

光盘油墨涂层固化的UV LED光源系统研究

周瑞华 田秀云

广东海洋大学物理与光电科学系, 广东 湛江 524088

摘要 在对旋转的UV油墨进行紫外光固化时,会出现紫外光辐照量沿旋转径向不均匀分布和各种颜色的UV油墨固化速度不同的情况,为了解决UV油墨在旋转固化过程中的问题,提出了在圆柱面上用两种不同波长UV LED组成扇形混合阵列构成固化照射系统的设计方案,实现了紫外光辐照度在旋转径向均匀分布,并解决了不同颜色的油墨材料同时固化的技术难题。使用光学软件Tracepro进行计算机仿真模拟,结果表明:这种新型的UV LED固化照射系统完全满足设计要求,对进一步拓展UV LED的应用领域具有重要的参考价值。

关键词 光学设计; 光盘; 油墨固化; UV LED; 光源

中图分类号 TN29 **文献标志码** A **doi**: 10.3788/LOP51.092203

Research on UV LED Source System for CD Painting Ink Coating Curing

Zhou Ruihua Tian Xiuyun

Physical and Photoelectric Science Department, Guangdong Ocean University, Zhanjiang,
Guangdong 524088, China

Abstract Uneven radiant quantity along the radial and different ink curing speeds of all sorts of color ink appear in the process of rotating painting ink UV-curing. In view of these problems, a design using the UV LED with two kinds of different wavelengths is proposed to form a fan-shaped array on a cylindrical surface. The curing system can achieve even curing along the radial, and the technique problem of different colors of ink curing at the same curing time is solved. The simulation result shows that the UV LED curing system meets design requirements with Tracepro and is important for further expanding the application field of UV LED.

Key words optical design; compact disk; painting ink curing; UV LED; light source

OCIS codes 220.4830; 230.3670

1 引言

印刷油墨的干燥,常采取UV辐射固化的方式。使用波长为250~420 nm的高功率密度的紫外光照射UV油墨,油墨中的光引发剂在小于0.1 s的时间内迅速打开不饱合双键,引发树脂(如聚氨基甲酸乙酯、环氧丙烯酸酯等)交联固化形成固体,从而达到干燥的目的。

光盘标识印刷主要使用UV辐射固化工艺,为了满足光盘印刷油墨涂层固化的特殊要求,传统固化光源大幅度提高了功率,从而带来了高耗能、低效和系统老化迅速等一系列问题,因此,研发高效、低耗的固化光源已迫在眉睫。

2 旋转的UV油墨涂层固化的特殊问题

2.1 UV油墨颜色对固化的影响

与普通UV材料(如UV胶水等)的固化情况一样,UV油墨固化与UV光波长、辐射度和光辐射量(或照射时间)有关,但是油墨固化还有极其特殊的性质,表现在:油墨是一种多颜色系统。各种颜色油墨对UV光的

收稿日期: 2014-02-15; 收到修改稿日期: 2014-03-15; 网络出版日期: 2014-07-04

基金项目: 广东省教育部产学研结合项目(2009B090300234)

作者简介: 周瑞华(1955—),男,副教授,主要从事光电子技术方面的研究。E-mail: ph.cx.403@126.com

反射、透射和吸收差别很大,影响光引发剂对UV光吸收,从而导致固化速度和效果大不相同。实验表明:各种颜色油墨对UV光有不同的吸收率,颜料吸收率越小,透光率越大,涂层的固化速度越快。一般地,对紫外光的吸收率从大至小依次为黑色,紫色,蓝色,青色,绿色,黄色和红色^[1]。

2.2 UV光源波长成分对固化的影响

UV油墨固化效果与UV光波长密切相关。这是因为短波长UV光主要在油墨涂层表面产生固化,长波长UV光较容易渗入涂层内部,在油墨深处引发光化学反应。要使油墨涂层表面和内部同时固化,则需要一个多波长UV光源系统。

传统UV固化光源(如高压汞灯等)在油墨固化波段(254~420 nm)波长成分比较丰富,很容易满足UV油墨的固化要求。但是,选用波长单一的UV LED构建固化光源,则很难满足油墨涂层的固化要求,必须采取特殊措施。

2.3 UV油墨涂层高速旋转产生的问题

在对光盘UV油墨涂层固化时,因光盘高速旋转还带来了新问题。在传统的固化光源(如高压汞灯)中,固化光源的光功率沿灯管轴向近似均匀分布,因光盘旋转时,各点速率与半径成正比,辐照时间与半径成反比,导致UV光辐照量沿光盘径向递减,产生光盘固化不均匀现象。

为了保证光盘各区域油墨涂层能充分固化,传统方法是大幅度提高固化光源功率(高压汞灯功率通常高达3300 W以上),从而带来了光源能耗过大、灯管高温引起光盘翘曲、光盘成品率下降、固化系统老化加速等一系列问题。

3 使用UV LED构建固化光源的可行性分析

对传统UV固化光源高压汞灯而言,其辐射光谱很宽(200~436 nm),峰值位于UV光部分的365 nm处,405 nm和436 nm处是汞灯在可见光部分特有的峰值区。高压汞灯光能量主要集中分布在254 nm~313 nm附近,用于油墨固化的UV光能量在波长365 nm处很少,相当宽的光谱位于可见光区域(杂光)并会产生热量^[2](如图1所示)。故汞灯电光转换效率低,是一种高耗能装置。

与传统固化光源相比,UV LED具有体积小、能耗低、寿命长、光效高、热量低、响应快速等优点^[3]。但是,单管UV LED功率太小,UV光辐照度不够,且输出波长成分单一(如图2所示),无法作为光盘油墨固化照射光源使用。但是,若将不同波长的若干个UV LED组成特定阵列,则完全可以满足光盘油墨固化的特殊要求。

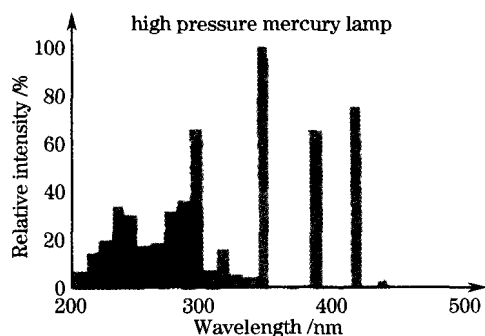


图1 高压汞灯发光光谱分布

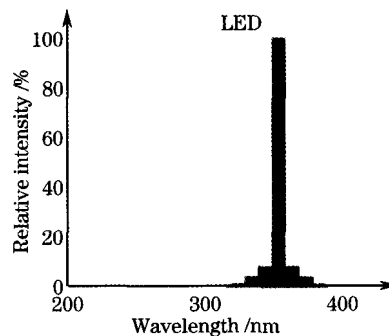


图2 UV LED的发光光谱分布

Fig.1 Spectral distribution of high pressure mercury lamp

Fig.2 Spectral distribution of UV LED

本文以光盘油墨涂层固化为例,设计了一种多波长UV LED扇形阵列,并使用光学设计软件Tracepro对这一光源辐照度分布进行了光学仿真模拟。

4 基于UV LED光盘油墨固化光源设计

4.1 光盘油墨固化光源UV LED阵列的设计要求

针对光盘油墨固化特点,基于UV LED的固化光源中UV LED的阵列设计必须满足以下要求:

- 1) 在相同时间内,UV光对光盘径向各区域的辐照量相同,保证光盘能固化均匀;
- 2) 使用多波长UV LED组合,保证UV光辐照时,油墨表面和内部能同时产生固化;

3) 在辐照区域有足够的辐照度。

4.2 光盘油墨固化照射系统 UV LED 阵列的设计原理

光盘的油墨涂层固化时,因旋转而导致 UV 光辐照量沿径向减少,最终造成不均匀固化,是旋转固化过程中最特殊的问题。

设光盘以角速度 ω 旋转,则在径向 P 点的线速度为:

$$V_p = \omega \times r_p, \quad (1)$$

(1)式表明: P 点经过辐照区域的时间与其半径成反比。 P 点接受 UV 光的辐照量 H 为辐照度 E 对时间的积分:

$$H = \int_0^t E dt, \quad (2)$$

若 UV 光沿半径方向的辐照度是均匀的,则光盘表面 P 点的辐照量 H 会随半径增大而减小。只有使 UV 光辐照度沿径向逐渐增大,才能使 UV 光对光盘表面辐照量均匀,达到均匀固化的效果。

在光盘标识印刷过程中,各种颜色油墨对 UV 光的反射、透射和吸收的差异,会影响不同颜色油墨的固化速度和固化效果;另外,由于不同波长的 UV 光在涂层内引发的固化深度不同,因此,UV 油墨固化需要一个多波长的 UV 光照射系统。

4.3 UV LED 照射系统光学设计

分别使用中心波长为 365 nm 和 385 nm 的 UV LED 组成扇形阵列,两种扇形阵列交替排列组成组合阵列,形成一个多波长的 UV LED 扇形照射系统^[4]。这个照射装置既可以使 UV 光辐照度沿光盘半径方向逐渐增强,实现光盘中心和边缘同时固化,也解决了油墨涂层表面和内部同时固化的问题(如图 3 所示)。

若使用加装透镜的 UV LED 组成阵列,可进一步使 UV 光能量在辐照区域内高度集中,使辐照度达到最大,实现辐照区域的高功率密度分布。

4.4 UV LED 照射系统结构设计

将波长分别为 365 nm、385 nm 加装凸透镜的 UV LED 组成图 3 所示的组合扇形阵列;将组合阵列和反光罩安装在铝基板上,并与散热片密切接触,如图 4 所示^[5]。UV LED 辐射的 UV 光经凸透镜准直后,成为发散角小于 3° 的近似平行光,使照射区域光功率高度集中;照射区域形成狭窄的辐照度沿半径方向逐渐增强的矩形光斑,与铝基板共面的反光罩进一步反射 UV 光,使固化区域形成高功率密度的辐照。

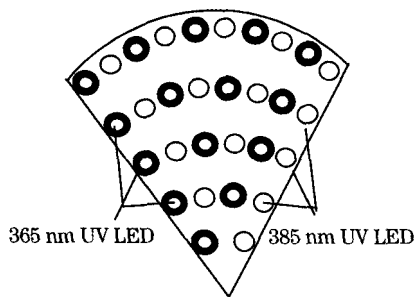


图 3 UV LED 阵列图
Fig.3 UV LED array distribution

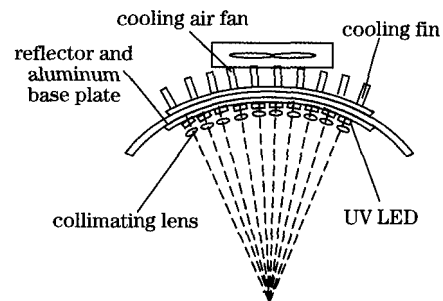


图 4 UV LED 阵列结构图
Fig.4 Structure chart of UV LED array

5 辐照度沿径向渐近增强的矩形光斑的实现与光学仿真

5.1 多波长 UV LED 扇形阵列辐照度仿真

如图 3 所示,365 nm 和 385 nm 的 UV LED(功率为 1 W,光功率为 0.15 W,芯片尺寸为 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$,光学准直透镜为方型,口径为 6.7 mm,焦距为 6 mm)组成多波长 UV LED 扇形阵列,建立一个辐照度沿光盘径向逐渐增强的矩形光斑的光学系统模型,UV LED 及准直透镜阵列空间分布如图 5 所示。

针对上述光学系统模型,使用光学设计软件 Tracepro 进行计算机仿真模拟,得到多波长 UV LED 扇形阵列追迹图,如图 6 所示。

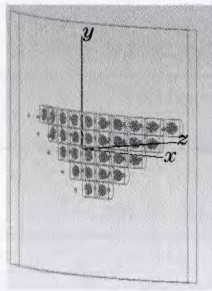


图5 UV LED及准直透镜阵列空间分布
Fig.5 Spatial distribution of UV LED and collimating lens array

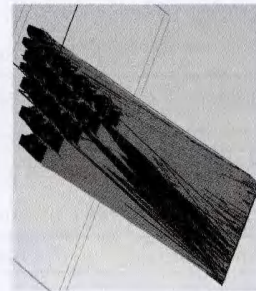


图6 UV LED扇形阵列追迹图
Fig.6 Tracing of UV LED fan-shaped array

在该光学系统模型中,距离照射光源 110 mm 处可得到 10 mm×40 mm 辐照度沿半径逐渐增强的矩形光斑,仿真结果如图 7 和图 8 所示。

从图 7 和图 8 可知,使用加装光学准直透镜的多波长 UV LED 柱面扇型阵列构成的光盘油墨固化光源,在距离照射光源 110mm 处的固化区域,能形成一个 UV 光辐照度沿光盘径向渐进增强(加装反光罩后,固化区域辐照度还可进一步增强)的 10mm×40mm 的矩形区域,从而得到 UV 光辐照量沿光盘径向均匀分布,使油墨涂层旋转时能均匀固化;多波长 UV 光照射使油墨表面和内部同时固化的效果,完全解决光盘油墨涂层固化的所有问题。

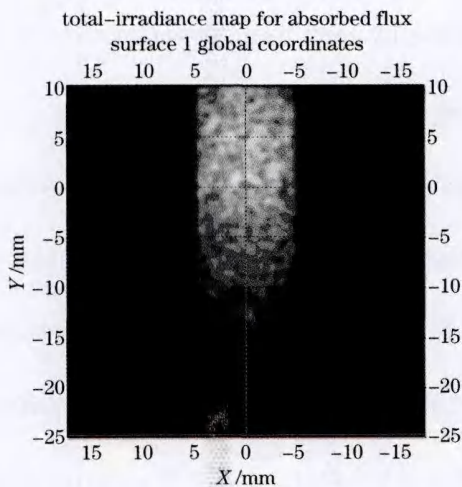


图7 LED阵列空间照度分布(透镜未镀膜)
Fig.7 Illuminance distribution of UV LED array (lens is not coated)

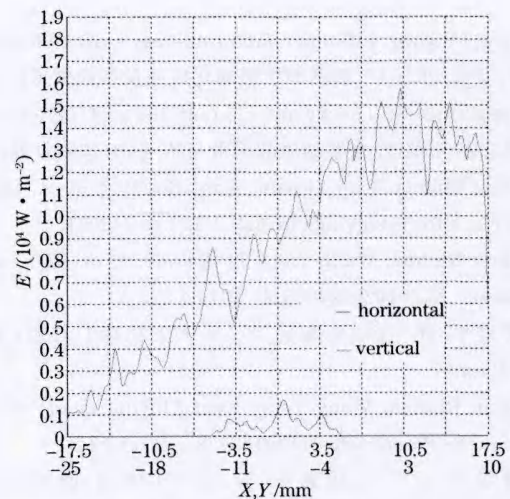


图8 辐照度线性增加的矩形光斑曲线图
Fig.8 Rectangular facular graph of irradiance linear increase

6 光盘油墨涂层的固化效果

在实验室中,以丝网印刷方式,在光盘表面形成厚度约为 20 μm 油墨涂层,使光盘以 12000 r/min 的速度高速旋转模拟生产线上光盘油墨涂层的固化环境。

使用 30 个波长分别为 365 nm 和 385 nm 的 UV LED(功率为 1 W,光学准直透镜口径为 6.7 mm,焦距为 6 mm)构建多波长 UV LED 扇形固化光源。

固化光源在 110 mm 距离处垂直照射光盘,油墨涂层表面 UV 光功率密度沿径向分布为 800~1200 MJ/cm^2 ,各种颜色的油墨充分固化所需时间如表 1 所示。

若使用 60 个波长分别为 365 nm 和 385 nm 的 UV LED(功率为 1 W,光学准直透镜口径为 6.7 mm,焦距为 6 mm,两个扇形沿直径对称配置)构建 UV LED 固化光源。保持上述条件不变,各色油墨充分固化时间如表 2 所示。

表1 各种颜色油墨固化时间(总功率30 W)

Table 1 Curing time of all sorts of color ink (total power is 30 W)

Ink color	black	blue	green	yellow	red
Curing time /s	3.26	2.72	2.38	2.12	1.93

表2 各种颜色油墨固化时间(总功率60 W)

Table 2 Curing time of all sorts of color ink (total power is 60 W)

Ink color	black	blue	green	yellow	red
Curing time /s	1.57	1.45	1.28	1.14	1.05

从实验数据可见,增加光源功率,固化时间可以进一步缩短。

7 结 论

用UV LED取代传统UV光源,将在固化领域真正实现低耗、高效和环保的目标。提出使用多波长、加装光学准直透镜的UV LED构建柱面扇型组合阵列的设计方案,实现了UV光辐照度沿光盘径向逐渐增强、辐照量沿光盘径向均匀分布、油墨涂层纵向深度均匀固化,使用光学软件Tracepro进行计算机仿真的结果表明,这种设计能解决光盘油墨固化的技术难题。在实验室中模拟生产线上光盘油墨涂层固化过程,实验数据表明,这种基于UV LED的固化光源满足光盘油墨固化的要求,这种设计思路对进一步拓展UV LED的应用有一定的参考意义。

参 考 文 献

- 1 Feng Peiyong. Influence factor and dry curing mechanism of water-borne UV ink[J]. Printing Field, 2005, (11): 77-79.
冯培勇. 水性UV油墨的干燥固化机理及影响因素[J]. 印刷杂志, 2005, (11): 77-79.
- 2 Yang Zhigang. Theory and characteristic of LED curing ink[J]. Printing world, 2009, (6): 4-7.
杨志钢. LED固化型油墨的原理与特点[J]. 印刷世界, 2009, (6): 4-7.
- 3 Zhou Ruihua, Tian Xiuyun, Wang Shuqing, *et al.*. Optimal simulation and design of fanlike UV LED array on cylindrical surface for revolving curing[C]. ICEICE, 2011.
- 4 Zhou Ruihua, Wang Yang, Li Shende, *et al.*. CD curing device of high-power UVLED fan-shaped array[P]. Chinese Patent: ZL201020524055.X, 2011.4.27.
周瑞华, 汪洋, 李慎德, 等. 基于大功率UVLED扇形阵列的光盘固化照射装置[P]. 中国专利: ZL201020524055.X, 2011.4.27.
- 5 Zhou Ruihua, Wang Yang, Tian Xiuyun, *et al.*. CD curing light of fanlike UV LED array on cylindrical surface[P]. Chinese Patent: ZL201120143723.9, 2011.11.23.
周瑞华, 汪洋, 田秀云, 等. 基于UVLED抛物柱面扇形阵列的光盘固化光源[P]. 中国专利: ZL201120143723.9, 2011.11.23.