

增透膜

John M. Young

(美国 Innovations Plus 公司)

摘要 增透膜在欧洲和亚洲已流行多年，在美国市场上已开始去探测这些膜层的优越性。这种膜大众化的主要原因是使用者的装饰得到改进，而且透过率的提高有助于驾驶员在黄昏或晚上行驶。了解增透膜怎样工作和怎样生产增透膜有很大意义，故本文对此以及增透膜的光学性能和耐久性都进行了讨论。

那是在 1892 年，“薄膜”镀层的原理首次被发现。英国一位名叫 Dennis Taylor 的科学家发现一块陈旧的透镜，其透过的光竟比一块新的透镜还多。这现象的原因是透镜存放了相当一段时间，其表面由于氧化形成了一层雾层。Taylor 碰巧发现的是雾层导致透镜的光透过率增大了。在 1904 年，Taylor 使用化学处理方法实现了人工老化透镜并获此项专利。

1935 年 Zeiss 获单层膜专利，并在二次世界大战后推出他们的 Punktal 镜片。单层膜是最先用于眼镜片上的“增透”膜。五十年代开始出现多层膜。从此，增透膜技术不断提高，在现今生活的许多领域中，增透膜已被广泛使用。

薄膜

增透或 AR 膜是“薄膜”镀层这一较大家族中的一名成员，它通过真空淀积方法而淀积在透镜上或其它透明物质上。薄膜层既可形成反射层，又可形成增透膜层。如今非常流行使用镀有金属铬的塑料瓶盖，如象香水瓶盖和喷发用液瓶盖。激光应用中的反射镜膜，其有效率达 99.9%，以保证其尽可能高的反射。

对于象显微镜和望远镜那样的复合透镜系统，如果不使用增透膜就十分无效，因为仪器里的每片透镜相继减少了光的透过，因此较镀

有增透膜的透镜系统，被观察的物体就显得模糊和暗淡。

照相机镜头也是复合系统。生产高级照相机的公司多年前就已使用增透膜；如果不使用增透膜，镜头内部反射导致的重像甚至会毁坏最好的业余摄影师拍摄的照片。然而本文的中心议题是关于眼光学，重点是镜片上镀 AR 膜。在 AR 膜的使用中，其最明显并可论证的优点是由于减少了那些不悦目的反射，使镜片的装饰性大为改善。这种反射会使我们看不到别人或使别人看不到我们。

镀有 AR 膜的镜片也大大提高了夜间驾驶的眼力。明亮灯光与夜间黑暗的反差增大了强反射对戴眼镜者的影响，正是这些反射给我们带来了许多麻烦。

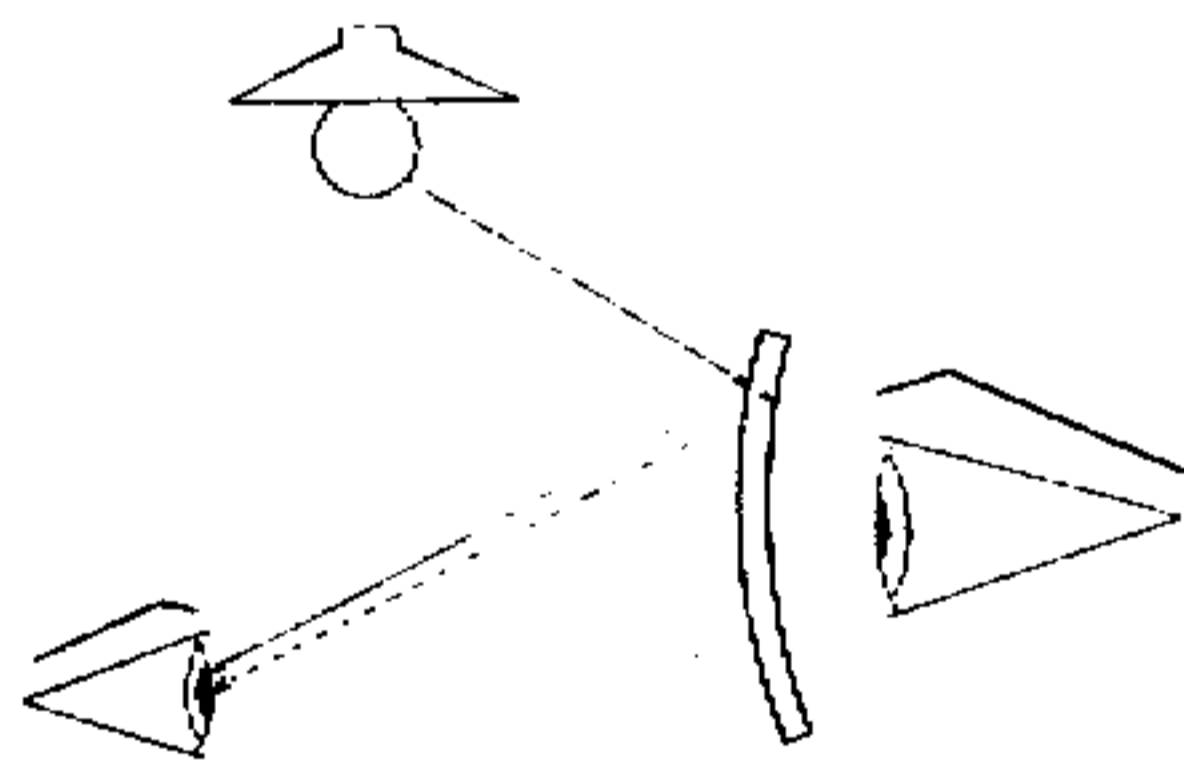


图 1
观察者从戴眼镜者的镜片前表面看到的反

射是最明显的，实际上观察者站在戴眼镜者前面看到的反射有一半是由镜片的后表面产生的。如果镜片的边缘较厚，就会发生“炼瓶效应”，这是光源进入边缘导致了光晕反射，观察者和戴眼镜者都看得到。戴眼镜者后部的亮物也将导致从镜片的前、后表面产生反射进入戴眼镜者眼里。

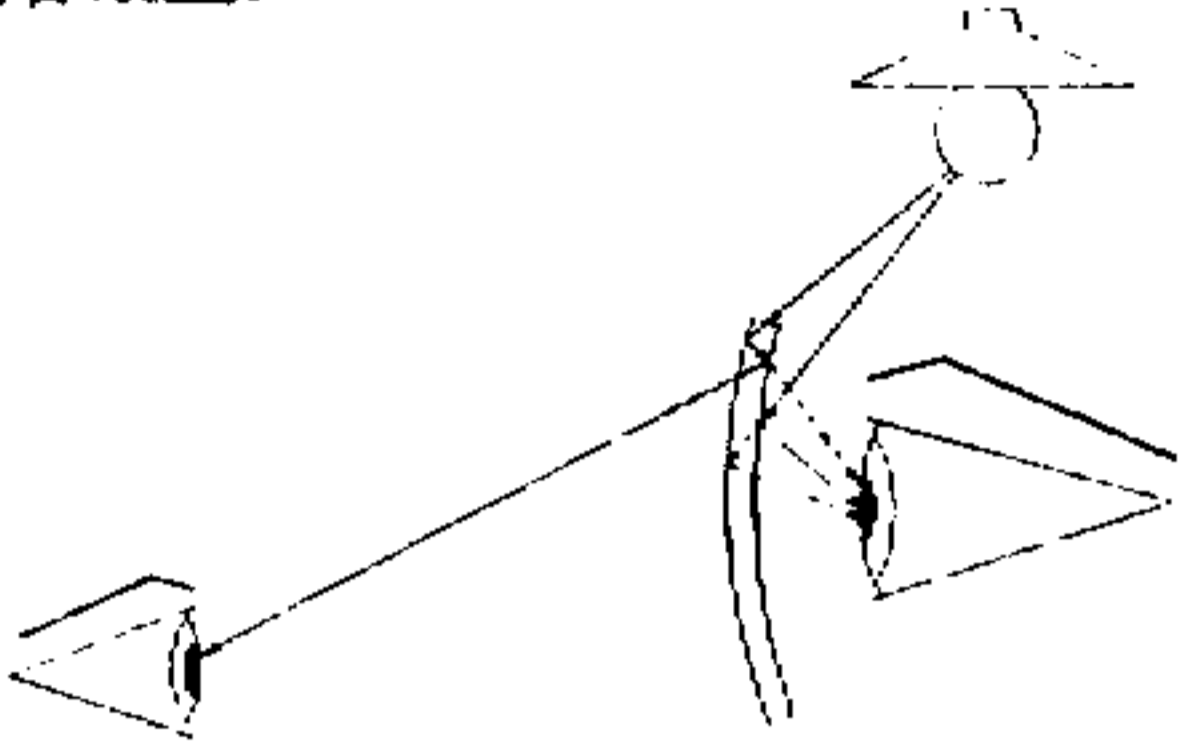


图 2

重像是内部反射的直接结果，而且出现的是模糊的假像。对于戴近视眼镜的人来说，像的位置比被反射的物体更靠向中部视觉通道的中心，或更确切地说与视轴所成的角度较小。但对于戴远视眼镜的人来说则相反。对于近视来说，重像是明显并且非常清楚的；对于远视来说，重像较大但不太清楚。戴眼镜者后部的物体也会导致这种问题，夜晚会变得更错乱。

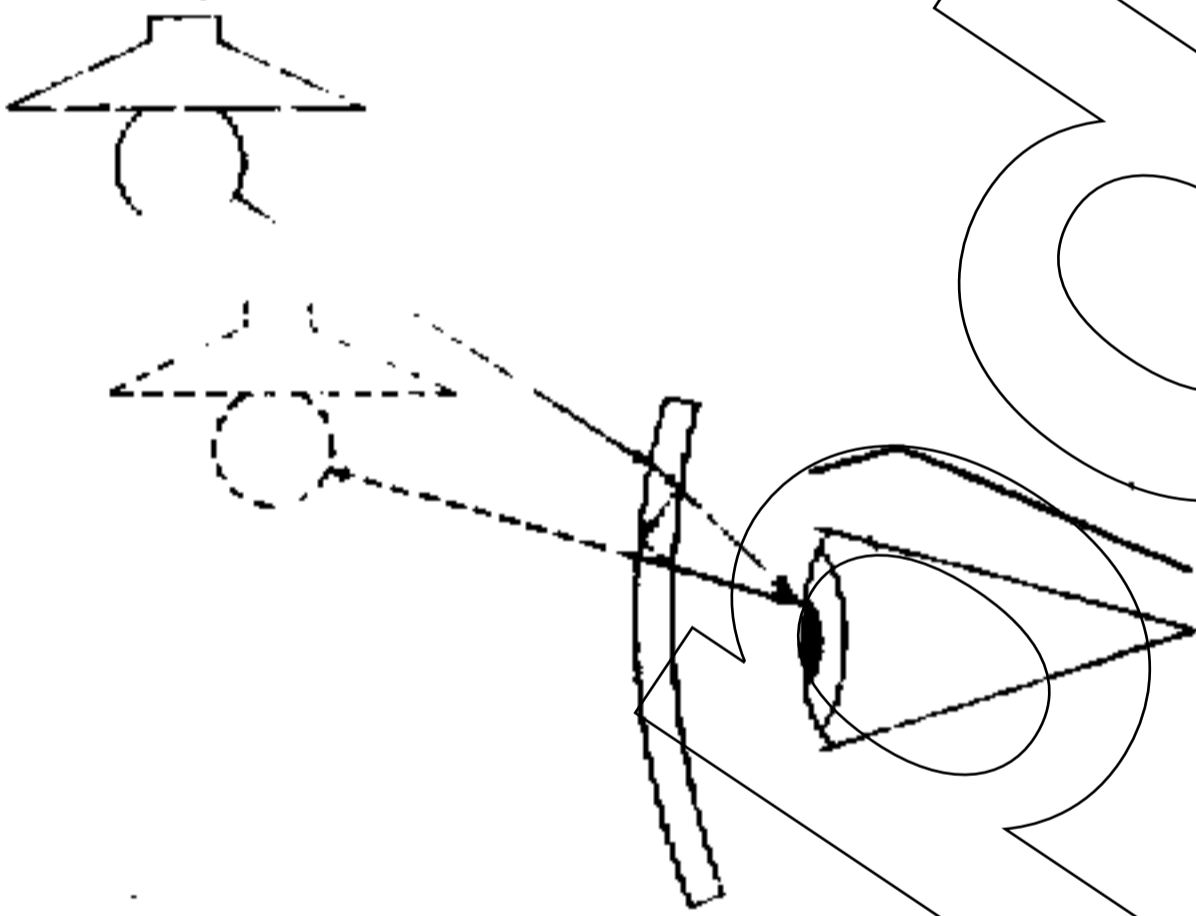


图 3

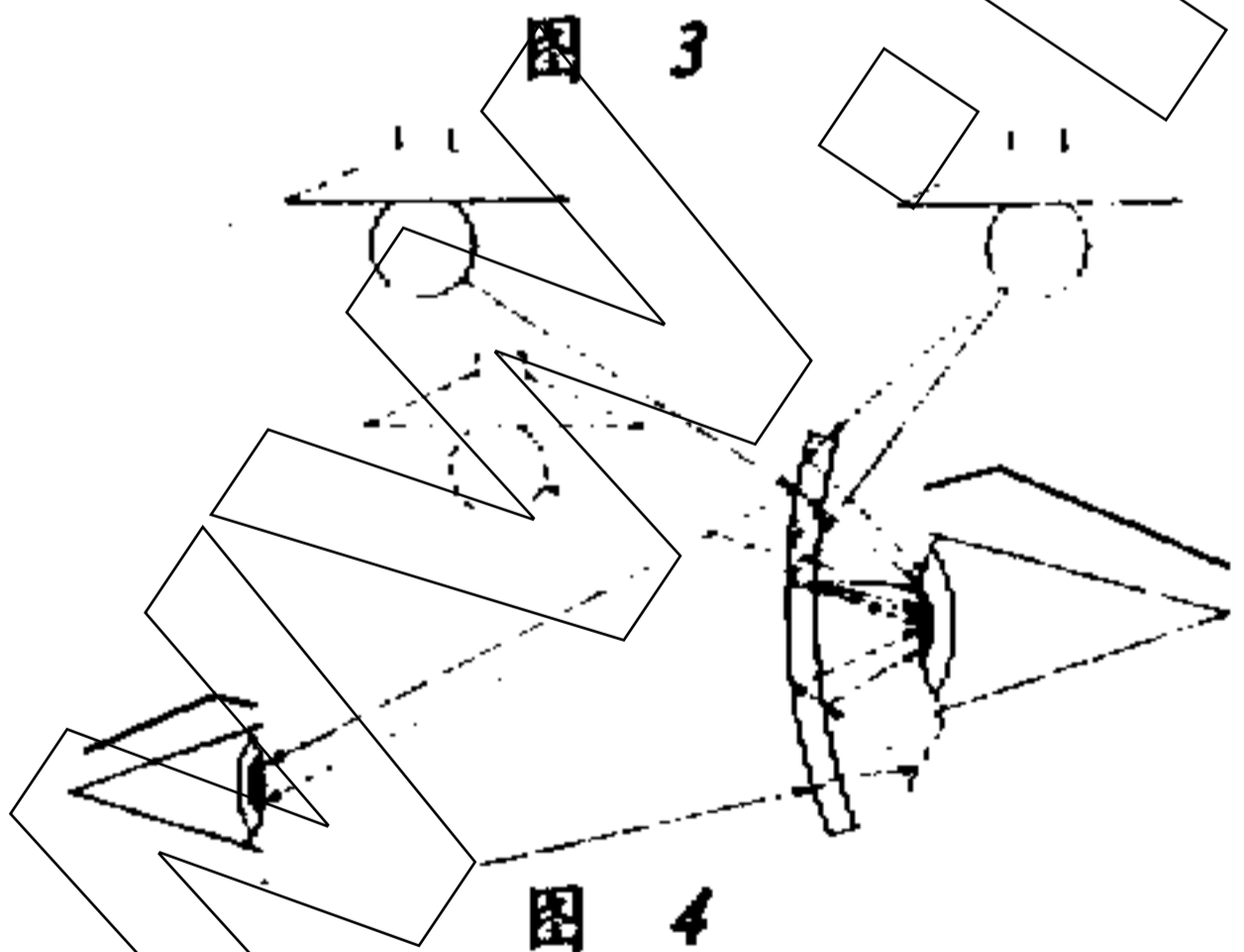


图 4

进入未镀膜的 CR-39 镜片的光只有 92% 被透过。最一般的反射之一是使用者自己眼睛的反射，从镜片前后表面产生反射，还包括使用者的眼睫毛和最靠近镜片的面部皮肤的反射，不会超过全部光的 8%，一般认为每个面 4%，但对使用者来说却会产生不小的错乱。此外，由于镜片光的透过率减少，必然对使用者的视力有影响。

镀单层膜镜片的透过率为 96%，镀双层膜镜片约为 97%，镀五层膜镜片约为 99.5%。

为了使镜片有效地发挥作用，它的两个面都必须镀膜。由于膜层厚度比光的波长还小，只能用埃作它的计量单位，一埃等于 10^{-7} 毫米。为了便于理解这种“薄膜”层，打个简单的比方：试想 150 层高楼的上有四分之一英寸的雪，其比值等于 2mm 镜片前表面镀有一 AR 膜层。

AR 怎样工作

AR 膜是怎样工作的？当光进入镜片时，大约 4% 的光从镜片前表面反射出来，即在那里透过率降低了 4%，这种反射同样发生在镜片后表面；本文只讨论镜片的前表面。

如果在镜片上镀一单层膜，则将出现一些附加的反射，有些是使光返入透镜的内部反射，而较少的反射从膜表面和透镜表面向外射向观察者，这似乎是弄巧成拙，但如能正确地镀膜，则膜层可消除反射从而提高透过率。要理解这一点，首先就必须了解光的波动理论。

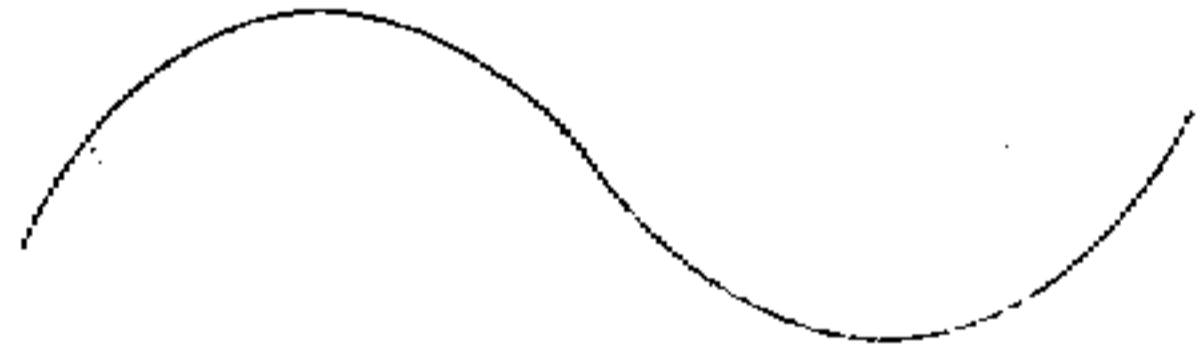


图 5

海洋里、乐曲中和 Times 广场的霓虹灯的波有许多相似处，除具有明显的并可测量的长度外，还具有幅度或高度。

抛入水塘里的两个石子或落在泥塘里的雨点可作为例子来说明增透膜的基本原理。由两个石子或雨点在水中产生的波最后相互介入，

以致有些波幅变得更大而其它的就消失了，这是“波动干涉”原理的作用。有叠加的或“相长干涉”和抵消的或“相消干涉”。

为了更好地理解这概念，可做一些简单的类比，如一加一等于二（相长），而一减一等于零（相消）。照此方法，如果把两堆沙加在一起，结果是这堆沙的高度是原先每堆沙高度的两倍（相长）；同样，把一堆沙倒入地上一个与这堆沙同体积的洞里，结果是零（相消）。

同样再看正弦波，把两个“正”波相加，这个新波的高度就增加一倍，这是相长干涉；反之，把一个正波与一个负波相加，其结果是零，这是相消干涉（见图6）。

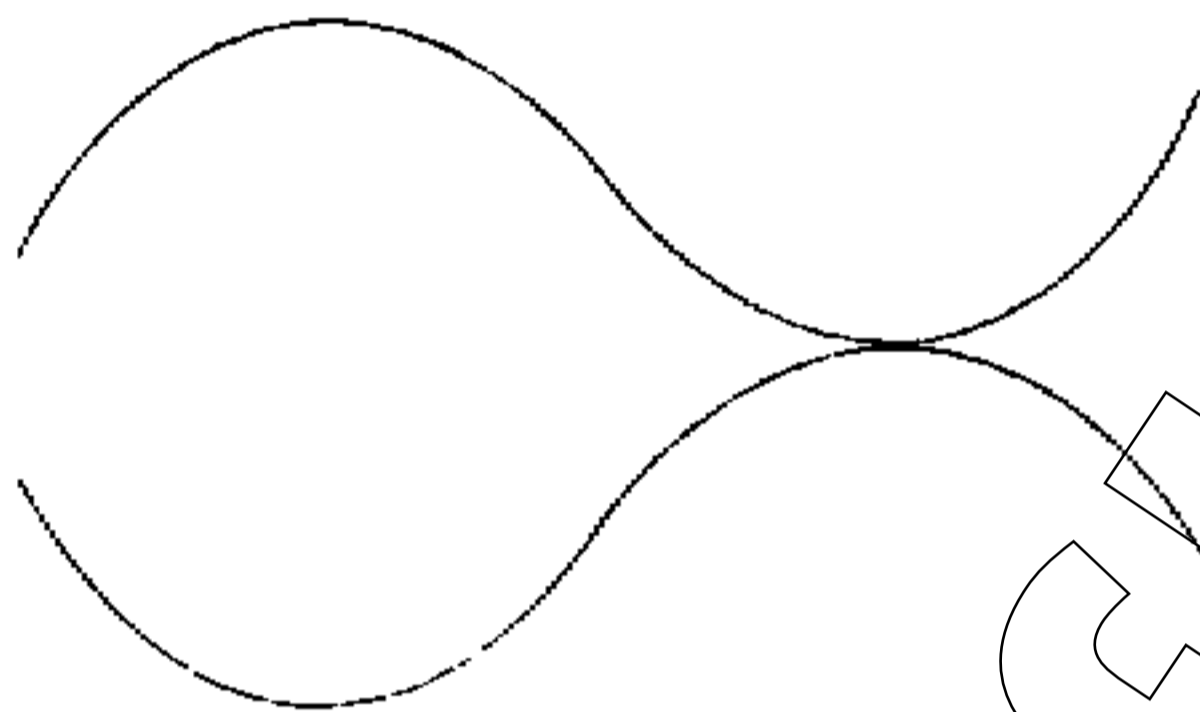


图 6

现在来看镜片，怎样用这种膜来帮助使用者。将光波看成从膜层表面进入同时又从膜层前表面反射。因为波是连续的，镜片前表面又把波反射出离开镜片，注意被反射出来的波已相反并成为紧跟着正波的一个“负波”。

膜层的厚度必须按四分之一波长厚度被精确测量，才会产生上述结果。就是说，波从膜层前表面移动了自身波长的四分之一路程到达透镜前表面，然后被透镜前表面反射后，又移动另一个四分之一波长路程离开表面。这是增透膜怎样起作用的一个非常重要的概念，因为现在波已移动了二分之一波长的路程，因此相对于紧跟的及其前的波，正好反相。

记住上述反相波以易于理解随后的叙述。波形成相消干涉并且相互抵消为零。由于这是单层膜的相消干涉只对一个波长发生，因此其它波长在某种程度上仍然可以看到，所有的反

射光不会完全被消除。

与此同时，从透镜前表面反射出来的大多数光波又被膜层内侧反射到使用者眼里，这就提高了透过率并且是相长干涉，它与前面谈过的在前表面出现的减少反射或消除反射相反。

当相消干涉发生时，简图似乎显示出降低清晰视力的光的散射现象。但只要技术精确，模糊是如此轻微（四分之一波长），因此是看不见的，然而使用者却能意识到增加了有用的光。为了消除多余的反射色或多余的可见光谱，必须镀有更多的膜层。这是一个非常复杂的问题，最好留给物理学家讨论。

光



图 7

由于至今还没有完美的 AR 膜，即使在多层膜的反射中也看得到一些残余的颜色，但这比在双层膜中看到的颜色少得多了。颜色的变化有时有助于鉴别镀膜产品的厂家。

膜的差异

用图解的方法有助于说明各种膜之间的差异，这里列举了三种膜：单层膜、双层膜和多层膜。第一条曲线的起点在 400 纳米处，曲线从起点向上延伸，超出了图，这是视见度曲线的起始部分，因为此图只显示出曲线总高度的 10%。这条视见度曲线在图右方回落并在约 700 纳米处截止。观察者在白天只能看到曲线起始、下落之间的波长。

在 10% 处从左向下延伸的是一条表示通过单层膜反射被减少的曲线，在 550 纳米处反

射几乎为零，但仍然可以看到其它波长和相对应的颜色，即光谱中的蓝色和红色区域，结果是绛红色，也可认为是没有绿色的负色。为此，单层 AR 膜不适合用来装饰眼镜，但它在光学的其它应用方面用处较大。

双层膜在较宽的光谱带减少反射，但对任一波长的反射不会降到低于 1.5%，因此仍能看到反射。反射中看到的负色补偿很微小。

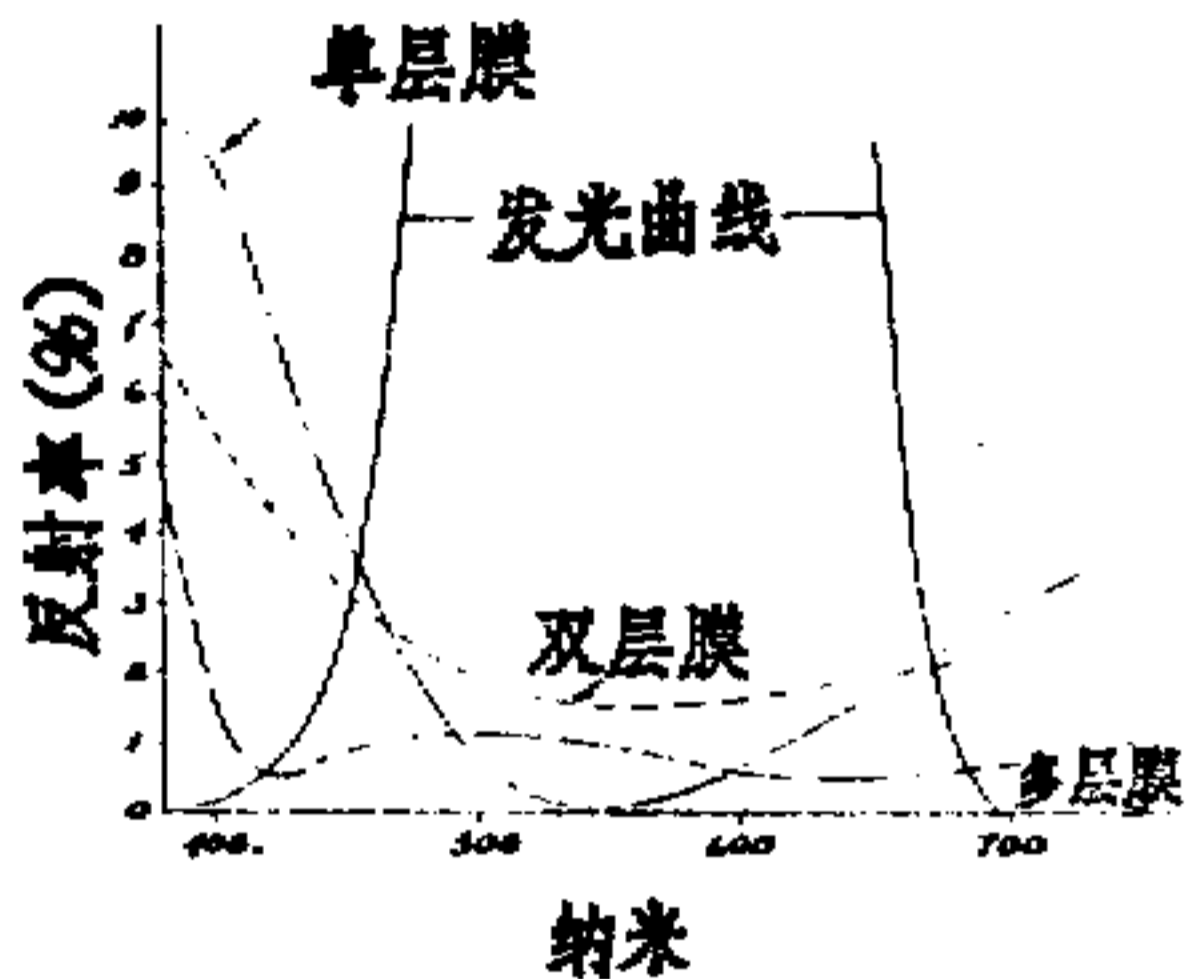


图 8

多层膜减少的反射最多，透过率有很大的提高，并能最佳地控制剩余颜色。由于多层膜反射小，反射中剩余的颜色少，因此用来改进装饰和提高视力最为理想。

比较多层膜的环境性能是很重要的。就耐磨性而言，多层膜比双层膜差。据设计多层膜镜片制造商的介绍，多层膜耐磨性与未镀膜的 CR-39 镜片相似或稍好。为提高膜的耐磨性，有些膜生产商宁可降低一些减反射效率而使用在四层膜上再镀一层石英膜的方法，用这种方法生产的膜，其增透能力仍然比双层膜的好。

保持镜片清洁

另一个重要部分是镜片在正常使用过程中粘在膜上的物质。例如，水复盖在镀有多层膜的镜片前表面上，就会增加反射，但由于水很快蒸发干此现象也就消失了。再如象人体分泌的汗，其中的油也会增加反射，由此造成的危害比未镀膜的镜片还大。

为使这一问题减至最小，良好的清洗习惯是最重要的。然而用（聚）硅酮作为添加剂的

清洗剂会形成一附加膜或将残余物留在镜片上，因此，不应使用抗静电清洗剂和防雾清洗剂。而普通的器皿清洗剂却是很有效的清洗剂。经过实践证明对镜片膜无不良影响的工业用清洗剂也可使用。在应用真空沉积技术过程中，清洗镜片确实是一个“尖端技术”，过程一开始就是认真清洗镜片，确保膜层能牢固地粘附在其表面上。镜片在进入真空室前，要经过完善的全自动超声波清洗程序，包括许多清洗和冲洗循环过程。

典型真空镀膜机的上部有一个旋转的镜片架。一监测器测量膜层的厚度，它实际上测量振荡石英晶体因其表面沉积膜层附加重量所引起的频率的变化，也可使用光学监测器。

把整个镀膜室抽为真空以使蒸发过程不受到空气分子的干扰。真空镀膜机一般有两个泵，第一个是机械旋转泵，用它进行粗抽。第二个阶段使用的泵是扩散泵，它是一个热油蒸发源，能把剩余的空气分子从真空室中排除，进一步降低压强。

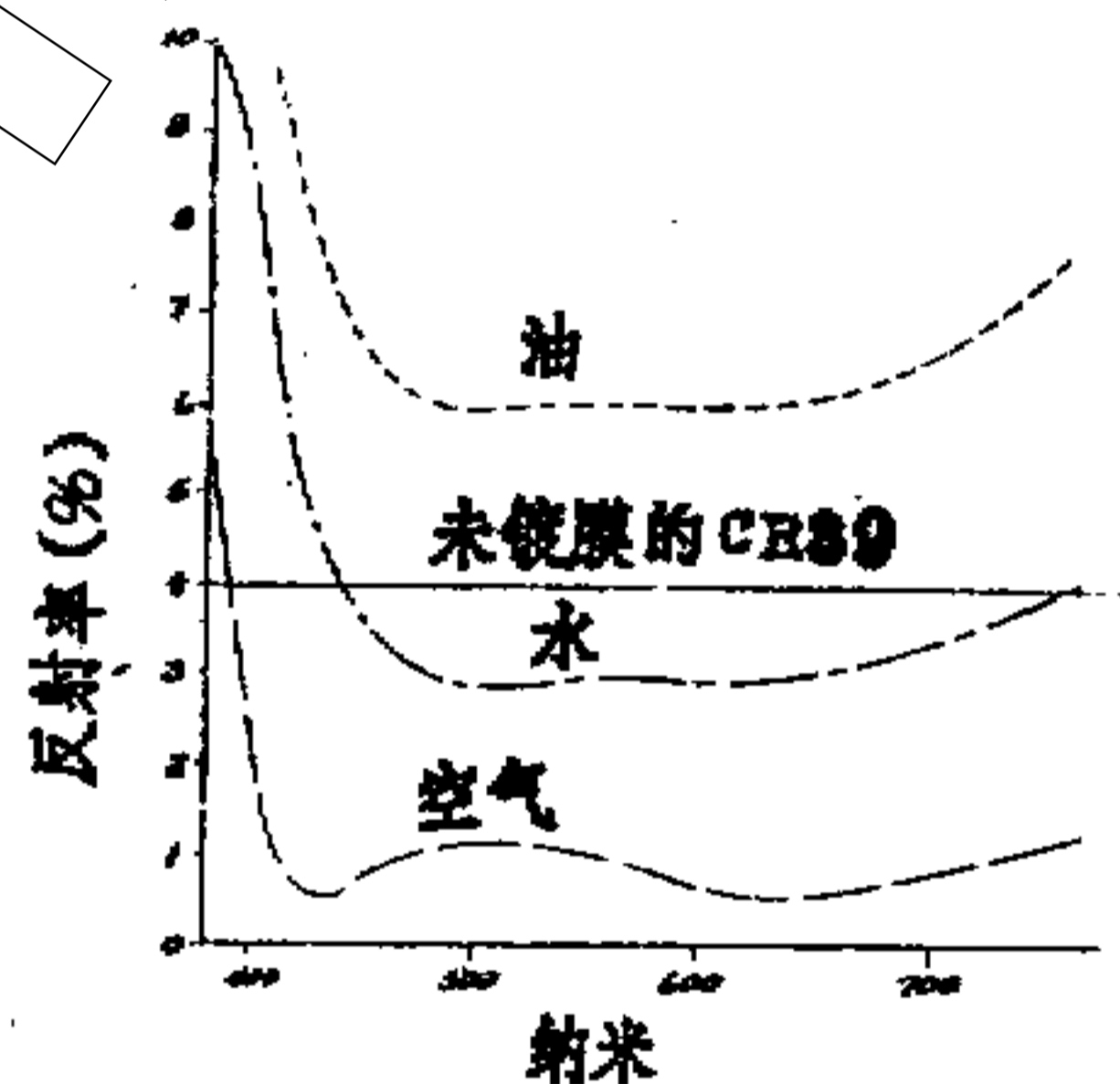


图 9

还有预热镜片的加热器。镀膜过程中，镜片的温度较高时，大多数膜层就会更牢固，并且更好地粘附在镜片表面上；加热也加快了镜片上水分的排除。

镀膜过程中使用电子束枪蒸发成膜物质。用作减反射膜的物质通常是金属镁、钠或锂的氟化物或氯化物。

把成膜物质放在一个水冷铜坩埚里，并把

电子束聚焦在它上面。被蒸发的物质分子在真空室行进附在镜片表面。

多层膜镀制过程中，由计算机控制时间和淀积的膜层顺序。镀完一面后，机器停止运转，然后把镜片翻转对另一表面进行同样的镀膜。有些镜片架使用机械翻转镜片，这样就不用停止机器，也节省了操作时间。

如果膜没有正常地淀积在镜片表面，则镜片各边缘或各不同位置的颜色都会出现差异。两种颜色的差异明显，一种是在镜片的各个边缘，另一种是穿过镜片的变化。为确保镀膜工艺过程完善，质量检验中还应对透过率进行检验；一般用分光仪来检验。分光仪能显示准确的透过率曲线。

质量检验中的耐久性试验按统计规律抽样进行。在历经高低温、湿度、盐解、盐雾、酒精或一般镜片使用者特用的化学药品试验时，镜片不得出现损坏。有些试验虽不专用于镜片膜，并且对实际使用者几乎无关，但它们是标准化了的。有关这些试验的问题，应该询问每个生产商。

结论

在欧洲，人们在这段时间已享受到增透膜的好处，因此非常流行。在欧洲的某些地区，要求高达 85% 的销售产品具有某种增透膜。

在美国只有 3% 的现行产品规定具有某种增透膜。美国消费者几乎没有发现这产品的使用价值。随着人们对增透膜优点的发现，市场需求将迅速增长。

一些重要结论

Masso, J.: Paper given at S.P.I.E. conference, Cannes, Dec, 1985.

Guenther, K.H., Kaminski, L.: OLA seminar publication, Baltimore, Nov, 1984.

Crundall, E.J.: Satis Vacuum AG; a profile company publication, Satis Vacuum AG, Zurich.

Technical information, company publication, Pentax, Minnetonka.

△为获得最佳效果，最好采用两面膜。
 △为了使透射性能最佳和改进装饰，最好采用多层膜。

△多层膜改善观看能力归因于:

- △增加透过率
- △减少反射错乱
- △提高夜间驾驶的观看能力

AR 镜片的清洗也很重要:

△清洗剂不能含有防雾或抗静电溶液，即有机硅清洗剂。

△清洗剂不能在镜片上留下任何痕迹。

△要立即清洗掉不知来源、意外溅到镜片上的水。

△不能使镜片与腐蚀性溶液、丙酮、喷发用液及超声波清洗设备接触。

△和清洗未镀膜的 CR-39 一样要小心。

磨边的操作与其它透镜相同。上盘前要先涂保护膜，还应使用“表面保护片”或保护带。

透镜在镀增透膜前要先上色，色调要比结果需要的深 7%~10%。一般不采用上色方法，因为这与镀增透膜的意义、提高能见度和看到使用者眼睛的能力相反。

如果不使用保护带，磨边机的“斜齿”或“槽”会碰着透镜而永久性地在镜片上留下痕迹。增透膜是优秀新产品，但如同所有新产品一样，人们要接受些教育从而知晓如何爱护它以便更多地从中受益。因此许多人对 AR 膜很熟悉，而也有许多人不熟悉它。不熟悉它的人就没有机会享受这些极为实在的利益。

参考文献

许 洪 译自《Optical World》
 Vol.17, No110, P.8~12

夕 文 校