇制成的薄膜在碘溶液中浸泡后，在一定温度下拉伸，然后进行处理制成H型偏光片。经过拉伸后，含碘针状晶粒——聚乙烯醇分子沿着拉伸方向规则地排列起来，形成一条条导电的长链。碘中具有导电能力的电子能够沿着长链移动，当光波照射到薄膜上时，光波中沿着长链方向的光波电矢量振动被强烈地吸收，而垂直于长链方向的光波电矢量振动不被吸收，能够透过，这样透射光就成为线偏振光，垂直拉伸的方向就是透光轴的方向。这种偏光片的优点是制造工艺简单，价格低廉，偏光片的面积可做得很大等。

染料偏光片也是现在大量生产的吸收型偏光片。碘系偏光片的制造工艺，浸色、拉伸、粘合工艺同样适用于染料偏光片的制造。只不过这时用染料代替碘。随着LCD产业的发展，单一色彩的偏光片已不能适应产品的需要，彩色偏光片的品种逐渐增多。彩色偏光片的二向色性依赖于染料分子所固有的二向色性，使膜具有偏光机能，利用染料的吸光特性使其在使用中显出各种色彩。从物理方面理

解染料偏光片的工作原理，可以把某些高分子塑料当作各向异性导电介质，在拉伸方向电导率比较大，看作是不连续的导电介质，在垂直拉伸方向电导率比较小，看作是绝缘电介质，垂直拉伸的方向也就是透光轴的方向。

吸收型偏光片是由美国人兰德（Edwin Herbert Land，1909 ~ 1991）在1928年发明的，他当时是就读于哈佛大学物理系的19岁的大学生，他发明偏光片的初衷是要人们开汽车时车灯不刺眼，驾驶更安全，人造偏光片的发明使偏振光的应用得到迅速的发展。1937年兰德获得利用偏光片制作立体图像的专利，1939年，在纽约举行的国际博览会上第一次展示偏光片立体电影。1952年，世界上第一家偏振光立体电影院正式落成。兰德生平充满传奇色彩，他不仅成功制出了偏光片，发明了立体电影拍摄法，他还在第二次世界大战期间，将偏振原理应用到军工器械上，制成了红外线滤镜，轻量级测距仪、高炮瞄准器和夜间使用的护目镜。他在1947年发明了一种能在60秒钟内拍出一张完整照片的相机，兰德摄影法很快在商业、军事和科学上得到了广泛应用。兰德又有许多创造，包括即时显影彩色片的发明，他在光学和塑料的革新上得过160多项专利，获得了10多所大学的名誉学位，并得到许多科学机构的奖金。但就是这么一位美国20世纪发明家名人殿堂中的显要人物，却是为了搞发明而几度退学，并没有拿到他的大学毕业文凭。

反射型偏光片的原理是对光偏振方向的选择反射，采用多层膜结构，一层是不受拉伸影响的各向同性均匀膜，折射率为 n_o ，相邻层是受拉伸影响很大的各向异性膜，拉伸方向折射率为 n_e ，垂直拉伸方向折射率还是 n_o 。于是对于垂直拉伸方向，相邻两层膜折射率相等，就是相同的介质，不发生反射；但对于沿拉伸方向的光束偏振分量两相邻膜层折射率不同，因此发生界面反射，虽然两个折射率相差不大，反射率不高，但是由于膜层很多，号称“千层饼”结构，导致沿拉伸方向反射成分积少成多，透射成分消耗殆尽，微乎其微了。结果就是垂直拉伸方向是透光轴，这个方向的偏振光分量全透射，平行拉伸方向的偏振光分量全反射。这种半透半反偏光片能当镜子用，眉毛胡子都给照得十分清楚，某些应用上为了减少这种镜面效果，反倒要做表面雾化处理，使反射光成为漫反射，更利于改变偏振状态加以再利用。

散射型偏光片的原理是对光偏振方向的选择散射，采用二元成分结构，一种是基体各向同性材料，另一种是分散各向异性材料。制作散射型偏光片有多种技术方案，其中之一是把预聚合物和向列相液晶混合，涂在聚乙烯醇薄膜之间用覆膜机复合成膜，经过热聚合或紫外光引发聚合使之相分离，液晶形成微米尺度大小的液晶微滴，聚合物基体把液晶微滴包裹起来，形成聚合物分散液晶（PDLC）。将薄膜拉伸定型，液晶微滴由圆球变成椭球，液晶分子在椭球长轴方向择优

取向，最后再把拉伸聚合物分散液晶膜复合上保护膜就制成散射偏光片。没经过拉伸的聚合物分散液晶膜，液晶微滴既不是各向同性的普通液体，也不是各向异性的单轴晶体，权且当作多畴多晶散射体吧。经过拉伸的聚合物分散液晶膜，液晶微滴有了大致取向，可以看作各向异性的单轴晶体。设计液晶寻常光折射率 n_o 与聚合物折射率 n_p 相等，沿拉伸方向液晶取向非常光折射率 n_e 与 n_p 不相等，则拉伸方向的偏振光分量散射，垂直拉伸方向的偏振光分量透射，垂直拉伸方向就是透光轴方向。不采用胶片拉伸技术，用玻璃夹PDLC，对前后两片玻璃施加剪切应力也能很方便地制备出散射偏光片。

偏光片的应用

神奇的偏光片自从诞生以后就有很多应用，不但是LCD主要组件原材料，也可用于太阳镜、防眩护目镜、摄影器材的滤光镜、汽车头灯防眩处理及光量调整器，其他还有偏光显微镜与特殊医疗用眼镜等。由于液晶材料具有特殊的电光特性，不仅在平板显示技术上用到液晶，在很多非显示电光器件上也应用到液晶材料，也就用到了偏光片。

液晶显示器的结构主要由偏光片、透明导电玻璃以及液晶材料构成。最简单的扭曲向列相液晶显示器（TN-LCD）的工作原理是旋光效应，在两枚正交偏光片之间的液晶盒，液晶分子旋转 90° ，使光束通过为亮态，电场作用使液晶分子沿电场方向取向而失去旋光作

用,使光束不能通过为暗态。不用于显示信息,也有很多种液晶电光器件,如液晶光阀、液晶滤光片、液晶光栅、液晶传感器等。液晶光阀包括液晶调光眼镜、液晶电焊面罩、液晶光学快门等。凡是应用液晶双折射原理制造的电光器件,几乎都要用到偏光片。

偏光眼镜有多种产品和用途,有观看三维立体电影的3D眼镜,有司机夜间驾驶会车用防强光液晶调光眼镜,有大众用防眩光太阳镜等。3D眼镜的特点是左右两眼两枚偏光片互相垂直,佩戴3D眼镜观看立体电影,是因为立体电影在拍摄时,用两个摄影机,两个摄影机的镜头相当于人的两只眼睛,它们同时分别拍下同一物体的两个画像,放映时把两个画像同时映在银幕上。如果设法使观众的一只眼睛只能看到其中一个画面,就可以使观众得到立体感。为此在放映时,两个放映机每个放映机镜头上放一个偏光片,两个偏光片的偏振透光轴方向相互垂直,观众戴上用偏光片做成的眼镜,左眼偏光片的偏振光轴方向与左面放映机上的偏振光轴方向相同,右眼偏光片的偏振光轴方向与右面放映机上的偏振光轴方向相同,这样,银幕平面上二维的两个画面分别通过两只眼睛观察,在人的脑海中就还原形成立体的影像了。3D眼镜的现代先进技术还有液晶光阀式的,观看立体电影时只用一个投影机放映,左右眼的眼镜光阀开关与投影机的图像同步驱动获得场序立体效果。佩戴偏光片眼镜观看立体电影,是被动立

体显示技术,现在液晶电视发展的3D技术是主动立体显示技术,不要观众佩戴眼镜,而是在电视屏幕上想办法,制作了光栅,黑条栅栏,柱面镜栅栏以及液晶微透镜阵列等,设计光栅遮挡左右眼,分别看到屏幕不同位置,形成立体图像。如此说来,主动3D液晶电视不需要佩戴偏光片眼镜,但液晶电视屏幕的偏光片没省掉,还要另外做光栅。

司机佩戴夜间驾驶会车用液晶调光眼镜,特点与液晶电焊面罩一样,眼镜上有传感器,探测到对面有灯光过来,驱动液晶光阀关断,减弱强光刺眼作用,达到安全驾驶的目的。另外夜间安全驾驶也可以在汽车车灯上做文章。汽车夜间在公路上行驶与对面的车辆相遇时,为了避免双方车灯的眩目,司机都关闭大灯,只开小灯,放慢车速,以免发生车祸。如驾驶室的前窗玻璃和车灯的玻璃罩都装有偏光片,而且规定它们的偏振透光方向都沿同一方向并与水平面成 45° 角,司机从前窗只能看到自家车灯发出的光,而看不到对面车灯的光,这样,汽车在夜间行驶时,既不要熄灯,也不要减速,可以保证安全行车。

在阳光充足的白天驾驶汽车,从路面或周围建筑物的玻璃上反射过来的耀眼的阳光,常会使眼睛睁不开。由于光是横波,所以这些强烈的来自路面,车顶盖,上空的散射光基本上是水平方向振动的。因此,只需带一副只能透射垂直方向偏振光的偏光太阳镜便可挡住部分

的散射光。光由物体表面反射时形成部分偏振光产生眩光,眩光的反面作用——增强亮度,减弱色彩饱和度,使物体轮廓变得模糊不清,使眼睛疲劳,不适。偏光太阳镜不仅适合司机,其他人群也适合佩戴,达到防眩光作用。常见太阳镜都是以黑色为主的深色眼镜,二色性原理的偏光片眼镜都是吸收型的偏光片,因此这种眼镜外观就是墨镜。其实太阳镜也可以用散射型偏光玻璃或反射型偏光玻璃制造,这种眼镜外观就是半透明白眼镜。偏振太阳镜是灰色或茶色的光学塑料偏光片,能吸收大部分紫外光和部分可见光。水面、路面、雪地和汽车上盖表面的反射光为部分偏振光,振动方向以水平方向为主,偏振太阳镜的透光方向为竖直方向,可有效阻止反射光刺眼眩光作用,这是其他品种太阳镜不可比的。

电焊是金属加工工艺中的一项重要手段,尤其在造船、锅炉、汽车制造、建筑等行业中,电焊工作量大,集中,因此这些行业中电光性眼炎的发病率也较高。简单的电焊面罩是一片深色玻璃,戴上面罩未起弧时,几乎什么也看不见。焊接时,必须先起弧后戴面罩,或在周围起弧后,再移至焊缝处进行焊接。这样不但影响工艺质量,而且易引起电光性眼炎。光控电焊面罩是一种应用了光探测技术与液晶器件技术的新型电焊面罩。其原理为,内部的光电传感电路在检测到电焊时产生的光线,经过放大,触发液晶光阀(透射式TN液晶)的控制电路,施加相应的驱动信号,

液晶光阀将改变其透光度，滤去电焊产生对人眼有害的红外以及紫外线，同时把强光减弱到人眼可以承受的弱光。液晶电焊面罩，由于电焊弧光十分强烈刺眼，液晶光阀不仅要有极快的响应速度，更要有极大的遮光指数，有时两枚偏光片的液晶盒都怕遮不住光，要把两个液晶盒，四枚偏光片组合起来用，还要加上防紫外光和防红外光的滤光片。

偏光片在偏光显微镜上应用的功能是首先把光源发出的普通自然光经过起偏偏光片转变为线偏振光，线偏振光经过载物台上的各向异性样品时，发生双折射干涉，形成相应的光强强弱分布，这种光强分布不经偏光片还是看不到，加上检偏偏光片就能从目镜中看清楚。偏光显微镜是用于研究所谓透明与不透明各向异性材料的一种显微镜。双折射性是晶体的基本特性，因此，偏光显微镜被广泛地应用在矿物、化学等领域，在生物学和植物学也有应用。

摄影用偏振滤光镜，是在照相机，摄影机等的镜头前面加一偏光片，就可以大大减轻强烈的直接

反射光的干扰，减低天空背景光的强度，增加天空云彩的层次等。立体摄影技术同立体电影技术原理相同，也是偏光片在摄影技术上应用的例子。

光测弹性术用于物质结构中的应力分析，各向同性的物质由于受到应力的作用会产生各向异性的光学性质，称之为光弹性效应或应力双折射效应。把受到应力的透明物体放在两片偏光片之间进行观察，就可以看到一些宽窄疏密不同，明暗相间的曲线条纹，分析研究这些条纹可以得出物体内应力分布的定量数据，这在科学研究，工程建设和工业生产中都是很有用的。

在光波导技术领域有光纤偏振控制器和偏振调制型光纤传感器技术，在液晶电视领域，有研究者认为偏振光容易引起视觉疲劳，将线偏振光改成圆偏振光可以解决这个问题，于是就有圆偏光片应用的液晶电视设计方案。

人们还可以把偏光片应用到节能调光玻璃上，改变两张偏光片之间的夹角就能调节进入室内的光线强度。偏光片现在也是价格低廉的物理实验教学和科普工具，能达

到让学生对光的知识有深刻认识的神奇教学演示效果。两张吸收型偏光片组合，透光轴平行半透明，透光轴正交完全吸收呈黑色遮光态。一张吸收型偏光片与一张反射型偏光片组合，透光轴平行半透明，透光轴正交呈黑色反光镜态，而且这两张偏光片熟前熟后效果还有所区别。一张吸收型偏光片与一张散射偏光片组合，透光轴平行半透明，透光轴正交完全散射呈灰色雾态。反射型偏光片的神奇应用是制作液晶显示器背光源增亮膜，替代一张吸收型偏光片，反射的偏振光经过导光板偏振状态发生变化，能被利用再透射过去，这样就提高了光能利用率。散射型偏光片目前还没有产业化，没有被深入研究和获得实际应用，但是作者认为散射型偏光片的神奇应用是可以用作半透明投影屏幕，与单片液晶投影机（包括硅上液晶微投影机）是“黄金搭档”，这种投影机出射光是完全偏振光，偏振方向与散射偏光片透光轴正交时，没有透射光浪费，在屏幕上发生全散射，背投影成像十分清晰。这种散射型偏光片半透明投影屏幕，顾客即能够隔着玻璃看清楚商

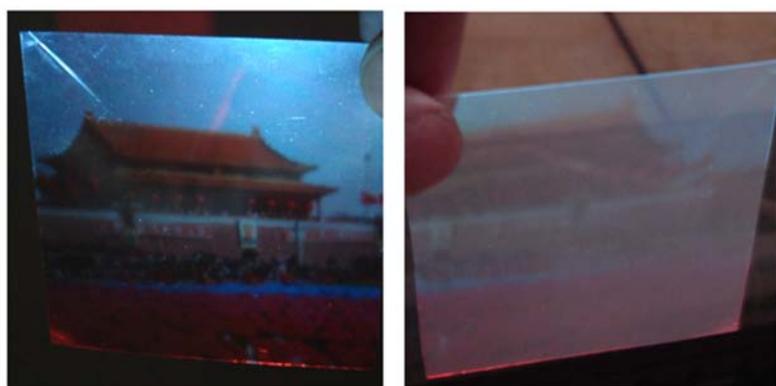


光轴平行

光轴 45°

光轴正交

图1 吸收型偏光片组合



前投影 背投影

图2 反射型偏光片投影效果



前投影 背投影

图3 散射型偏光片投影效果

场中的景物，又能清楚地看到玻璃上放映的广告视频图像，具有隔空悬物的魔幻效果。反射型偏光片经过适当的雾化处理也可以当透明投影屏幕用，效果是前投亮背投不亮。

图1是吸收型偏光片组合演示效果，图2是反射型偏光片投影效果，图3是散射型偏光片反射型偏

光片投影效果。

偏光片的未来应用前景

其实偏光片书写的神奇还远未结束，在科学前沿领域，还有一些特殊要求的偏光片亟待开发研制。现在大量应用的偏光片只对可见光波段有起偏检偏功能，其他波段需要另找办法。这是因为液晶材

料怕紫外光，引起液晶化学键打断，使液晶老化、分解等，影响显示特性，所以偏光片有抗紫外光功能。而高分子材料对红外光吸收强烈，所以塑料基偏光片对红外光不起偏。现在紫外光和红外光器件很多都需要偏光片，但是没有胶片型产品。例如红外摄影液晶光阀、红外光纤探测器件等，所用的偏光元件只能用金属线栅等昂贵的偏光片。当前太赫兹研究是世界最热门的科研课题之一，如能研制出太赫兹波段偏光元件将是一个了不得的成就。

总之，偏光片是神奇的，借助偏光眼镜，人们都感受到了立体电影的震撼效果。借助于吸收型偏光片，液晶显示器件才把世界显示得缤纷多彩。借助反射型偏光片，液晶显示器件背光源能量得到充分利用，为液晶显示器增加亮度。预计将来便携式硅上液晶微投影机与散射型偏光片“黄金搭档”配套应用，可以使透明投影屏幕背投影效果更好而得到更多应用。偏光片可以作为很实用的科普教学用具，为青少年演示别样精彩的光学知识。偏光片作为不可或缺的光学元件还将在科学前沿课题研究中大显身手。

科苑快讯

糖中提取3D石墨烯

利用糖浆泡沫可以生产一种3D网状的新型石墨烯。基于古老的“吹糖人”技艺，日本国际材料纳米结构中心的王学斌（Xuebin

Wang 音译）、阪东义雄（Yoshio Bando）与同事从普通的糖和氯化铵中提取糖浆后加热。这种被气体从氯化铵吹入糖浆泡中的葡萄糖基聚合物称为类黑精。剔除泡沫的糖浆继续加热，就留下了石墨烯的紧密结构。

该材料导电性好，机械性能优异（压缩到原体积的80%后仍保持良好的导电性和稳定性），而且造价便宜（每克仅0.5美元），可用于石墨烯基超级电容。

（高凌云编译自2014年2月24日《欧洲核子中心快报》）