学校编码: 10384　　　　　　　　　　　　　　　　**分类号______密级 ______**

学　　号: 20720091150054　　　　　　　　　　　　　　　**UDC ______**

厦　门　大　学

硕　士　学　位　论　文

LED 封装散热用硅氧碳自由薄膜的主要电学热学性能与初步应用

Electrothermic Properties and Preliminary Applications of Freestanding Si–O–C Films for LED Heat Dissipation

杨敏

指导教师姓名：冯祖德　教授

　　　　　　　姚荣迁助理教授

专 业 名 称：材　料　学

论文提交日期：2013 年　月

论文答辩日期：2013 年　月

论文打印时间：2013 年　月

答辩委员会主席：__________

评　阅　人：__________

2013 年　月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外,该学位论文为(　　　　　　　　　　　　　　)课题(组)的研究成果，获得（　　　　　　　　　）课题（组）经费或实验室的资助，在（　　　　　　　　　）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

2013　　年　　月　　日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（　　）1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于　　年　　月　　日解密，解密后适用上述授权。

（　　）2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

2013 年　　月　　日

摘 要

LED（Light Emitting Diode）作为一种性能优异的半导体器件，其芯片的发光效率仅为 10%～20%，80%～90%电能转化为热能。如热能未能及时导出，LED 在发光过程中 PN 结温度过高，将导致器件老化、荧光粉加速失效、使用寿命缩短等问题。LED 向高光强、高功率、小尺寸趋势发展，LED 的散热问题日渐突出。LED 芯片的输出功率不断提高，大耗散功率带来的大发热量及要求高的出光效率给 LED 的封装材料提出了更新更高的要求。选择合适的基板，对 LED 散热性具有重要影响。

近年，碳化硅颗粒增强复合材料因具有低热膨胀系数、高热导率及密度小等特性，是新开发的功能复合材料之一，用作新型电子封装材料前景广阔，满足大功率 LED 散热基板材料需具备高电绝缘性、高稳定性、高导热性及与芯片匹配的热膨胀系数和较高的机械强度的要求。本文针对 LED 基板散热和热失配问题，基于本实验室前期开发的以聚碳硅烷（polycarbosilane，PCS）为先驱体烧结制备硅氧碳自由薄膜，对裂解工艺进行探索优化，并验证其应用于 LED 上的散热效果，主要研究内容如下：

通过对 PCS 于空气中氧化交联 3 小时；在不同裂解温度（900～1200 ℃）下烧结制备系列硅氧碳自由薄膜，着重表征其热学性能与电学性能的变化规律，并分析其结构对性能的影响。结果表明：硅氧碳自由薄膜具有优异的导热性与电绝缘性，其热导率与电阻率均随裂解温度升高而降低，其中以 950 ℃裂解温度下烧结制备的硅氧碳自由薄膜性能最佳。

将硅氧碳自由薄膜作为散热基板应用于 LED 器件，对其光色电性能进行表征。结果表明硅氧碳自由薄膜散热基板 LED 的相关色温、显色指数、光通量等性能均满足中华人民共和国电子行业标准 SJ/T 11401–2009 《半导体发光二极管产品系列型谱》中所描述的指标。通过对热阻、结温的测定表明，950 ℃烧结制备的硅氧碳自由薄膜散热基板 LED 的散热性能优于铝基板。

关键词：硅氧碳自由薄膜；热导率；电阻率；LED

Abstract

LED (Light Emitting Diode) is an excellent semiconductor optoelectronic device which transforms electricity into light. Its luminescent efficiency is only 10% ~ 20%, which means that 80% ~ 90% of electric energy is converted into thermal energy. If the heat could not be transported timely to outside, the junction temperature of LED will be increased, the shortening of service life will be suppressed, and causes the failure of phosphor. With the development of LED towards to high light intensity, high power and small size, the issue of heat dissipation has been increasingly outstanding. The special requirement for the packaging materials of LED is put forward with higher output power of LED, high extraction efficiency, and the large number of heat brought by large dissipated power. The proper substrate is significant for the heat dispersion of LED.

Recently, the SiC are currently being explored as an important ceramic coatings because of their low thermal expansion coefficient, high thermal conductivity and low density, which makes them a very attractive candidate material for electronic packaging. The SiC accord with the requirements of substrate for high power LED as follows: high insulating, more stable, the thermal expansion coefficient match to LED chip, uniform and the high mechanical strength. The aim of the present study is to prepare the ceramic substrate suits for the heat dissipation and thermal mismatch of LED base on the research of our laboratory earlier. The preparation process of freestanding Si–O–C films used polycarbosilane (PCS) as precursors were explored and optimized, and the preliminary applications on the package structure of LED has been observed. The main research contents as follows:

In this thesis, we prepared freestanding Si–O–C films through the oxidative-induced crosslinking of PCS in air for 3 hours, and the pyrolysis temperature was from 900 to 1200 ℃. The change law of thermal and electro properties of freestanding Si–O–C films were charactered and analysised. The results show that the freestanding Si–O–C films were material with excellent thermal conductivity and resistivity. Both of them were reduced with increasing the pyrolysis temperature. And the properties of films sintered at 950 ℃ were the most excellent of all.

LED based on freestanding Si–O–C films were packaged, and its properties such as light, color and electrical were characterized. The results show that the properties of freestanding Si–O–C film LED accord with the description on SJ/T 11401–2009 <The spectrum of semiconductor light-emitting diodes product>, which was the electronic industry standard of China, such as correlated color temperature, color rendering index and luminous flux. The results of measurment of the thermal resistance and the junction temperature of LED show that the freestanding Si–O–C films prepared at 950 ℃ were more excellent than Al substrate.

Key Words: Freestanding Si–O–C films; Thermal conductivity; Resistivity; LED

目 录

摘 要 ········ **I**

Abstract ········ **II**

第一章 绪论 ········ **1**

1.1 引言 ········ 1

1.2 LED 简介 ········ 3

1.2.1 LED 发展简介 ········ 3

1.2.2 LED 封装工艺 ········ 4

1.2.3 LED 的结温 ········ 5

1.2.4 LED 的热阻 ········ 6

1.3 LED 散热研究现状 ········ 6

1.3.1 LED 散热问题 ········ 6

1.3.2 LED 散热基板 ········ 8

1.4 SiC 陶瓷基板 ········ 9

1.4.1 SiC 晶体结构 ········ 10

1.4.2 SiC 薄膜制备方法 ········ 12

1.4.3 SiC 材料的 LED 应用 ········ 11

1.5 选题目的及研究内容 ········ 12

1.5.1 选题目的 ········ 13

1.5.2 研究内容 ········ 13

参 考 文 献 ········ 14

第二章 实验原料与表征仪器 ········ **19**

2.1 实验试剂 ········ 19

2.2 实验仪器 ········ 19

2.3 薄膜电热学性能表征 ········ 20

2.3.1 电阻率表征 ········ 20

2.3.2 热导率表征 ······ 21
2.4 薄膜成分结构分析 ······ 22
2.4.1 FTIR 光谱分析 ······ 22
2.4.2 Raman 光谱分析 ······ 22
2.4.3 薄膜 SEM 分析 ······ 23
参 考 文 献 ······ 24
第三章 硅氧碳自由薄膜的裂解工艺与主要电学热学性能 ······ 25
3.1 硅氧碳自由薄膜的制备 ······ 26
3.2 薄膜性能表征 ······ 27
3.2.1 薄膜绝缘性能分析 ······ 27
3.2.2 薄膜热学性能分析 ······ 27
3.3 薄膜成分结构分析 ······ 28
3.3.1 薄膜 FTIR 光谱分析 ······ 28
3.3.2 薄膜 Raman 光谱分析 ······ 29
3.3.3 薄膜 SEM 分析 ······ 30
3.4 讨论分析 ······ 31
3.5 本章小结 ······ 32
参 考 文 献 ······ 33
第四章 基于硅氧碳自由薄膜散热基板封装 LED 及其初步应用 ·· 35
4.1 硅氧碳自由薄膜散热基板 LED 的封装 ······ 36
4.2 LED 热学性能表征 ······ 38
4.2.1 LED 器件 K 系数表征 ······ 38
4.2.2 LED 器件热阻分析 ······ 40
4.2.3 LED 器件升温特性分析 ······ 42
4.3 LED 器件光色电特性分析 ······ 44
4.4 讨论分析 ······ 46
4.5 本章小结 ······ 46
参 考 文 献 ······ 47
第五章 结论与展望 ······ 50

5.1 结论 ······ 50
5.2 展望 ······ 50
致 谢 ······ **52**

Table of Contents

Abstract in Chinese ········· **I**

Abstract ········· **II**

Chapter 1 Preface ········· **1**

1.1 Introduction ········· 1

1.2 Introduction of the LED ········· 3

1.2.1 Introduction of the develpoment of LED ········· 3

1.2.2 Packaging LED ········· 4

1.2.3 The junction temperature of LED ········· 5

1.2.4 The thermal resistance of LED ········· 6

1.3 The research status of LED heat dissipation ········· 6

1.3.1 The problems of LED heat dissipation ········· 6

1.3.2 The substrate for LED heat dissipation ········· 8

1.4 SiC ceramic substrate ········· **9**

1.4.1 The crystal structure of SiC ········· 9

1.4.2 The synthetic method of SiC ········· 10

1.4.3 The application of SiC material on LED ········· 11

1.5 Research purposes and Research contents ········· **12**

1.5.1 Research purposes ········· 13

1.5.2 Research contents ········· 13

References ········· **14**

Chapter 2 Raw materials instruments and characterization methods ········· **19**

2.1 Raw materials ········· **19**

2.2 Experiments instruments ········· **19**

2.3 Characterize the electrothermics performances ········· **20**

2.3.1 Characterized the risistivity ·· 20

2.3.2 Characterized the thermal conductivity ································ 21

2.4 The structure and composition of films ································ 22

2.4.1 FT-IR analysis ·· 22

2.4.2 Raman analysis ··· 22

2.4.3 Scanning electron microscope(SEM) ································ 23

References ··· 24

Chapter 3 Pyrolysis process of Si-O-C freestanding films and its electrothermal properties ·· 25

3.1 Preparation of the films ·· 26

3.2 Characterized the films ·· 27

3.2.1 Analyse the insulating property of films ··································· 27

3.2.2 Analyse the thermal properties of films ··································· 27

3.3 The composition and structure of films ·· 28

3.3.1 FT-IR analysis ··· 28

3.3.2 Raman analysis ·· 29

3.3.3 The morphology of films ·· 30

3.4 Discuss and analyse ·· 31

3.5 Conclusions ·· 32

References ··· 33

Chapter 4 Packaging freestanding Si-O-C films substrate LED and measure it's primary properties ······································· 35

4.1 Packaging LED ·· 36

4.2 Characterized the thermal properties of LED ································· 38

4.2.1 The K coefficient of LED ··· 38

4.2.2 Analyse the thermal resistance of LED ···································· 40

4.2.3 Analyse the temperature rising curve of LED ···························· 42

4.3 Analyse the properties of light,color and electrical of LED ················ 44

4.4 Discuss and analyse ········ **46**

4.5 Conclusions ········ **46**

References ········ **47**

Chapter 5 Main Conclusions and Innovations ········ **50**

5.1 Main Conclusions ········ **50**

5.2 Innovations ········ **50**

Acknowledgements ········ **52**

第一章　绪论

1.1　引言

发光二极管简称 LED（Light Emitting Diode）作为一种固态半导体器件，可将电能直接转化为光能。图 1.1 为发光二极管构造图，其核心部分是由 P 型半导体和 N 型半导体组成的芯片，在 P 型半导体和 N 型半导体之间存在一个过渡层，称为 P-N 结。

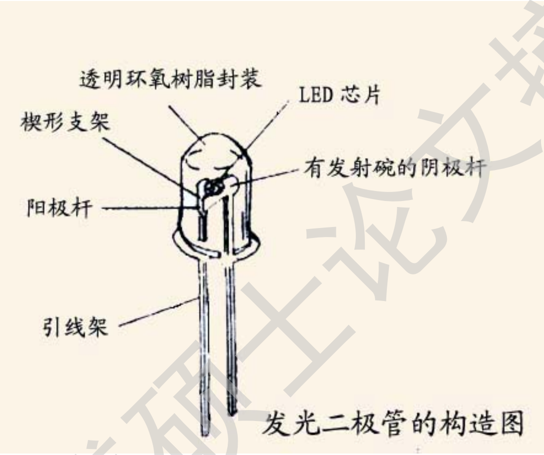

图 1.1　发光二极管的构造图[1]

LED 的发光原理如图 1.2 所示：在零偏置下，N 型区中的多数载流子——电子向 P 型区扩散，而 P 型区中的多数载流子——空穴则沿相反方向，向 N 型区扩散，在界面两边产生耗尽区，由于耗尽区的空间电荷会产生一个内部电场，导致扩散相抵消，即扩散达到平衡[2]。当器件处于正向工作状态（即两端加上正向电压），电流从 LED 阳极流向阴极时，P-N 结的势垒降低，P 区的正电荷向 N 区扩散，N 区的电子也向 P 区扩散，即电子和空穴被推向量子阱内复合，同时在两个区域形成非平衡载子的积累[3]，复合过程所释放能量以光的形式发出[4]。载流子的复合可以是电子和价带空穴复合，使电子处于高能态，将多余的能量传给晶格达到热平衡，这种过程称为俄歇复合；载流子的复合也可能是无辐射复合，即产生声子，无辐射复合引起的晶格振动将其余的能量转化为热能，使晶体发热，这种过程称为多声子跃迁[5]。两种过程均导致 LED 在工作中出现 P-N 结温度升高的现象。LED 发出的光的波长是由 P-N 结材料决定，其强弱与电流相关。

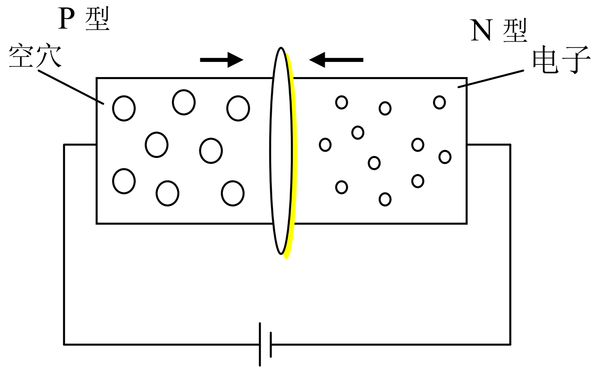

图 1.2 LED 发光原理

与普通光源相比，LED 有以下特点[6]：

（1）LED 其本质为 PN 结二极管，属于固体器件，由环氧树脂封装，经高温烘烤，硬度极高，因此其机械强度大，耐振动和耐冲击能力强。

（2）体积小，重量轻，适合在小型或者超薄电子设备与装置中使用。

（3）使用寿命长，由于其发光是来自电子与空穴的复合，不易发热，而且稳定性高。LED 使用 10 万小时，光衰为初始的 50%[6]，是白炽灯的 20～30 倍，是荧光灯的 10 倍，不仅远远超过家电的使用寿命，更超过汽车的使用寿命，这是其他类型的显示器件与照明器具无法相比的。

（4）低功耗，易于实现低压驱动。白光 LED 的正向电流为 20 mA，正向压降为 3～4 V，其他光色的 LED 的正向电流基本为 10 mA，正向压降为 1.5～3 V。这使 LED 与基于 IC 的驱动电路能很好的兼容[6]。

（5）反应速度快，LED 在通电后达到设定亮度的时间不到 1 ms，而白炽灯通电后需要 200 ms 后才可达到设定亮度[7]。

（6）发光效率高，可达 20 lm/W～50 lm/W，仅次于荧光灯而远远高于白炽灯，目前白光 LED 的最高光效可达到 161 lm/W，而且 LED 不易发生光衰现象，也不受电流冲击的影响[8]。

（7）LED 作为一种固态电光源，光的辐射方向与发光面积易于精确控制，LED 不仅节约能源，而且不存在汞污染，是绿色化照明和显示器件。

LED 的诸多特点，使其倍受关注，在不久的将来，LED 将取代白炽灯、荧光灯和高压气体放电灯等传统光源，成为 21 世纪的第四代光源。尤其是将 LED 与太阳能电池、电磁感应电池联合使用后，其更是一种极具竞争力的绿色光源，有望成为未来的 10～20 年内新一代理想的固态节能照明光源，为人类照明史谱