

# 纳米表面处理织物氮化硅铝结构色生色规律探究

石 慧,陈 宾,姚俊奇,张 欣

(广东欣丰科技有限公司,广东 开平 529300)

**摘要:**采用纳米表面处理技术在涤纶基布表面进行磁控溅射制备氮化硅铝结构色薄膜。通过研究氮化硅铝生色层不同镀膜次数下的颜色表现,来探索膜层厚度对氮化硅铝结构色生色的影响规律。结果表明:随生色层膜层厚度的增加,织物颜色的变化规律为:浅黄→金黄→浅紫→紫→蓝紫→深蓝→蓝绿→绿→黄绿→金黄→紫色→绿色,呈现一定的周期性变化。该研究对氮化硅铝及其他膜系结构色的工艺控制与产品开发具有较强的参考价值。

**关键词:**纳米表面处理;磁控溅射;氮化硅铝;织物;结构色

**中图分类号:**TS195.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-0356(2021)05-0016-03

色彩主要分为结构色和色素色,结构色的生色机理与色素色完全不同,结构色主要是由于光的干涉和衍射产生的,如漂亮的孔雀羽毛、绚丽的肥皂泡等,都属于结构色。而色素色主要是基于色素分子对光的选择性吸收和反射产生的,如绿色植物的叶子、各种颜色的油漆等。结构色在玻璃镀膜、电子镀膜等行业已经得到了广泛的应用,近年来,许多学者将结构色引入纺织面料行业,进行了大量的试验和研究<sup>[1]</sup>,采用薄膜干涉生色技术在织物表面制备纳米膜层产生结构色已经成为可能,与传统印染技术相比,薄膜干涉生色技术不仅能耗低,生色速度快,而且绿色无污染,颜色更加艳丽,具有广阔的市场前景。

采用纳米表面处理技术中的磁控溅射技术在织物表面制备结构色,叶丽华等研究了SiO<sub>2</sub>和TiO<sub>2</sub>周期薄膜的靶基距、溅射周期、气体流量、工作气压和溅射功率等不同溅射工艺参数对结构色生色效果的影响<sup>[2]</sup>。师艳丽等介绍了纺织品表面镀膜的常用方法,综述了采用磁控溅射技术制备功能纺织品的研究现状<sup>[3]</sup>。刘琼溪等探讨了化工染色的兴衰,论述了纳米生色的原理和特点<sup>[4]</sup>。但当前针对结构色颜色变化规律的报道极为少见,且作为玻璃镀膜常用材料,硅铝膜系在纺织物纳米表面处理领域的应用具有一定的开发潜力,因此有必要对硅铝膜系的结构色生色规律进行研究。本文设计3层膜结构,分别为打底层、反射层和生色层,以生色层镀膜次数为变量,固定其他工艺参

数,探究氮化硅铝生色层镀膜次数对颜色的影响规律。

## 1 试验部分

### 1.1 仪器和材料

**靶材:**比例1:1的硅铝靶,金属钛靶(99.99%),高纯氩气(99.99%),高纯氮气(99.99%)。

**基布:**280 T春亚纺,100%涤纶原料,规格为5.5 tex×5.5 tex,幅宽为0.3 m,克重为62 g/m<sup>2</sup>,平纹。

**仪器:**小型卷绕式镀膜机,高倍电子显微镜,Fil-monitor3220光谱反射在线测色系统。

### 1.2 试验工艺

#### 1.2.1 样品制备

将长25 m、幅宽0.3 m的春亚纺基布放进卷绕式镀膜机,关闭仓门,抽气炼靶后开始生产样品。

**先沉积打底层:**通入氩气30 sccm,氮气60 sccm,工作气压维持0.17 Pa,传送速度0.5 m/min,钛靶电流设定6 A,镀膜时间50 min。

**再沉积反射层:**将氮气关闭,氩气流量改为60 sccm,工作气压维持0.14 Pa,传送速度0.5 m/min,钛靶电流6 A,镀膜时间50 min,往复镀膜2次。

**最后沉积生色层:**将氩气流量改为20 sccm,氮气流量改为40 sccm,工作气压维持0.14 Pa,传送速度0.5 m/min,硅铝靶电流6 A,生色层镀膜时将25 m春亚纺涤纶基布分为25份,每份1 m,每份春亚纺基布分别镀1、2、3……、25次,具体镀膜工艺见表1。

收稿日期:2021-01-04

作者简介:石 慧(1985-),女,博士,主要研究方向为纳米表面处理技术研究与应用,E-mail:shihui@nanocoloring.com。

表1 结构色各层镀膜工艺

膜层结构	打底层	金属层	生色层
靶材	Ti	Ti	SiAl
镀膜次数	1	2	1、2、3、...、25
电流/A	6	6	6
Ar/N <sub>2</sub> 气体流量/sccm	30/60	60/0	20/40

### 1.2.2 颜色检测与织物表面形态表征

为了便于区分,将样品分别编为1~25号,由于人眼对颜色的定义有一定的局限,因此采用国际通用的CIE1976  $L^* a^* b^*$  系统对颜色进行定义,其中 $L^*$  值在0~100之间,代表明暗; $a^*$  值正负分别代表红绿, $a^*$  值越正,表示颜色越红, $a^*$  值越负,表示越绿; $b^*$  值正负代表黄蓝, $b^*$  值越正,表示颜色越黄, $b^*$  值越负,表示越蓝。采用奥博泰 Filmonitor3220 光谱反射在线测色系统对样品进行颜色测量,结合目视检测,分析生色层镀膜次数与颜色变化的规律。

用高倍电子显微镜观察镀膜样品的表面形貌,分别放大300倍和700倍,以分析镀膜样品的表面特征。

## 2 结果与讨论

### 2.1 镀膜样品的表面特征

因高倍电子显微镜下镀膜样品差别不大,故选取6号样品作为观察对象,图1为放大300倍照片,从图1中可以看出:涤纶织物表面为紫色,经纬线表现出的亮度不同,这与涤纶织物表面的多孔隙粗糙界面有直接关系;图2为放大700倍照片,可以看出涤纶织物表面膜层光滑均匀,没有明显缺陷。

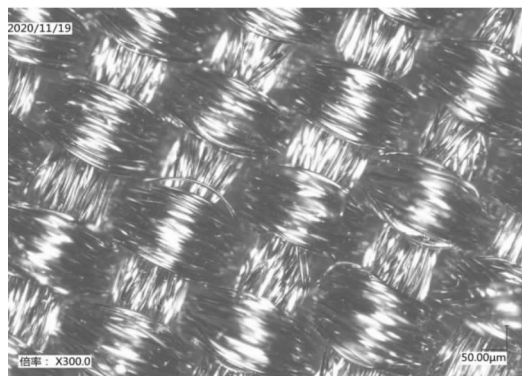


图1 6#样品镀膜后300倍表面形貌

### 2.2 生色层镀膜次数与颜色的关系

图3展示生色层镀膜次数增加时, $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  的颜色变化曲线,类似正弦波,存在变化的拐点,体现了结构色由于膜层厚度的增加而带来的周期性光学作用,具体生色规律为:

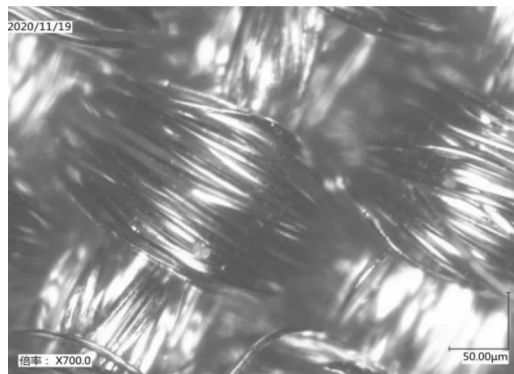
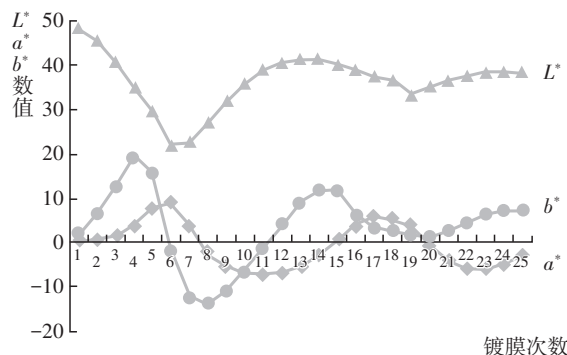


图2 6#样品镀膜后700倍表面形貌

(1)生色层镀膜前4遍 $L^*$  降低, $a^*$  和  $b^*$  都为上升趋势,但 $b^*$  上升更快,第4遍时 $b^*$  达到最高,颜色表现为浅黄至金黄的变化规律;

图3  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  随氮化硅铝生色层次数变化曲线

(2)继续增加生色层镀膜次数,第6遍时, $L^*$  达到最低值, $a^*$  值达到最高, $b^*$  从第4遍的最高值迅速降低,此时颜色从金黄向紫色转变;

(3)继续增加生色层次数,第8遍时, $L^*$  开始转为上升趋势, $a^*$  值开始降低, $b^*$  值达到最低值,此时颜色从紫色向蓝色转变;

(4)继续增加生色层次数,第11遍时, $L^*$  依然为上升趋势, $a^*$  值达到最低, $b^*$  开始转为上升趋势,此时颜色由蓝色向绿色转变;

(5)继续增加生色层次数,第14遍时, $L^*$  达到第二高点, $a^*$  开始转为上升趋势, $b^*$  达到第二高点,此时颜色由绿色向黄色转变;

(6)继续增加生色层次数,颜色开始进入第二周期,第二周期虽然 $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  的变化趋势与第一周期接近,但振幅明显小于第一周期。纤维表面的粗糙多孔隙结构会使膜层随着纤维表面起伏而表现出膜层方向和厚度的多样性,从而产生角度色,即在不同角度观察面料会产生不一样的颜色效果。此时随着膜层厚度的增加,角度色对整体颜色的影响越来越严重,所以

颜色表现与第一周期完全不同,第18遍时, $L^*$ 为下降趋势,但变化量较小, $a^*$ 达到第二高点, $b^*$ 转为下降趋势,此时颜色表现为紫色,角度色为金黄色;

(7)继续增加生色层次数,第20遍时, $L^*$ 开始转为上升趋势, $a^*$ 值开始降低, $b^*$ 值达到最低值,但由于 $b^*$ 振幅较小,颜色表现为浅绿色,角度色为紫色;

(8)继续增加生色层次数,第23遍时, $L^*$ 依然为上升趋势, $a^*$ 值达到第二低点, $b^*$ 转为上升趋势,颜色表现为深绿色,角度色为深紫色;

(9)继续增加生色层次数,第25遍时, $L^*$ 趋于平缓, $a^*$ 再次转为上升趋势, $b^*$ 达到第三高点,颜色向紫色转变,角度色为绿色。

### 3 结论

(1)随氮化硅铝生色层膜层厚度的增加,织物颜色的变化规律为:浅黄→金黄→浅紫→紫→蓝紫→深蓝→蓝绿→绿→黄绿→金黄→紫色→绿色,呈现一定的

周期性变化。

(2)氮化硅铝结构色生色层第一周期颜色变化幅度更大,颜色表现更加丰富,第二周期颜色变化幅度较小,角度色更加明显。

(3)该规律对氮化硅铝及其他膜系结构色的工艺控制与产品开发具有一定的参考意义。

### 参考文献:

- [1] 田桓荣,刘建勇.结构生色纺织品的研究进展[J].针织工业,2019,(1):30-35.
- [2] 叶丽华,杜文琴.磁控溅射工艺参数对涤纶织物结构色出色效果的影响[J].五邑大学学报(自然科学版),2015,29(3):16-22.
- [3] 师艳丽,李娜娜,付元静.用于纺织品表面改性的磁控溅射技术研究进展[J].纺织学报,2016,37(4):165-169.
- [4] 刘琼溪,张欣,余荣沾.纳米生色技术的原理与优势[J].染整技术,2019,41(2):3-6.

## Study on Structural Color Generation of Nano-surface Treated Textile with Silicon Aluminum Nitride

SHI Hui, CHEN Bin, YAO Jun-qi, ZHANG Xin

(Guangdong Rising Well Science & Technology Co., Ltd., Kaiping 529300, China)

**Abstract:** Silicon aluminum nitride structural color films were prepared by magnetron sputtering on the surface of polyester textile substrate with nano surface treatment technology. Based on the color performance of silicon aluminum nitride chromogenic layer with different coating times, the influence of film thickness on structural color of silicon aluminum nitride was studied. The result showed that with the increase of the thickness of aluminum silicon nitride chromogenic layer, the textile color changed as follows: light yellow → golden yellow → light purple → purple → blue violet → dark blue → blue green → green → yellow green → golden yellow → purple → green, showing a certain periodic change. This study provided essential reference value for the process control and product development of structural colors developed by silicon aluminum nitride and other film systems.

**Key words:** nano-surface treatment; magnetron sputtering; silicon aluminum nitride; textile; structural color

欢迎订阅《纺织科技进展》杂志!

邮发代号:62-284  
海外发行代号:DK51021