

文章编号: 1000-7032(2013)02-0213-05

一种基于伪失效寿命的 LED 可靠性快速评价方法

郭伟玲*, 樊 星, 崔德胜, 吴国庆, 俞 鑫

(北京工业大学 光电子技术省部共建教育部重点实验室, 北京 100124)

摘要: 提出一种快速评价 LED 可靠性的有效方法。通过测试 LED 样品的伪失效寿命, 结合 Minitab 软件进行数据分析, 确定全部样品的伪失效寿命服从二参数的威布尔分布。通过计算威布尔分布尺度参数, 比较不同样品的尺度参数来评价产品的可靠性。该方法对 LED 的可靠性评价和寿命预测有一定的参考价值。

关键词: 发光二极管; 定时截尾试验; 伪失效寿命; 威布尔分布

中图分类号: TN364.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/fjxb20133402.0213

Rapid Reliability Evaluation Method of LED Based on Pseudo-failure Lifetime

GUO Wei-ling*, FAN Xing, CUI De-sheng, WU Guo-qing, YU Xin

(Key Laboratory of Opto-electronics Technology, Ministry of Education, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

* Corresponding Author, E-mail: guoweiling@bjut.edu.cn

Abstract: An efficient and rapid reliability evaluation method of LED has been proposed. The pseudo-failure lifetime is tested and the lifetime data is analyzed by Minitab. The results show that the pseudo-failure lifetime of all samples are Weibull distribution. The reliability evaluation of LED products are made by comparing the scale parameters of Weibull distribution. This method has a certain reference value to reliability evaluation and life prediction of LED.

Key words: LED; fixed time test; pseud-failure lifetime; Weibull distribution

1 引 言

随着电子信息技术应用的日益广泛, 各种电子产品对现代社会的影响日益增大, 产品结构的复杂以及使用条件的严苛使得产品发生故障及潜在失效的可能性越来越大, 可靠性已经成为电子产品最重要的质量指标。传统意义的可靠性评估主要是基于数理统计和寿命试验形成的一套理论方法和工程技术, 分析的主要对象是失效时间。然而, 这种方法却无法在现代 LED 可靠性研究中

得以应用。由于 LED 技术的不断进步, 可靠性的大幅提高使得一般 LED 的寿命可达数十万小时甚至上百万小时^[1], 即便是传统的加速寿命试验也至少需要几千小时才能完成, 这就使企业在有限的生产周期内无法评价产品的可靠性。

本文针对上述问题提出了基于伪失效寿命的 LED 可靠性研究方法。选定 LED 产品的若干主要性能指标并设定失效阈值, 进行定时截尾试验, 当一项或几项指标的退化量超过阈值时判定器件失效^[2-3], 得到样品的伪失效寿命分布, 用 Minitab

收稿日期: 2012-11-27; 修订日期: 2012-12-13

基金项目: 国家科技支撑计划(2011BAE01B14)资助项目

作者简介: 郭伟玲(1966-), 女, 山西垣曲县人, 主要从事半导体光电子器件方面的研究。

E-mail: guoweiling@bjut.edu.cn

软件进行分析,确定样品的分布类型与分布参数。这种方法可以有效地对 LED 的可靠性进行快速评价。

2 理论分析

LED 器件的失效可以分为灾难性失效与非灾难性失效两类,其中灾难性失效包括有源区中缺陷的产生^[4-6]以及荧光粉和封装材料的退化^[7-9],非灾难性失效包括静电损伤等^[10]。但在同一批次中 LED 样品的退化机制是基本不变的,由此作出以下假设:同一批样品退化轨迹可以用相同形式的退化方程描述。对于不同的 LED 样本,其退化方程具有不同的退化系数,这种随机性使器件性能退化量达到失效阈值时的时间也具有随机性,可以认为这种伪失效寿命服从某种分布,这种分布可以用来描述并研究 LED 器件的可靠性。图 1 描述了器件性能退化轨迹与寿命分布之间的关系^[11], D_f 为失效阈值, $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ 表示不同样品的伪失效寿命。在定时截尾试验中经常会遇到规定时间内器件参数并未退化至失效阈值的情况,这时可以通过退化曲线外推出器件的伪失效寿命。

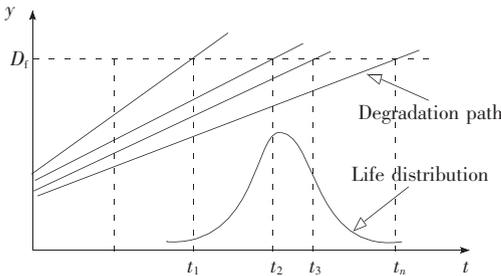


图 1 退化轨迹与寿命分布之间的关系

Fig. 1 The relationship between degradation path and life distribution

在得到全部样品伪失效寿命后,对数据进行分布假设检验。电子产品的寿命分布一般为威布尔分布、正态分布或对数正态分布,可以计算并比较相关系数来确定伪失效寿命服从的分布。

对于二参数威布尔分布,可将累计失效函数

$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m\right]$ 转化为:

$$\frac{1}{1 - F(t)} = \exp\left(\frac{t}{t_0}\right)^m. \quad (1)$$

对公式(1)取两次自然对数,则有:

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} = m \ln t - m \ln t_0. \quad (2)$$

令

$$\begin{cases} y = \ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} \\ x = \ln t \\ B = m \ln t_0 \end{cases}, \quad (3)$$

将公式(3)代入公式(2)得:

$$y = mx - B. \quad (4)$$

若将式(3)改写为

$$\begin{cases} t = \exp(x) \\ F(t) = 1 - \exp(-e^y) \end{cases}, \quad (5)$$

则可建立 $t-F(t)$ 坐标系,即可将 x 与 t, y 与 $F(t)$ 两组坐标绘制在同一张坐标纸上,分别采用不同的分度,形成了威布尔概率图,在威布尔概率图上绘制出数据点 $[t_1, F(t_1)], [t_2, F(t_2)], \dots, [t_i, F(t_i)]$ 。

采用最小二乘法获得分布的参数估计值^[12]。若 n 个数据的观测值为 $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$, x 和 y 之间存在线性关系,以直线 $Y = a + bx$ 拟合它们之间的关系,由下式表示:

$$E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2, \quad (6)$$

使 E 值取最小,即满足

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial a} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0 \\ \frac{\partial E}{\partial b} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)x_i = 0 \end{aligned}, \quad (7)$$

解方程组得到

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (8)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}, \quad (9)$$

其中 a, b 为回归系数, $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$, $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$, 这样就得到了回归方程。由 $(t_i, F(t_i))$ 求得 $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$, 再用最小二乘法拟合出直线,即可求得形状参数 m 与尺度参数 t_0 。

3 实 验

选取 3 个不同公司的芯片,每种芯片选取 20

支,分别为:台湾公司,芯片尺寸 1.143 mm (45 mil);国产 A 公司,芯片尺寸 1.270 mm (50 mil);国产 B 公司,芯片尺寸 1.143 mm (45 mil)。3 种芯片的封装材料与封装工艺相同。实验条件:正向电流 800 mA;环境温度 25 °C;采用定时截尾试验,时间为 3 000 h。为了在有限试验时间内有足够多的芯片失效,选定 LED 样品失效的阈值条件为:光通量下降 3%; -5 V 下反向漏电大于 5 μ A;正向电压漂移大于 0.2 V;灾难性失效。其中任一条件发生即认为该器件失效。对于 3 000 h 内未失效的器件,通过退化曲线外推其伪失效寿命。试验中采用 Minitab 公司推出的 Minitab 软件确定分布类型并计算分布参数,从而评价 LED 器件的可靠性。

4 结果与讨论

4.1 分布类型选择

用 Minitab 软件对台湾公司样品的伪失效寿命数据进行分布假设检验,图 2 描述了其可能服从的 3 种分布类型。若服从威布尔分布,相关系数为 0.986,如图 2(a)所示;若服从正态分布,相关系数为 0.963,如图 2(b)所示;由图 2(c)可以明显看出,实验数据完全不符合指数分布。由此可以认为 LED 器件样品的伪失效寿命服从二参数的威布尔分布。

对国产 A 公司和国产 B 公司 LED 样品作同样分析,其伪失效寿命的分布都接近威布尔分布。图 3 和图 4 分别为其概率分布图。

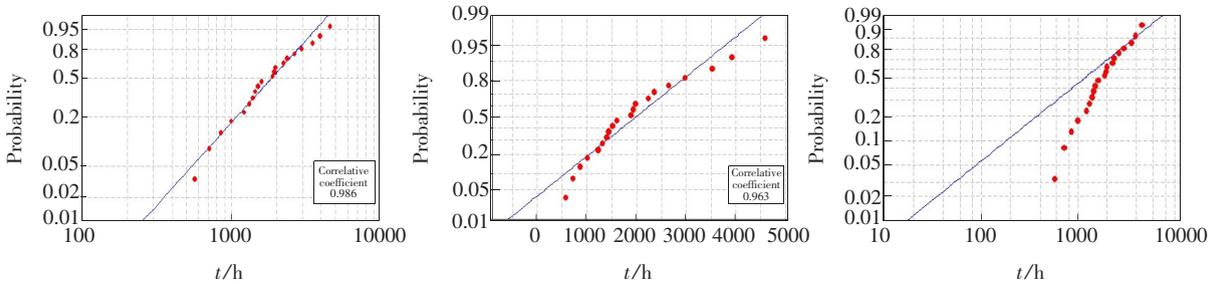


图 2 台湾样品的概率分布图。(a)威布尔分布概率图;(b)正态分布概率图;(c)指数分布概率图。

Fig. 2 Probability distribution curve of Taiwan samples. (a) Weibull probability graph. (b) Normal distribution probability graph. (c) Exponential distribution probability graph.

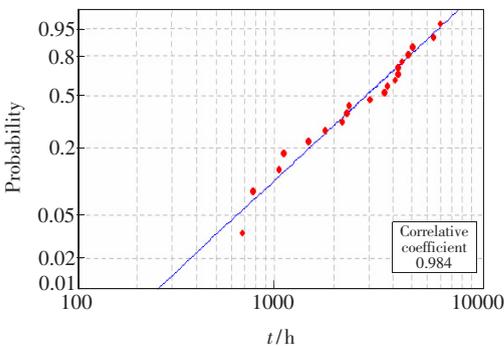


图 3 国产 A 公司样品的威布尔分布概率图

Fig. 3 Probability distribution curve of China A samples

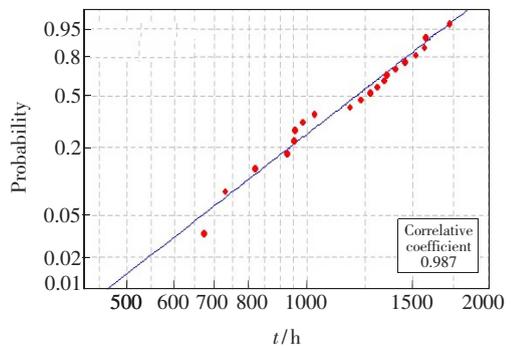


图 4 国产 B 公司样品的威布尔分布概率图

Fig. 4 Probability distribution curve of China B samples

4.2 参数估计

二参数威布尔分布的形状参数 m 和尺度参数 t_0 对器件可靠性的研究有重要作用。 m 值越小,说明曲线越平坦,失效机理越复杂; m 值越大,则曲线越陡,器件失效机理越单一。而尺度参数 t_0 影响器件的寿命,在 m 一定时, t_0 越大,说明器件寿命越长。用 Minitab 软件对 3 种样品的威布

尔分布进行参数估计,得到失效率的概率密度图,分别如图 5、图 6、图 7 所示。由上述计算分布参数算法计算得:台湾公司伪失效寿命分布函数的形状参数 $m = 2.2519$,尺度参数 $t_0 = 2138.13$;国产 A 公司样品寿命分布函数的形状参数 $m = 1.66278$,尺度参数 $t_0 = 3727.97$;国产 B 公司样品寿命分布函数的形状参数 $m = 4.40359$,尺度

参数 $t_0 = 1\ 214.03$ 。

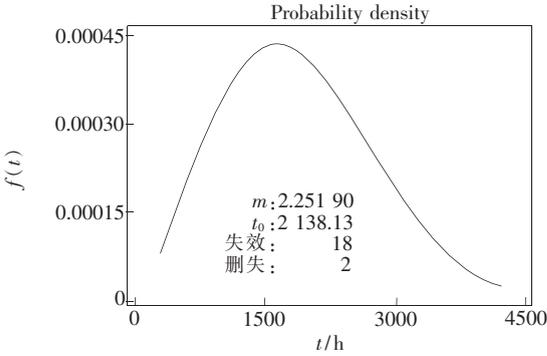


图 5 台湾公司样品的失效率概率密度图

Fig. 5 Failure rate probability density curve of Taiwan samples

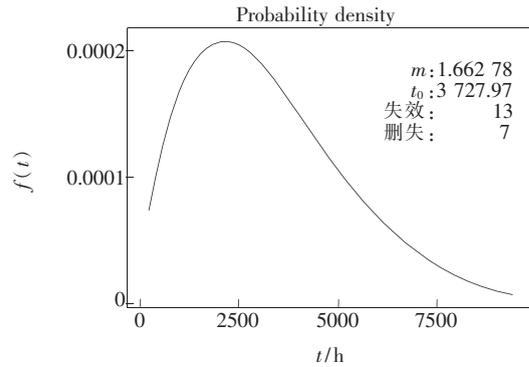


图 6 国产 A 公司样品的失效率概率密度图

Fig. 6 Failure rate probability density curve of China A samples

与实际寿命相比,伪失效寿命与其服从同一分布, m 值变化不大。这里用尺度参数 t_0 值来估计产品寿命,可以看出国产 A 公司样品寿命最长,国产 B 公司样品寿命最短。对比伪失效寿命的加速寿命试验结果发现:3 000 h 内国产 B 公司 20 支样品全部失效,国产 A 公司只有 13 支样品失效。这也说明用估计参数方法评价 LED 产品的

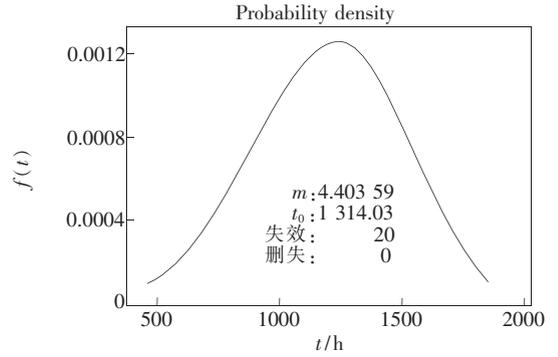


图 7 国产 B 公司样品的失效率概率密度图

Fig. 7 Failure rate probability density curve of China B samples

可靠性是行之有效的。

5 结 论

针对现在市场上 LED 产品可靠性高而难以在短时间内评价的问题,提出了一种基于伪失效寿命的 LED 可靠性评估方法。先选择若干器件性能指标作为退化数据,设定失效阈值,做 3 000 h 的定时截尾试验,得到每一个试验样品的伪失效寿命(超出 3 000 h 未失效则根据退化曲线进行寿命外推),用 Minitab 软件模拟并选择分布类型。试验中 3 种样品全部服从威布尔分布。再由算法分别计算形状参数和尺度参数,通过对尺度参数进行比较可以对不同 LED 产品的可靠性进行评价。结果表明:国产 A 公司产品尺度参数为 3 727.97,可靠性最高;而国产 B 公司产品的可靠性最低,尺度参数为 1 214.03。这种方法的优点在于寿命试验时间短、数据处理简单、试验结果准确性高,是一种快速且有效评价 LED 产品可靠性的方法。

参 考 文 献:

- [1] Gao W. Study of Substrate Transfer and Reliability of AlGaInP LED [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2011.
- [2] Yang Y H, Zhou Y Q. Theoretical foundation of accelerated life testing (II) [J]. *J. Propulsion Technol.* (推进技术), 2001, 22(5):353-356 (in Chinese).
- [3] Lu C J, Meeker W Q. Using degradation measures to estimate a time-to-failure distribution [J]. *Technometrics*, 1993, 35(2):161-174.
- [4] Pursiainen O, Linder N, Jaeger A, et al. Identification of aging mechanisms in the optical and electrical characteristics of light-emitting diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2001, 79(18):2895-2896.
- [5] Altieri P, Jaeger A, Windisch R, et al. Internal quantum efficiency of high-brightness AlGaInP light-emitting devices [J]. *J. Appl. Phys.*, 2005, 98(8):086101-1-3.
- [6] Xiao Y P, Mo C L, Qiu C, et al. The aging characteristics of GaN-based blue LED on Si substrate [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2010, 31(3):364-368 (in Chinese).

- [7] Yang L Q, Hu J Z, Kim L, *et al.* Variation of thermal resistance with input power in LEDs [J]. *Phys. Status Solidi C: Current Topics in Solid State Physics*, 2006, 3(6):2187-2190.
- [8] Hu J Z, Yang L Q, Shin M W. Mechanism and thermal effect of delamination in light-emitting diode packages [J]. *Microelectronics Journal*, 2007, 38(2):157-163.
- [9] Yang S C. Failure and degradation mechanisms of high-power white light emitting diodes [J]. *Microelectron. Reliab.*, 2010, 50(7):959-964.
- [10] Wu G Q, Guo W L, Zhu Y X, *et al.* Effects of human body mode electrostatic on carrier movement and the reliability of GaN-based blue light-emitting diode [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2012, 33(10):1132-1137 (in Chinese).
- [11] Deng A M. Research on Reliability Technology of High-reliability and Long-lifetime Products [D]. Changsha: National Defense Science and Technology University, 2006.
- [12] Zhang X F, Zhao Y. Weibull reliability analysis in small samples based on LSSVM [J]. *Chin. Mechan. Eng.* (中国机械工程), 2012, 23(16):1967-1971 (in Chinese).

《发光学报》入选“2012 年中国国际影响力优秀学术期刊”

近日,中国科学文献计量评价研究中心在北京国际会议中心召开新闻发布会,发布了“中国学术期刊国际影响力评价报告”。《发光学报》入选“2012 中国国际影响力优秀学术期刊”。发布会上,中宣部、新闻出版总署、科技部、教育部等有关领导为入选期刊授牌。

首届“中国最具国际影响力学术期刊”、“中国国际影响力优秀学术期刊”是依据《中国学术期刊国际引证报告(2012 版)》(简称《CAJ-IJCR》),按 2011 年度中国学术期刊被 SCI 期刊、SSCI 期刊的总被引频次和影响因子排序,经综合计算,最终遴选出的 TOP 5% 期刊和 TOP 5% ~ 10% 期刊。其中,科技期刊备选期刊为 3533 种,由上述方法选出 175 种“2012 中国最具国际影响力学术期刊”;人文社科类备选期刊为 680 种,选出 34 种“2012 中国最具国际影响力学术期刊”。同样,选出科技类“2012 中国国际影响力优秀学术期刊”175 种,人文社科类“2012 中国国际影响力优秀学术期刊”34 种,共计 209 种。这些期刊的主要指标可堪与 SCI、SSCI 期刊相比,标志着我国学术期刊“走出去”已经取得了令人鼓舞的显著成效。同时,在上榜的 418 个期刊中,中文期刊达 312 个,已成为具有相当影响力的国际化期刊。

