

光学功能薄膜 的制造与应用

谢宜风 刘军英 李宇航 等编著



化学工业出版社

光学功能薄膜 的制造与应用

谢宜风 刘军英 李宇航 等编著

常州大学图书馆
藏书章



化学工业出版社

·北京·

本书是为了适应我国光学功能薄膜行业发展的需要编写而成,填补了国内在此类专业书籍领域的空白。书中全面介绍了平板显示器件中所用各种光学功能薄膜的产品结构、性能特点、制造方法、市场动向及发展趋势等。本书内容以普及与提高相结合,既有国内企业生产经验的提炼,也有国外文献资料的精选介绍。

本书对光学功能薄膜行业从业人员的学习提高,具有重要参考价值,也可供相关专业的科研和教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

光学功能薄膜的制造与应用/谢宜风,刘军英,李宇航
等编著. —北京:化学工业出版社,2012.8

ISBN 978-7-122-14758-5

I. ①光… II. ①谢…②刘…③李… III. ①光学薄
膜-生产工艺 IV. ①TB43

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第147305号

责任编辑:仇志刚
责任校对:边涛

文字编辑:陈雨
装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张16 $\frac{3}{4}$ 字数411千字 2012年10月北京第1版第1次印刷

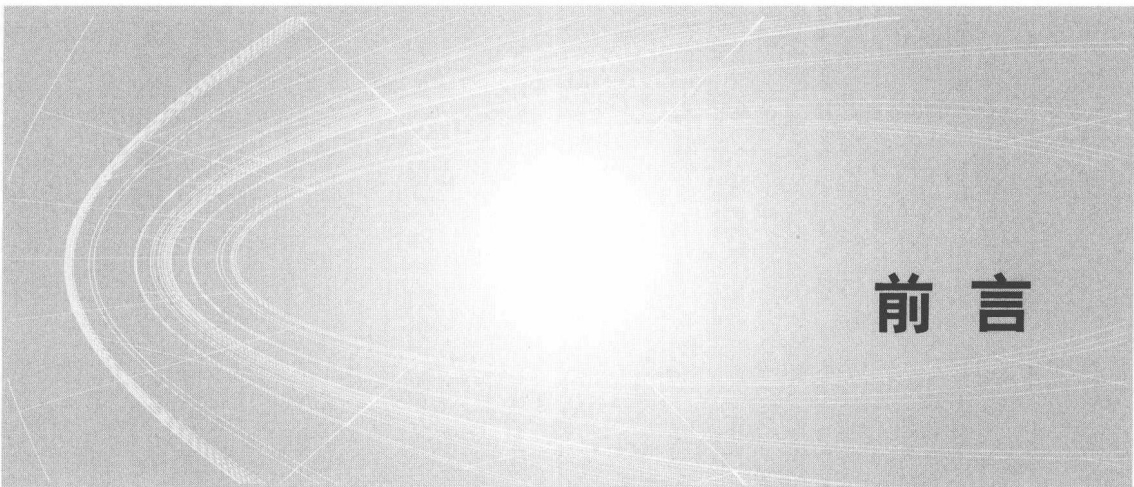
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00元

版权所有 违者必究



前言

光学功能薄膜是平板显示器件中不可或缺的重要构件材料，其制造技术涉及光学设计、有机高分子合成、塑料薄膜加工、精密涂布工艺等多种技术领域，进入技术门槛高，行业垄断性十分明显。全球光学功能薄膜领域的核心技术，主要为日本、韩国及美国少数企业所掌握。

近年来我国平板显示产业有了快速发展，但是作为产业链上游光学功能薄膜的研发和生产，却一直是整个平板显示产业链中的薄弱环节。为了完善我国平板显示产业链，促进该产业的持续健康发展，国家已将光学聚酯薄膜、光学聚乙烯醇薄膜、光学三醋酸纤维素薄膜、扩散膜、透明导电膜、电磁波屏蔽膜、增亮膜等功能性材料，列入《新材料产业十二五重点产品目录》，我国光学功能薄膜行业正面临快速发展的重要机遇。

本书的编写，就是为了适应我国光学功能薄膜行业发展的需要，填补了国内在此类专业书籍领域的空白。书中全面介绍了平板显示器件中所用各种光学功能薄膜的产品结构、性能特点、制造方法、市场动向及发展趋势等。本书内容以普及与提高相结合，既有国内企业生产经验的提炼，也有国外文献资料的精选介绍。本书对光学功能薄膜行业从业人员的学习提高，具有重要参考价值。

本书共分 10 章，参与本书的编写人员，大多为从事光学薄膜科研、生产第一线具有实践经验的工程技术人员，具体分工如下：第 1 章由刘军英、谢宜风编写，第 2 章由钟伟宏编写，第 3 章由谢宜风编写，第 4 章由李宇航编写，第 5 章由柳青编写，第 6 章由王旭亮、冯煜编写，第 7 章由王志坚编写，第 8 章由许生、许朝阳编写，第 9 章由谢宜风编写，第 10 章由于名讯编写，全书由谢宜风统稿。

本书在编写过程中一直得到全国光学功能薄膜材料标准化技术委员会及其秘书处的关心和支持，特此表示衷心感谢。但因编写人员大多是初次涉及专业书籍编写，水平所限，难免有不当之处，恳请读者不吝批评指正。

编者

2012 年 6 月

目 录

第 1 章 光学功能薄膜概论

1.1 光学功能薄膜与平板显示产业	1
1.2 光学功能薄膜行业的特点	3
1.3 光学功能薄膜发展动向	5
1.3.1 光学薄膜生产的宽幅化	5
1.3.2 光学薄膜的多功能化	6
1.3.3 透明导电膜的市场需求量会有大幅增长	6
1.3.4 平板显示领域中新材料的应用	6
1.4 中国平板显示产业链及光学功能薄膜行业发展概况	7
参考文献	11

第 2 章 液晶显示及偏光片的应用

2.1 概述	12
2.2 偏振光及偏光片	13
2.2.1 偏振光的特性	13
2.2.2 偏光片的定义	14
2.2.3 偏光膜的起源	14
2.2.4 偏光片的种类	15
2.2.5 偏光片的工作原理	17
2.2.6 偏光片的基本结构	20
2.2.7 偏光片的产品成本结构	22
2.2.8 偏光片光学谱图的解读	23
2.2.9 偏光片压敏胶层性能	24
2.3 偏光片的生产工艺简介	25
2.3.1 原料检验	25
2.3.2 TAC 膜亲水性处理	25

2.3.3 延伸及染色	26
2.3.4 涂布工序	29
2.3.5 品质检测	31
2.3.6 成品包装	32
2.4 偏光片主要原材料	33
2.4.1 TAC 膜（三醋酸纤维素膜）	33
2.4.2 PVA 膜（聚乙烯醇膜）	33
2.4.3 保护膜	33
2.4.4 偏光片其他配套原材料	33
2.5 偏光片生产技术的发展方向	34
2.6 偏光片生产成本分析	35
2.7 偏光片市场现状及发展前景	35
2.7.1 全球偏光片现状	38
2.7.2 偏光片市场发展前景预测	38
2.7.3 偏光片价格及未来趋势分析	40
2.7.4 全球 TFT-LCD 用偏光片生产线与面板厂的配比情况	41

第 3 章 液晶显示器用三醋酸纤维素薄膜的制造及应用

3.1 概述	42
3.1.1 三醋酸纤维素薄膜在液晶显示中的应用及市场规模	42
3.1.2 三醋酸纤维素薄膜的生产能力不断扩大	44
3.1.3 三醋酸纤维素薄膜的研究开发工作	45
3.2 纤维素的分子结构及酯化反应特性	46
3.2.1 纤维素的化学结构	46
3.2.2 纤维素的酯化反应特性	48
3.3 三醋酸纤维素制造工艺	49
3.3.1 纤维素乙酰化工艺过程	49
3.3.2 三醋酸纤维素的质量控制	50
3.4 三醋酸纤维素薄膜制造工艺	52
3.4.1 棉胶液制备、过滤和静置脱泡	52
3.4.2 三醋酸纤维素薄膜的流延、干燥工艺过程	53
3.5 三醋酸纤维素制膜配方及工艺技术的改进	55
3.5.1 棉胶液配方的改进	55
3.5.2 工艺技术的改进	59
3.6 液晶显示用三醋酸纤维素薄膜的质量评价及测定方法	68
3.6.1 表面平整性的测定	68
3.6.2 光学性能的测定	69
3.6.3 闪烁点的测定	69
3.6.4 耐皂化处理测试	70
3.6.5 水蒸气透过率（WVTR）测定	70

参考文献	70
------------	----

第4章 光学级聚酯薄膜的制造及应用 72

4.1 光学级聚酯薄膜的特性及应用	72
4.1.1 聚酯薄膜的应用	72
4.1.2 聚酯薄膜的一般特性	73
4.1.3 光学级聚酯薄膜的基本技术性能要求	74
4.2 光学级聚酯薄膜主要原材料及其性能要求	74
4.2.1 聚对苯二甲酸乙二酯（PET）结构式和一般特性	75
4.2.2 聚酯的化学性质	75
4.2.3 聚酯的物理性能	76
4.2.4 聚酯的主要质量指标和测量方法	79
4.3 聚酯在双向拉伸薄膜生产工艺过程中的物理化学变化	82
4.3.1 聚酯的流动和流变行为	82
4.3.2 聚酯物理状态与分子状态	83
4.3.3 聚酯的结晶态结构	84
4.3.4 聚酯的取向	85
4.3.5 聚酯的降解	86
4.4 双向拉伸聚酯薄膜的生产原理和工艺过程	87
4.4.1 双向拉伸聚酯薄膜的基本生产原理	87
4.4.2 双向拉伸聚酯薄膜的生产工艺过程	87
4.4.3 主要工艺过程及其设备	88
参考文献	109

第5章 光学补偿膜的制造及应用

5.1 引言	110
5.2 各种广视角技术研究	111
5.2.1 TN+广视角膜广视角技术	111
5.2.2 MVA广视角技术	112
5.2.3 PVA广视角技术	113
5.2.4 CPA广视角技术	114
5.2.5 IPS广视角技术	114
5.2.6 FFS广视角技术	116
5.2.7 OCB广视角技术	116
5.2.8 PLS广视角技术	117
5.2.9 光学补偿膜技术	117
5.2.10 广视角技术总结	120
5.3 视角扩展原理	120
5.3.1 漏光补偿原理	120

5.3.2 WV膜及其视角补偿原理	122
5.4 广视角膜制造工艺	122
5.4.1 广视角膜的基本结构	122
5.4.2 广视角膜的制备工艺	123
5.5 广视角膜关键技术	125
5.5.1 盘状液晶介绍	125
5.5.2 盘状液晶合成技术	126
5.5.3 广视角膜盘状液晶取向控制技术	128
参考文献	136

第6章 液晶显示器背光源组合膜的制造及应用

6.1 扩散膜	138
6.1.1 扩散膜的结构和分类	138
6.1.2 扩散膜的原材料选择和配制	140
6.1.3 涂布机及涂布过程	142
6.1.4 洁净的工作环境	145
6.1.5 模切	145
6.1.6 产品质量检验和常见弊病	146
6.1.7 扩散膜的发展	147
6.2 反射膜	148
6.2.1 反射膜的结构、原理及材料	149
6.2.2 反射膜的生产原材料及制程技术	151
6.2.3 反射膜的性能及检测	154
6.2.4 其他类型的反射膜	155
6.2.5 反射膜的发展趋势	156
6.3 增亮膜	156
6.3.1 增亮膜分类	157
6.3.2 棱镜光学膜	158
参考文献	167

第7章 硬化膜及防反射膜的制造与应用

7.1 概述	168
7.2 硬化涂层成膜技术	169
7.2.1 热固化成膜技术	169
7.2.2 紫外线(UV)固化成膜技术	169
7.3 硬化膜种类、特性和应用	172
7.3.1 透明硬化膜	173
7.3.2 防眩光膜	178
7.3.3 防反射膜	182

7.4 硬化膜涂布技术 185

7.5 硬化膜主要指标和测试方法 185

 7.5.1 主要指标 185

 7.5.2 相关测试方法 187

参考文献 189

第 8 章 透明导电膜的制造及应用

8.1 概述 191

8.2 透明导电膜的基本特性 191

 8.2.1 透明导电膜的性能指数 191

 8.2.2 透明导电金属薄膜 192

 8.2.3 透明导电氧化物薄膜 192

8.3 透明导电氧化物薄膜的研究现状 193

 8.3.1 SnO₂ 薄膜及其掺杂体系 193

 8.3.2 In₂O₃ 薄膜及其掺杂体系 193

 8.3.3 ZnO 薄膜及其掺杂体系 194

 8.3.4 多元 TCO 薄膜体系 194

8.4 透明导电膜制造方法 195

 8.4.1 真空蒸发镀膜 195

 8.4.2 溅射镀膜 196

 8.4.3 化学气相沉积 200

 8.4.4 其他化学沉积方法 201

8.5 新型透明导电膜 201

8.6 聚合物透明导电膜 206

 8.6.1 聚合物透明导电膜的特点 206

 8.6.2 聚合物高分子透明导电膜的制备及特性 207

 8.6.3 聚合物透明导电膜与 ITO 相比的优势 208

 8.6.4 聚合物透明导电膜的进展 209

8.7 透明电极的应用（触摸屏、太阳能电池、OLED 显示器、电子书等） 211

 8.7.1 在薄膜太阳能电池上的应用 211

 8.7.2 在显示器件上的应用 213

 8.7.3 透明导电膜电极在触摸屏上的应用 215

 8.7.4 透明导电膜电极在电子纸上的应用 218

参考文献 219

第 9 章 透明电磁波屏蔽膜的制造及应用

9.1 电磁波屏蔽概述 221

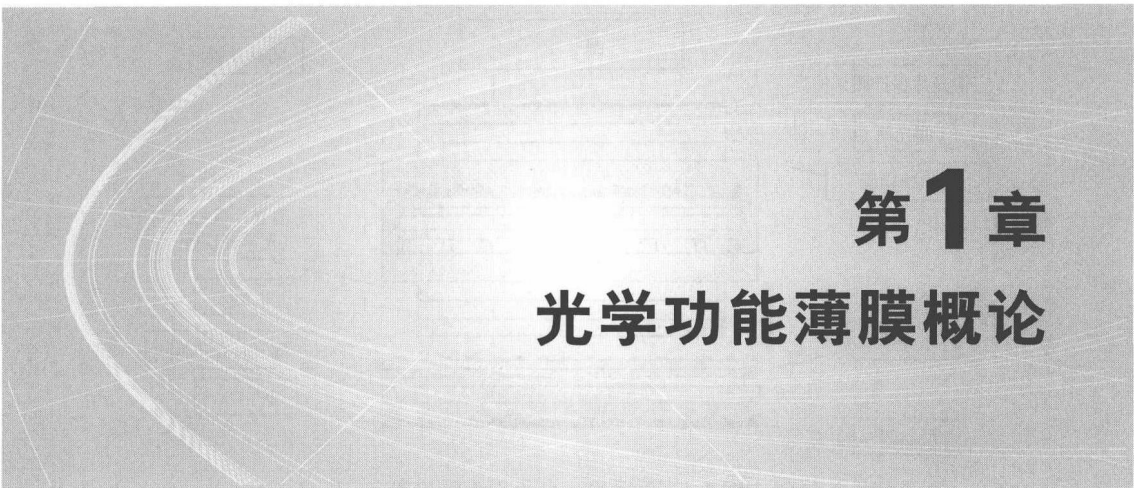
9.2 透明电磁波屏蔽膜的制造方法 223

 9.2.1 金属栅网法 223

9.2.2 湿涂法	224
9.3 透明电磁波屏蔽膜的应用	236
9.3.1 透明电磁波屏蔽膜在 PDP 电视机中的应用	236
9.3.2 透明电磁波屏蔽膜在触摸屏中的应用	238
参考文献	241

第 10 章 近红外线阻断膜的制造及应用

10.1 吸收型近红外线阻断膜	242
10.1.1 有机近红外吸收染料	242
10.1.2 无机近红外吸收剂	245
10.1.3 成膜物质	246
10.2 反射型近红外线阻断膜	246
10.2.1 半导体薄膜	246
10.2.2 金属膜	247
10.2.3 金属-介质膜	247
10.2.4 全介质多层膜	248
10.3 近红外线阻断膜制备技术	249
10.3.1 涂布技术	249
10.3.2 真空蒸镀	250
10.3.3 磁控溅射	251
10.3.4 离子束溅射	251
10.4 近红外线阻断膜的应用	251
10.4.1 窗膜	251
10.4.2 等离子电视滤光膜	253
10.4.3 激光防护薄膜	254
10.4.4 相机用膜	256
参考文献	257



第1章

光学功能薄膜概论

1.1 光学功能薄膜与平板显示产业

光学功能薄膜是指具有特定光学等物理机械特性，并适用于专业用途的柔性高分子薄膜材料。本书中叙述的光学功能性薄膜，主要是指应用于平板显示（flat panel display, FPD）器件，即包括液晶显示（liquid crystal display, LCD），等离子显示（plasma display panel, PDP），触摸屏（touch screen），电子书等电子信息显示器件中所必须应用的光学高分子薄膜。

目前平板显示产业中，液晶显示器件占主导地位。液晶是一种介于固相和液相之间中间相的有机化合物，它既有液体又有晶体的特性。液晶显示就是利用其在电场作用下产生分子重新排列而发生光学特性变化的特性，配合使用光学功能薄膜，将这种光学变化转变成图像显示。根据工作原理，液晶显示可分为扭曲向列型（TN）、超扭曲向列型（STN）、彩色超扭曲向列型（CSTN）和薄膜晶体管型（TFT）四种类型，其中 TN、STN 只能实现黑白显示，CSTN 和 TFT 类液晶显示（TFT-LCD）能实现彩色显示。由于在可视角度及响应速度方面的优点，目前 TFT-LCD 已成为彩色液晶显示中的主流技术。以彩色液晶电视为例，其剖面结构如图 1-1 所示。

一台彩色液晶电视，在其彩色显示面板中，通常必须应用 2 片偏光片膜，3~4 片三醋酸纤维素保护膜，1~2 片光学补偿膜，1 片具有防反射及抗划伤的表层保护膜，以及背光源组合中的增亮膜、扩散膜、反射膜等特定功能的光学薄膜。尽管各类品牌液晶彩电的结构和尺寸大小有所差异，但大体上来说，这些光学功能性薄膜约占液晶面板材料总成本的 30% 左右。等离子显示由真空气体放电激发紫外线照射到红、绿、蓝荧光体，呈现色彩，所以不需要液晶面板中那么多的光学功能膜。但是必须使用电磁波屏蔽膜和红外线阻断膜。由此可见，光学功能性薄膜对平板显示器产业的重要性。

根据日本专业市场调查公司 Fusi Chimera Research Institute Inc 对涉及平板显示、半导体及组装、电池、电气·汽车·建材、阻隔性包装材料、包装材料及其他 6 个领域 57 种功能性高分子薄膜（其中 50 种已有市场规模，另 7 种系今后具有市场规模）所做的市场调查，其 2010 年全球市场总规模达到 2 兆 5952 亿日元。其中涉及平板显示领域 14 种光学功能性

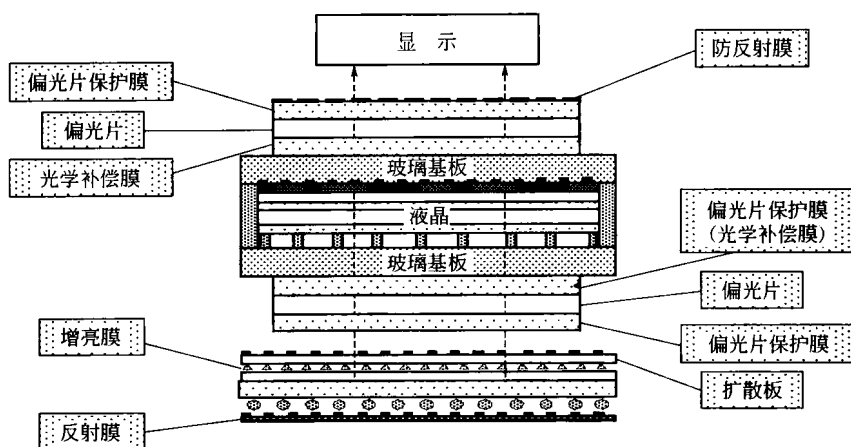


图 1-1 液晶显示面板剖面结构图

高分子膜 2010 年的市场规模为 1 兆 7543 亿日元，占全部功能性高分子薄膜市场总额的 67.6%，如表 1-1 所示。涉及平板显示领域的 14 种光学功能性薄膜的 2010 年全球市场规模，如表 1-2 所示。

表 1-1 全球功能性高分子薄膜市场规模调查

领域分类	品种数	已有市场规模/百万日元		预测未来市场规模/百万日元	
		2010 年	2007~2010 年平均增长率/%	2014 年预测	2010~2014 年平均增长率/%
平板显示	14	1754290	6.9	2181930	5.6
半导体及组装	7	191300	-5.2	217700	3.3
新能源电池	6	329000	25.7	693060	20.5
电气、汽车、建材	7	110345	-1.8	125145	3.2
阻隔性包材	8	66185	5.6	75535	3.4
包材及其他	8	144080	1.1	158820	2.5
总计	50	2595200	6.7	3452190	7.4

表 1-2 平板显示用光学薄膜 2010 年全球市场规模

品种名称	主要功能	2010 年市场规模	
		数量/千平方米	金额/百万日元
防反射膜	防止外界光线在显示屏上的反射,改善观看效果	180000	95300
偏光片膜	在液晶层的两面各放置 1 片偏光片,使光的振动方向互相垂直,以实现液晶的显示功能	240000	86000
偏光片保护膜	贴于偏光片的两面,以提高其物理机械性能,延长使用寿命	475000	128250
光学补偿膜	通过光学补偿,拓宽液晶显示屏的观看角度,提高对比度	277000	167650
增亮膜	通过膜表层的棱镜状结构增加光的利用率,提高显示亮度	157000	222000
扩散膜	提高背投光源的均匀性	158000	66700
反射膜	增加光源底部的反射,减少光损失	121000	41000

2 光学功能薄膜的制造与应用

续表

品种名称	主要功能	2010 年市场规模	
		数量/千平方米	金额/百万日元
透明导电膜	用作触摸屏的电极及等离子彩电的电磁波屏蔽	6350	23450
耐指纹膜	防止手指接触留下的污染	7000	7700
光学圆偏光片	主要用于三维(3D)显示及有机发光显示	32000	3850
表面保护膜	在生产运输过程中,对各类光学膜表面起保护作用	1540000	92000
光学洁净胶带	用于各类光学组件的粘接,要求高透明度和洁净度	5150	5130
塑料基板	用于柔性显示器,替代玻璃基板	260	2400

从表 1-2 可以看出,光学功能薄膜市场规模以薄膜面积计算,表面保护膜数量最大;以金额计算则增亮膜和光学补偿膜分别占第一、第二位。单位面积价格最高的则是柔性基板和透明导电膜。

1.2 光学功能薄膜行业的特点

由于光学功能薄膜专业性强,技术门槛高,生产企业呈高度集中态势,而且多数高端产品的核心技术主要掌握在日企手中,韩企次之。

(1) 日企垄断全球液晶用三醋酸纤维素薄膜的生产

光学级三醋酸纤维素薄膜(TAC)和聚酯(PET)薄膜,是光学功能性薄膜的基础性材料,简称之为基膜。对这类基膜的基本要求,除相应的物理机械特性外,主要要求高透光率、高洁净度、高均一性、无可见性缺陷。这两种基膜采用的原材料不同,生产工艺不同,因而其光学特性也有很大的差异,从而决定了各自特定的应用功能。三醋酸纤维素薄膜生产,采用溶剂流延成膜法工艺,在薄膜形成过程中不受外力的影响,薄膜内纤维素分子呈无序排列,在光学特性上呈各向同性的特点。因而在对光学各向同性有严格要求的液晶显示屏的应用中,有着无可替代的优势。而聚酯薄膜,采用的是熔融挤出双向拉伸的成膜工艺。双向拉伸成膜过程中,在提高了聚酯薄膜许多物理机械性能的同时,也形成了其在光学上各向异性的特点,从而限制了其在液晶显示面板中对各向同性有严格要求时的应用。而聚酯薄膜所具有的物理机械性能方面的优势,则使其在无光学各向同性特殊要求的情况下得到了广泛的应用。如表 1-2 中列出的超过 15 亿平方米的平板显示器用表面保护膜,大多是光学级聚酯薄膜及部分聚乙烯膜。

目前全球高端液晶显示屏用的三醋酸纤维素薄膜几乎为日本的富士胶片公司和柯尼卡美能达公司所垄断,前者约占 75%,后者约占 25%。其他如美国柯达、德国 LOFO 和中国乐凯等公司也生产液晶显示用三醋酸纤维素薄膜,但因产量少,在全球统计中往往被忽略不计。

日本富士公司自 2003 年就设立了平板显示材料事业部,统筹液晶显示用偏光片保护膜、广视角膜和彩色滤光片的生产,已扩建、新建多条专用生产线。至 2011 年底,富士公司三醋酸纤维素薄膜的年生产能力可达到 8.15 亿平方米/年。根据富士公司 2010 年营业决算报告,其 2010 年全年彩色胶卷及彩色相纸的销售额已减少到 1042 亿日元,而平板显示材料(三醋酸纤维素薄膜、广视角膜、彩色滤光片)的全年销售额则为 2200 亿日元,是彩色感光

材料销售额的 2 倍多。这一事实充分说明，大力发展平板显示用光学薄膜是富士胶片公司创新转型的成功战略决策。

(2) 光学功能薄膜属精密涂层和高分子薄膜复合深加工行业，工艺技术门槛较高

光学功能性薄膜除 TAC 和 PET 基膜外，实质上多为在基膜上进行各类功能性涂层的精密加工，使其具有特定的应用性能，提高其附加值。其中涉及光学设计、有机高分子的合成筛选、纳米技术及精密机械加工等综合性工艺技术，具有较高的技术进入门槛。为使产品能在市场竞争中获胜，各大公司在投巨资建成生产线后，还必须不断投入大量的人力、物力进行持续的研究开发和设备改造，以不断完善产品的性能和降低成本。全球从事光学薄膜生产的企业集中度高，都具有雄厚的资金和技术实力。

液晶显示必须和偏光片配套使用。偏光片的生产工艺综合了聚乙烯醇（PVA）薄膜的染色、拉伸定向、涂布复合等特定工艺，其核心技术最初主要掌握在日本的日东电工、住友化学等少数企业手中，只是近年来方为韩企 LG 化学所突破。而偏光片的原料 PVA 膜，则全球几乎只有日本的可乐丽（Kuraray）公司和日本合成化学工业（株）两家供应。

为扩展液晶显示上下左右视角的光学补偿膜，要求有特定的光学双折射性能，并能与特定类型的液晶显示方式进行相位差的补偿相匹配。富士胶片公司进行大量的研发工作，在 TAC 膜上涂以特殊结构的圆盘状液晶化合物，以达到所要求的双折射率，扩展了液晶显示的视角。富士公司将这种光学补偿膜称为广视角膜（wide view film），并申请了上百件有关广视角膜的专利，筑起难以跨越的技术壁垒。柯尼卡公司只能另辟蹊径，采用在 TAC 膜中加入特定结构化合物并进行拉伸定向的工艺，使 TAC 膜具有一定的双折射率，起到光学补偿的作用。目前在大型平面转换（IPS）类型的彩色液晶显示器中，采用富士公司广视角膜的约占 80% 的份额。而在垂直型（VA）彩色液晶显示器中，采用柯尼卡公司 N-TAC 光学补偿膜的占 40% 的份额，富士公司只占 30% 左右，二者各自分别处于领先的地位。

为了防止外界光线对显示图像的反射干扰，防反射膜在平板显示器中已得到广泛的应用。对高质量防反射膜的光反射率要求小于 0.5%，其由低折射率层/高折射率层/低折射率层/高折射率层/基膜复合结构组成。由于各层折射率不同，反射光的干涉作用不同，从而抑制了总的光反射。防反射膜中单一层的厚度往往只有几百纳米，甚至更薄，膜厚的误差要求小于 $\pm 1.0\%$ 。因而不仅对不同折射率材料的筛选有严格的要求，而且还必须有精密的薄层涂布工艺配套才行。

光学功能性薄膜的涂层工艺，可分为干法涂布和湿法涂布。干法涂布包括真空镀、化学沉积和离子溅射等工艺方法。其优点是可获得微米乃至纳米级的薄而均匀的涂层，特别适用于将金属等固态材料进行涂布。缺点是设备结构复杂，较难实现宽幅的卷对卷连续大生产，成本相对较高。湿法涂布是目前各类涂层材料，包括光学功能膜加工的主流工艺技术。从国外涂布工艺专利文献资料分析，微凹版涂布及条缝涂布已在精密薄层涂布的产品生产中得到了广泛的应用。对光学功能性薄膜来说，不仅要严格控制厚度误差及均匀性，同时对洁净度也有着极严格的要求。通常涂布工作环境都要求 1000 级以上的空调净化度，特别是涂布机头实施涂层的核心区域则更要求达到 100 级的净化条件。

增亮膜在液晶背光源组模中，起着提高显示亮度的作用，从结构可分为棱镜膜和反射偏光膜两类，都是美国 3M 公司的专利产品。棱镜结构增亮膜是在 PET 基膜上涂以丙烯酸酯类的光固化树脂，经精细模具机械加工形成有连续规则的三角形光固化树脂膜层。经过对光

的折射和反射，将分散的光线向正面聚集，以达到增加光亮度的效果。反射型偏光膜则是一种聚对萘二甲酸乙二醇酯（PEN）和聚酯（PET）的共挤出光学膜，由于两种材料的不同折射率，而具有偏光的效果。应用时将其置于背光源和液晶偏光片之间，除偏光片允许透过的光线通过外，将不能通过的光线反射回背光源处，而后加以重新利用，这样即可提高光源的有效利用率，增加亮度。由于 3M 公司棱镜膜的专利权已到期，近年来韩国和日本的一些企业已先后开始介入棱镜增亮膜的生产，打破了 3M 公司的垄断。而反射偏光型增亮膜，尚处于专利保护期，因此仍为美国 3M 公司（包括日本的住友 3M）所独家垄断。

1.3 光学功能薄膜发展动向

平板显示器行业的迅速发展有力地促进了光学功能薄膜的生产和研发，使其在性能、质量、价格以及新材料的开发应用上有新的突破。光学功能薄膜行业的发展必然与平板显示产业同步发展。

1.3.1 光学薄膜生产的宽幅化

随着人民物质文化生活和居住水平的不断提高，为改善观看效果，彩色液晶电视日趋大型化，显示屏尺寸由 24in（英寸，1in=2.54cm）、36in、40in 发展到 50in、60in。显示画面尺寸不断扩大，直接导致玻璃面板生产线的更新换代。液晶彩电面板生产线的进化，除工艺技术上的进步外，其主要标志就是玻璃母板尺寸的逐步扩大。表 1-3 列出了液晶母板生产线的代数与玻璃母板尺寸的对应关系。

表 1-3 液晶母板生产线的代数与玻璃母板尺寸对应关系

年份	代数	玻璃母板尺寸/mm	可分切张数
1990	第 1 代	330×340	10.4in×2
	第 2 代	360×460	10.4in×4
1995	第 3 代	550×650	12in×6
2000	第 4 代	680×880	16in×6
	第 5 代	1100×1300	15in×15
	第 6 代	1500×1800	32in×8
2005	第 7 代	1850×2250	40in×8
	第 8 代	2200×2400	46in×8
2010 年后	第 9 代	2300×2600	可分切 60in 大的面板
	第 10 代	3000×3300	

为了与液晶面板生产线玻璃面板尺寸不断增大相适应，配套光学膜的初始生产幅度也必须加宽。富士胶片公司与柯尼卡公司已分别将新生产的 TAC 膜幅宽由原来的 1490mm 增宽为 2300mm。富士公司宽幅 TAC 的生产能力到 2011 年底达到 2.4 亿平方米，占其总年产量 8 亿平方米的三成。日企和韩国企业所生产偏光片的幅宽也达到了 2000mm。这些光学薄膜的宽幅化生产，对设备精度、工艺技术、控制水平、员工素质及资金投入等都提出了更高的要求，同时也带来了提高生产效率、节能降耗和降低生产成本的良好收益。

1.3.2 光学薄膜的多功能化

液晶显示面板除液晶盒和驱动的电路外，一定程度上可以说是由众多光学功能薄膜堆砌的组合物。显示面板要求提高性能、降低成本，向薄型化、轻便化发展，这就要求光学薄膜向多功能化方向发展。如液晶彩电显示面板的保护膜，已能在基膜上进行多层结构涂布，从而将抗划伤性、防反射性以及抗污染、抗静电等功能集合于一体。又如把光学补偿膜直接贴合在 PVA 偏光膜表面，除了起到光学补偿拓展视角的作用，也起到了对偏光膜的表面保护作用。

近年来以触摸屏为基本组件的手指输入类产品，如平板电脑，智能手机等终端产品迅速增加。于是可防止指纹附着污染的耐指纹膜应运而生，即在原有的透明导电膜上再贴上一片耐指纹膜。而另一种解决方案，则是将抗划伤的硬质层和含氟（或硅）低表面能的化合物，直接涂布在透明导电膜的表面。这样可使透明导电膜同时具备了抗划伤和耐指纹等油性污染的功能，减少了基膜的应用。

一些基膜材料的主要生产厂家，除供应 TAC 或 PET 基膜外，都在进行各类多功能、高附加值光学薄膜的研发生产。如富士胶片公司除了生产 TAC 膜、广视角膜外，还大量生产多功能的防反射膜，以取得更大的经济效益。

1.3.3 透明导电膜的市场需求量会有大幅增长

随着平板电脑、智能手机市场的大幅增长，对触摸屏用透明导电膜的需求量随之大幅增长。将一改传统透明导电膜主要用于等离子彩电电磁波屏蔽，因而市场一直停滞不前的局面。

传统透明导电膜的生产工艺是在 PET 基膜上沉积钢锡氧化物（ITO）涂层，以在高透光性的条件下达到所要求的导电性。钢是稀有金属，价格昂贵，更为重要的是全球钢资源稀缺。近年来已开发了应用导电高分子、纳米银、纳米碳管（CNT）及石墨烯等材料，替代 ITO 涂层的工艺技术，并开始得到了实际应用。台湾奇美电子在 2010 年就将 CNT 涂布到 PET 薄膜上制成 CNT 透明导电膜，并用于组装触摸屏。日本产业技术综合研究所则在日本的“nano tech 2011”展会上，展出并演示了采用石墨烯的 6in 大小的触控面板。该面板透光率为 80%，电阻值为 $1\sim 3\text{k}\Omega/\square$ ，完全达到使用要求。

1.3.4 平板显示领域中新材料的应用

以有机发光二极管（OLED）取代原来的冷阴极管作为液晶彩电的背光源，即 LED LCD-TV，已开始有了一定市场。这会对原来背光源组模中的增亮膜和下扩散膜组合应用带来影响，即会更多地采用 3M 公司的 DBEF（dual brightness enhancement film）增亮膜。LED 光源也可能会带来原来使用冷光源时没有的发热问题，从而对耐热性并不优异的 TAC 使用寿命带来影响。已有一些企业正在进行以聚丙烯酸酯、环烯烃（cyclo olephine polymer, COP）高分子薄膜替代部分 TAC 膜的尝试。日本的瑞恩公司（ZEON CHEMICALS）是专门从事环烯烃光学薄膜材料开发的企业，该公司生产的 ZEONOR 光学补偿膜，在液晶显示器应用中已占有相当的比例。COP 类光学薄膜具有优良的光学特性，而耐热性则优于 TAC，预期今后的应用面还会扩大。瑞恩公司 ZEONOR 的产能已达到 9400 万平方米。日本 JSR 生产的 ARTON 光学补偿膜也属 COP 类薄膜。此外，日本富士公司也在进行这方面的研究，通过在环烯烃分子结构中引入适当的基团，改善其吸水性和粘接性，可直接作为偏光片保护膜使用。

6 光学功能薄膜的制造与应用

柔性基板取代玻璃基板，是移动显示终端产品进一步薄型化、轻便化和柔性化的必由之路。制作柔性耐热薄膜基板的高分子材料，主要是聚酰亚胺，还有新日铁化学（株）的聚硅氧烷（silplus），东丽公司的芳纶（aramid）等聚合物。

近年来立体电视（3D-TV）正在 FPD 市场受到青睐，与此配套需采用立体眼镜观看。因此，今后制作立体眼镜的圆偏光片需求量会有所增加。圆偏光片能将外部入射光通过 1/4 波长相位差膜将其吸收在膜内，从而减少光的反射。此技术在触摸屏上得到了实际应用。制作圆偏光片的原料为聚碳酸酯（PC）、COP 及 TAC 等。

1.4 中国平板显示产业链及光学功能薄膜行业发展概况

（1）中国已是平板显示产品的生产大国，但不是强国

我国平板显示产业经过近 20 多年来的发展，实现了从无到有，从小到大的快速发展。目前全球 80% 的液晶显示器、50% 的笔记本电脑、40% 的液晶电视都是由中国生产制造。然而，组装这些终端产品的显示面板，特别是大尺寸显示面板几乎全靠海外采购。据海关统计数据，2011 年中国几个主要进口产品中，液晶面板位于集成电路、石油、铁矿石之后排第四位，高达数百亿美元。

平板显示产业以上、中、下游来划分，终端整机的生产制造属下游，关键零部件，特别是显示面板的生产制造为中游，制造设备及主要原材料的生产制造处于产业链的上游。我国的平板显示产业是在没有国内相应中、上游产业链支撑下迅速发展起来的。从 20 世纪 90 年代末期和 21 世纪初开始，我国一些原来生产显像管型彩电的厂家，追上国外彩电生产企业从显像管（CRT）向 LCD 转型的步伐，从海外进口显示面板进行平板型彩电的组装生产，并很快打开了市场。至 2005 年我国平板彩电产业出现了爆发式增长，不仅站稳了国内市场，而且实现了批量出口。这种组装式生产最根本的问题，是定价权掌握在海外厂商手中，而且经常面临显示面板供应断货的风险，使彩电生产企业深感“缺屏之痛”。

下游整机市场旺盛需求，带动了中游显示面板生产线的投资建设，逐步形成了从低世代到高世代彩色液晶面板生产线的引进建设潮。2007 年国家把平板显示产业作为重点发展的战略新兴产业列入了“十一五”规划纲要。近年来，中国大陆已建及正在建的彩色液晶面板生产线如表 1-4 所示。

表 1-4 近年来在中国大陆已建成及正在建设的彩色液晶面板生产线

建设厂商	代数	地点	面板尺寸/mm	产能/(千片/月)	量产时间
京东方	6 代	合肥	1500×1850	90	2010 年底
中电熊猫	6 代	南京	1500×1850	60	2010 年底
上广电 NEC	6 代	上海	1500×1850	90	计划中
京东方	8 代	北京	2200×2500	90	2011 年底
夏普(日)	8 代	南京	2160×2460	90	2012 年
LG-Display(韩)	8.5 代	广州	2200×2500	120	2012 年
三星(韩)	7.5 代	苏州	1950×2250		2010 年底
京东方	8.5 代	北京	2200×2500	90	2011 年 9 月
华星光电	8.5 代	深圳	2200×2500	90	2011 年 10 月