

# 液体变焦透镜简介

王天武

关于电化毛细管作用的研究始于 1875 年,李普曼(G. Lippmann)在当时用相关理论来解释对浸在电解液中的水银滴表面施加电压时其形状发生变化这种现象。弗洛姆金(A. Froumkine)用同样的原理解释了解液体表面的净电荷会改变其与金属表面张角的现象,也就是所谓的电湿润过程。最近,一个巧妙的实验更加形象地展示了这种过程,从而将其应用进行了推广,并使用水银液滴对传感器和光学开关进行了测试。人们在电极和电解质之间插入一种绝缘体的时候,发现电湿润过程起到了很大作用,它使电极和电解质之间的接触角度改变了 50 多度,并且人们更进一步确定了电湿润过程的效果与所施加电压的二次方成比例,而且这种变化在非常大的角度范围内都是可逆的。人们对电湿润过程进行推广应用,开始使用液滴制作液体光学透镜。液滴接触角度的改变将导致两种液体接触表面的曲率半径的变化,从而改变透镜的焦距。确保液体透镜能够正常工作需要满足两个重要条件:一是要保证所用容器的器壁具有能使液体产生明显电湿润过程的倾斜角度;二是必须是两种互不相溶液体(如水滴和油滴)的组合。

许多光学系统都可以通过机械部件进行调整,然而基于变焦透镜大小、价格、反应速度的考虑,迫切需要一种能够改变传统透镜缺陷的新型光学变焦器件。一种解决办法是在透明可变的容器中注入液体,然而这需要一种外部动力装置,当前,可以利用液晶材料制作微型透镜,但是这使透镜尺寸受到限制,无法满足透镜微型化的要求。

变动光学(VARIOPTIC)公司研制的液体变焦透镜如同人的眼睛一样,能够自动适应所要拍摄的对象,而不需要机械装置的辅助,只要改变电压的大小就可改变两种液体的外形,从而达到自动聚焦和

自动变焦的目的。该公司以上文提到的电湿润过程的原理为基础开发出用以制造液体透镜的/电湿润法0技术,对比传统透镜,该公司的/电湿润法0技术有很多优点。利用该方法生产的液体透镜体积小、价格低、速度快、寿命长、成像质量好、无噪音,使电控自动变焦透镜的廉价大批量生产成为可能。下面对液体透镜的结构及工作过程作简单介绍。

## 一、液体变焦透镜的基本结构

液体变焦透镜的整体形状像一个圆柱体,它的上下表面由两片薄玻璃片构成,透镜的内侧壁分为两层:一层呈圆柱形、另一层呈圆台形,且上下两层均由金属电极组成,在两个电极之间涂有一层绝缘材料,以使两电极之间不导电,在变焦透镜的容器内

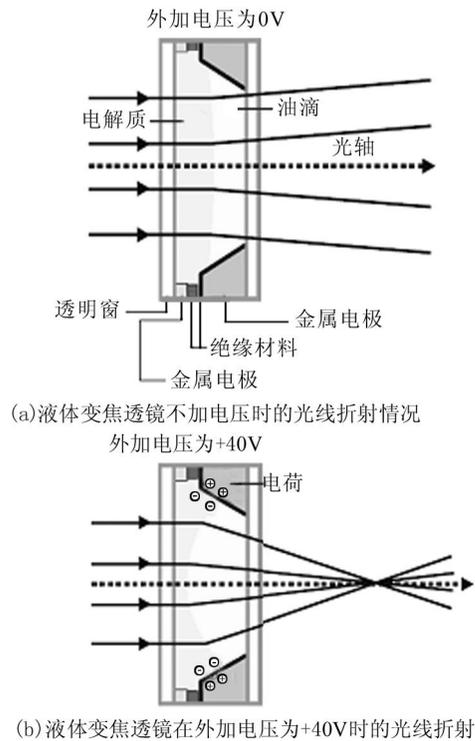


图1 液体透镜基本结构

为宇宙的/标准模型0。

多普勒-斐索效应还使科学家们想到,用这个原理测量距地球任意远的天体相对于地球的运动速度:将地球上测得的某种原子发光频率作为波源频率,再测得星体上同一种原子的发光频率作为观测

频率,根据这两种频率的差别(红移或蓝移)就可以算出星体相对于地球的运动速度。1868年,英国天文学家W.哈金斯用这种办法算出天狼星的视向速度(即物体远离我们而去的速度)为46千米/秒。

(四川省双流县华阳中学 610213)

注有两种液体, 其中一种为电解质, 另一种为油性非极性物质。由于互不相溶, 两种液体自然就会在其接触面处形成一层清晰可见的透镜层, 对光线起到会聚作用(如图 1)。

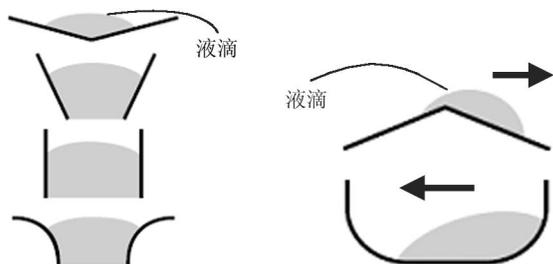


图 2 液滴稳定的容器结构 图 3 液滴不稳定的容器结构

研制液体透镜的一个首要问题就是透镜的光轴稳定性。透镜面的形状在电压作用下会发生变化。所以稳定住透镜的光轴, 才不致在变焦过程中影响成像。固体透镜能够通过机械部分很好地调节透镜的光轴, 但液体透镜却不能这样对光轴进行调节, 如果液体透镜的透镜面发生变化, 液体与容器之间的摩擦力就会增大, 同时透镜面就很可能变得不对称, 所以必须使液体透镜的光轴能够自动调节, 以避免其在变焦过程中发生变化。最理想的方法就是合理设计透镜结构。如图 2 所示, 当液体的光轴处于理想位置时, 透镜中液体的势能最小, 这时若透镜光轴发生变化, 液体势能增加, 多余的势能会使液体自身运动, 直到液体势能最小时为止, 即透镜具有光轴自动调节的作用。图 3 所示的两种情况都是液滴光轴偏离容器轴线的情况, 如同屋檐上的水滴在重力作用下下落一样。第一种情况(图 3 上部), 液滴会下落而不会自动调整至与容器光轴重合这种稳态; 第二种情况(图 3 下部), 液滴则可恢复这种稳态, 可见容器的形状对于液滴的自我调整有决定性的影响。

## 二、液体变焦透镜的变焦原理

由于电解质与油滴之间互不相溶, 在不加电压时, 液体交界面在表面张力的相互作用下自然形成一层对称的透镜膜, 透镜此时的焦距是固定的; 当对透镜施加电压时, 在电场的作用下, 接触面之间的电量发生变化, 从而产生一种使原有的表面张力之间不再平衡的外力, 在外力作用下达到新的平衡, 从而改变透镜面的曲率半径, 进而改变透镜的焦距。

外加电压不同, 两种液体及液体与器壁之间达到稳态所需的表面张力就不同, 人们通过调整外加电压来改变液体交界面的曲率, 并进而改变液体透

镜的焦距。这种电压对焦距的调节正是以电湿润过程为基础实现的。容器内有三个接触面需要考虑, 一是金属电极和电解质之间的接触面, 二是油状物和电解质之间的接触面(即透镜面), 三是金属电极和油状物之间的接触面, 在这三个接触面之间都存在着表面张力, 透镜面的形状正是由这三个表面张力的大小决定的, 电湿润现象改变了这三个力的大小, 使其重新达到平衡, 进而控制了透镜面的形状。

在没有加电压之前, 透镜面和电极之间的接触角  $H_0$  是很小的, 主要由三个接触面的张力决定, 即

$$\cos H_0 = (C_{sw} - C_{so}) / C_{ow}, \quad (1)$$

其中为  $C_{sw}$ 、 $C_{so}$ 、 $C_{ow}$  分别为电解质与电极、油滴与电极及电解质与油滴之间的张力系数。

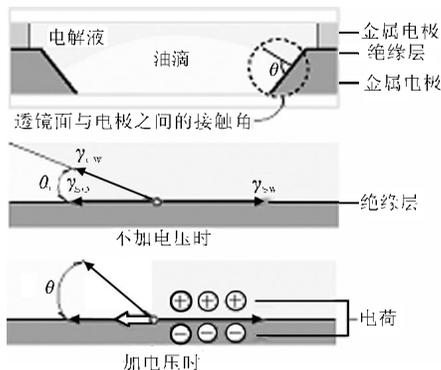


图 4 透镜面与电极之间的接触角变化过程图

如果在电极上加上电压, 则会存在静电力的作用。由于变焦透镜的一个电极与电解质溶液接触, 而另一个电极被一层薄薄的绝缘体所覆盖, 同时与电解质溶液和非极性油状物接触; 结果, 在绝缘电极与电解质溶液之间的接触面上, 电荷逐渐增多, 使油状物与电极之间的表面张力增加, 进而  $H_0$  变为  $H$   $H$  由下式决定:

$$\cos H = \cos H_0 - E_0 V^2 / 2d. \quad (2)$$

其中  $E$  为绝缘介质层的介电常数,  $E_0$  为真空介电常数,  $d$  为绝缘层的厚度,  $V$  为外加电压(如图 4)。

液体透镜正是通过外加电压改变透镜面形状的。当施加外界电压时, 电解质与电极表面上积累等量异性电荷, 使电解质与电极之间产生相互吸引的静电力, 该静电力将使电解质对油滴产生向内的挤压作用, 改变两种液体之间接触面的形状, 从而达到自动调焦的目的。

为了使透镜面达到理想状态, 两种液体的密度必须严格相等。由于液体具有流动性, 在重力的作用下, 液体会由势能高的地方流到势能低的地方, 如

果两种液体密度不同,那么当透镜的取向不同(也就是透镜光轴的方向在使用时发生改变),透镜层的对称结构就会被破坏,光轴也会变得不稳定,为了避免发生这种情况,就要求两种液体的密度相等。

### 三、液体变焦透镜的性能评价

液体变焦透镜在成像时要得到合适的透镜焦距,并不需要像传统透镜那样通过透镜自身的镜头沿光轴方向转动。液滴和油滴表面曲率的改变才是液体透镜实现变焦的关键所在,两种液体间接触面的形状在电压作用下会发生改变,从而实现自动变焦。由于透镜的制造程序并不复杂,所以容易实现自动化、大批量生产,液体变焦透镜将会取代手机上的传统机械透镜,从而使可拍照手机在具有自动变焦功能的同时,体积更小。此外,这种小的光学透镜还可用于其他领域,如小的数码相机、内视镜、监视照相机、条形码读入器等等。

液体变焦透镜的最大特点是尺寸可以做得非常小,现有产品的直径能达到约3毫米,而且在变焦过程中不需要机械活动装置而只需改变外加电压即可,同时它的功耗也很小,正是在这些方面优于传统透镜,才使液体透镜有着更为广泛的应用前景。

液体变焦透镜反应迅速,从5厘米处聚焦到无穷远,最多只需100毫秒。但其反应速度随周围环境温度的变化而变化,因为液体黏度在低温条件下会增加。低温条件下,液体透镜改变液面形状所需的时间会长一些。然而,由于实际使用环境的温度不是很低,所以透镜的反应时间会很快。液体透镜在-25℃以上的环境温度下,反应时间小于100毫秒;某些液体材料在-20℃以上的环境温度下,反应时间只有30毫秒。因此,环境温度不会影响液体透镜的性能。由于两种液体接触面之间存在着表面张力,所以液体透镜中两液体间的接触面足够光滑,表面粗糙度大约只有0.13微米。在+85℃和-40℃、电压连续作用20天之后,从115米高处以不同角度连续跌落20次,透镜仍完好无损。液体透镜各项性能的测试结果可以完全消除人们的顾虑,不必担心其中的液体受到震荡后会破裂而出。

### 四、液体变焦透镜的主要应用领域

据研究人员介绍,新型透镜可用于医学成像,因为它在适合的环境中能够自主变焦并可从不同角度进行拍摄。比如对蛋白质敏感的透镜在体内会因蛋白浓度的高低而自动变焦,从而帮助医生对体内蛋

白质的性状进行观察和分析。

此外,新透镜还可与小型光源和光学探测器组合成小型传感器。英国南安普顿大学的特蕾西·梅尔文说,这一技术适合在电路连接困难而环境条件多变的情况下使用,对于生物传感器系统非常有用。

目前法国变动光学公司锁定具有照相功能的手机市场,期望利用液体透镜产品取代现在早已普及的定焦透镜。基于液体透镜体积小、成本低、变焦范围大和反应灵敏等特点,人们预测它有可能逐步取代以下光电器件中的部分装置:如通讯市场中的移动电话、薄型数码相机、静态数码相机、PC视频照相机、个人数字助手、可视电话、网络摄像机、电视会议以及带内置式照相机的便携式PC机或计算机;工业领域中的车用摄像感测器、带条形码读出装置的工业系统和工业内窥镜;安全场所中的电视内部监视仪、监视摄影机;而在娱乐市场中,它将被应用在小型高档数码相机、摄像机等装置上。业界专家还表示,液体透镜很有可能会全面取代传统光学镜头。

(湖南省长沙市国防科技大学光电科学与工程学院二队 410073)

## 科苑快讯

### 三氯乙烯有致癌作用

2006年7月,加拿大国家研究委员会(National Research

Council Canada, NRC)得出结论,认为有足够的科学依据证实三氯乙烯(trichloroethylene, TCE)会对人体健康造成危害。2001年,美国环保署(Environmental Protection Agency, EPA)已针对三氯乙烯发表了一份评估报告草案。报告含蓄地指出,目前遍布美国的军事和制造业基地都广泛地以三氯乙烯为脱脂剂进行清洁和洗涤,而对这些地区的三氯乙烯污染进行治理,预计需花费数十亿美元。

三氯乙烯是一种无色液体,几乎不溶于水,加热分解时释放有毒氯化物;主要经呼吸道侵入机体,也可经消化道和皮肤被人体吸收。工业上用于金属表面的去油污、干洗衣物、植物和矿物油的提取、制备药物、有机合成以及溶解油脂、橡胶、树脂和生物碱、蜡等。动物实验和人口流行病学研究表明,三氯乙烯有致癌作用。

NRC要求重新分析EPA的数据,并指出目前的数据还不足以建立剂量反应模型,线性响应模型应该可以确定未来的应对措施。(高凌云编译)