

利用温变电容特性测量发光二极管结温的研究

招瑜 魏爱香 刘俊

Junction temperature measurement of light-emitting diodes using temperature-dependent capacitance

Zhao Yu Wei Ai-Xiang Liu Jun

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 118501 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.118501

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.118501>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I11>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

晶圆键合和激光剥离工艺对 GaN 基垂直结构发光二极管芯片残余应力的影响

Effect of wafer bonding and laser liftoff process on residual stress of GaN-based vertical light emitting diode chips

物理学报.2015, 64(2): 028501 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.028501>

光致电化学法提高垂直结构发光二极管出光效率的研究

Increase in light extraction efficiency of vertical light emitting diodes by a photo-electro-chemical etching method

物理学报.2015, 64(1): 018501 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.018501>

基于反应动力学的 GaN LED 参数退化模型的研究

The investigation of LED degradation model based on the chemical kinetics

物理学报.2013, 62(21): 218503 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.218503>

白光发光二极管用红色荧光粉 $\text{LiSrBO}_3:\text{Eu}^{3+}$ 的制备与发光性能研究

Preparation and photoluminescence of $\text{LiSrBO}_3:\text{Eu}^{3+}$ red-emitting phosphors for white leds

物理学报.2013, 62(10): 108504 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.108504>

基于缺陷光子晶体结构的 GaN 基发光二极管光提取效率的有关研究

Study on the light extraction efficiency of GaN-based light emitting diode by using the defects of the photonic crystals

物理学报.2012, 61(20): 208502 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.208502>

利用温变电容器特性测量发光二极管结温的研究*

招瑜 魏爱香 刘俊†

(广东工业大学材料与能源学院, 广州 510006)

(广东省功能软凝聚态物质重点实验室, 广州 510006)

(2014年10月9日收到; 2014年12月3日收到修改稿)

结区的温度, 简称结温, 是发光二极管(LED)的重要参数之一, 它对LED器件的出光效率、光色、器件可靠性和寿命均有很大影响, 准确测量LED器件的结温对制备LED芯片、器件封装和应用有着重要的意义. 本文利用反向偏压下的LED的势垒电容随温度变化的特性, 提出了一种LED结温测量的新方法. 论文首先测量和分析了LED在室温下反向偏压时的电容-电压($C-V$)曲线和不同反向偏压下的电容-温度($C-T$)曲线, 结果表明, 在合适的偏压下, LED的电容随温度的增大而显著增加, 并呈现良好的线性关系. 在LED工作中监测其电容的变化, 并与 $C-T$ 曲线进行对比, 实现了LED结温的测量, 其测量结果和传统的正向电压法的结果相对比, 两者符合较好. 最后, 利用上述方法测量了LED在恒流和恒压条件下的结温的实时变化过程. 较传统的结温测量方法, 本方法的优点在于只须要一次定标测量, 且可实现LED在任意电压和电流下的结温测量.

关键词: 发光二极管, 电容-电压, 结温**PACS:** 85.60.Jb, 84.37.+q, 73.40.Kp, 47.80.Fg**DOI:** 10.7498/aps.64.118501

1 引言

随着材料研究以及器件制备工艺的日趋成熟, 发光二极管(LED)作为一种新型光源, 广泛的应用在照明、通讯、装饰和显示等领域. 功率型的LED芯片, 其面积更大, 发光强度更高, 成为实现LED照明的关键元件. 然而, 在增加驱动功率的同时, 也伴随着大量的热量的产生, 严重影响LED器件的工作性能. 作为表征LED器件及其封装结构的关键参数, LED的结温对芯片的内量子效率^[1], 光输出^[2]、可靠性等有着重要的影响. 目前, 各种直接和间接的结温测量技术被用于测量LED和激光二极管(LD)的结温. 这些方法包括正向电压法^[3,4], 峰值波长漂移法^[5,6], 红外热成像法^[7], 微区拉曼光谱法^[8], 利用 $1/f$ 噪声^[9]和利用温变的光学参数等^[10,11]方法. 本研究小组也曾报道了一种利

用LED芯片的半导体材料层的温变电阻特性进行LED结温测量的技术^[12], 并运用此测量方法, 研究了LED器件的光度学特性^[13]. 在已报道的结温测量方法当中, 使用最为广泛的要数正向电压法和峰值波长漂移法. 前者是测量温度与器件工作在某个电流下的正向电压之间的关系, 并利用此关系与相同电流状态下工作的LED的电压相比较, 获得LED的结温. 后者是基于LED的发光光谱的峰值位置随着结温的变化而移动的现象进行结温测量, 其原理为铟镓氮(InGaN)和铝镓铟磷(AlGaInP)LED的带隙随温度的升高而减少. 上述两种方法的测量误差分别为 $\pm 3^\circ\text{C}$ 和 $\pm 15^\circ\text{C}$ ^[14]. 然而, 常规的结温测量方法的校正曲线均为电流的函数, 要测量某个电流下工作的LED的结温, 必须要事先进行此电流下的标定曲线的测量. 这对于LED器件在不同工作电流或电压下的结温测量非常不

* 国家自然科学基金(批准号: 61204049)、广东省自然科学基金(批准号: S2012040007363)和广东省教育厅育苗工程(自然科学)项目(批准号: 2012LYM_0058)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: gdutliu@gdut.edu.cn

方便, 且不利于大批量的LED器件的测试. 因此, 发展一种标定方法简单, 测量结果可靠的LED结温测量技术显得非常重要.

电容-电压 ($C-V$) 是结型器件的一个重要的参数, 被广泛的用于研究器件的响应特性. $C-V$ 特性也被用于研究器件结构中的载流子浓度的分布, 如MOS管的沟道^[15] 和LED量子阱^[16] 的载流子分布. LED器件的 $C-V$ 的频率^[17,18] 和温度^[19] 的响应特性也有报导和研究. 本文将对商用的LED芯片的 $C-V$ 和电容-温度 ($C-T$) 曲线进行测量和分析, 首次利用 $C-T$ 曲线的标定, 测量了白光LED器件的结温, 并和常规的正向电压法的测量结果进行了对比. 作为应用例子, 还测定了恒压和恒流下的白光LED的结温实时变化的过程.

2 白光LED的 $C-V$ 和 $C-T$ 测量

2.1 $C-V$ 曲线

实验中所用的LED芯片为晶科电子的 45×45 mil 的蓝光倒装芯片, 峰值发光波长为 453 nm. 使用宏大YAG黄色荧光粉对芯片进行封装, 获得白光LED. 采用CV-2000电容电压特性测试仪对LED样品进行 $C-V$ 测量, 其测量频率为 1 MHz. 对白光LED样品施加反向偏压, 电压从 0 到 60 V, 获得的电容随电压变化的曲线如图 1 所示. 对于简单的pn结结构, 反向偏置情况下, 电容效应主要产生于pn结边界附近的耗尽层宽度的变化, 因此反向偏压的pn结电容也称为势垒电容. 势垒电容类似于平板电容, 其容值满足下面的公式:

$$C = \epsilon \epsilon_0 A/W, \quad (1)$$

其中, ϵ 为绝缘层的相对介电常数, ϵ_0 为真空中的介电常数, A 为平板电容的面积, W 为绝缘层的厚度. 当反向电压增大时, 耗尽层宽度 W 增加, 势垒电容将减小. 然而, 如图 1 所示, 在实验中, 我们发现LED的电容值随反向电压的增加先剧烈下降, 在 0.5 V 附近达到最小值, 然后快速上升, 在 4 V 附近逐渐趋向于稳定, 随后在电压继续升高时, 电容值略微有些变化. 上述的结果表明, 在进行电容分析的时候, 白光LED的p型氮化镓/多量子阱/n型氮化镓 (p-GaN/MQW/n-GaN) 的结构不能简单的用pn结模型来解释. 由于LED的芯片结构相对pn结要复杂得多, 在本文中我们尝试建立一个理想的

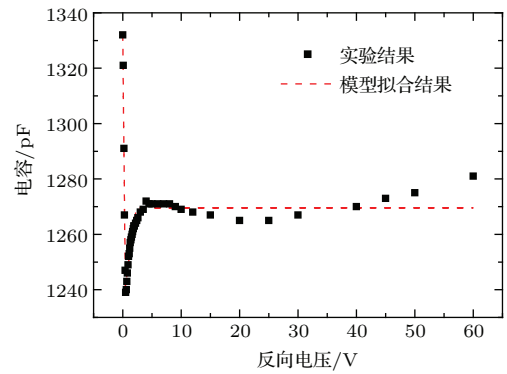


图 1 (网刊彩色) 白光LED的电容随反向电压变化曲线
Fig. 1. (color online) Capacitance of white LEDs versus reverse bias. Symbol. ■ represents the experimental results, while dashed line represents the fitting results from our proposed model.

模型, 对实验结果做一些定性的分析. 由 $C-V$ 曲线的形貌可以大致看出, 它可以由两条曲线的叠加而成, 一条随着反向电压增加而递减, 另一条随着反向电压的增加而递增. 因此, LED的电容可以看作是二个电容的并联. 我们认为, 由于LED采用水平电极的结构, 这两个电容分别是LED芯片中n-GaN与p-GaN/MQW结构的界面上的等效的垂直电容 C_{\perp} 和水平电容 $C_{//}$, 如图 2(a), (b) 所示, 总的电容 C 为 C_{\perp} 和 $C_{//}$ 的并联, 即 $C = C_{\perp} + C_{//}$. 图中灰色区域为n-GaN一侧的耗尽层的形貌, p-GaN层中的耗尽层和势垒电容的变化情况与n-GaN相似, 为了简单起见, p-GaN/MQW这一侧的耗尽层并没有画出. 由于功率型LED芯片面积较大, n型电极和p型电极注入的电流没有能够完全扩散到离电极较远的地方. 在n-GaN层内部, 电压随着与电极的距离的增大而减小. 在较小的反向偏压下, n型材料中的耗尽层主要集中在离n-GaN较近的区域, 如图 2(a) 所示, 这时, 水平方向的耗尽区的面积 $A_{//}$ 较小, 根据 (1) 式, $C_{//}$ 电容的容值较小, C 的贡献主要来自于 C_{\perp} . 反向电压的增加, 使得 C_{\perp} 电容在垂直方向上的耗尽层的厚度增加, 因此, C_{\perp} 容值随电压的增大而减少. 但必须注意到, 垂直方向上n-GaN层的厚度远小于水平方向的长度. 反向偏压增大到一定的数值时, 由于n-GaN层厚度的限制, 垂直方向的耗尽层的厚度 W_{\perp} 不再增加, 电容 C_{\perp} 值开始出现饱和. 这时, 总的电容的变化主要来自于水平方向的电容 $C_{//}$ 的变化. 随着反向电压的增加, 水平方向的耗尽层的面积 $A_{//}$ 在增加, 即 $C_{//}$ 随着电压的增加而增大. 然而, 水平方向的

长度也是有限的, 所以当电压增加到一定的数值, 水平方向的面积 $A_{//}$ 的增大会变缓直至不再增加, 这时, $C_{//}$ 也将出现饱和. 在大的反向偏压下, $C_{//}$ 和 C_{\perp} 都出现饱和, 这时的总的电容值随电压变化不大. 上述的定性分析能较好的解释我们的实验现象.

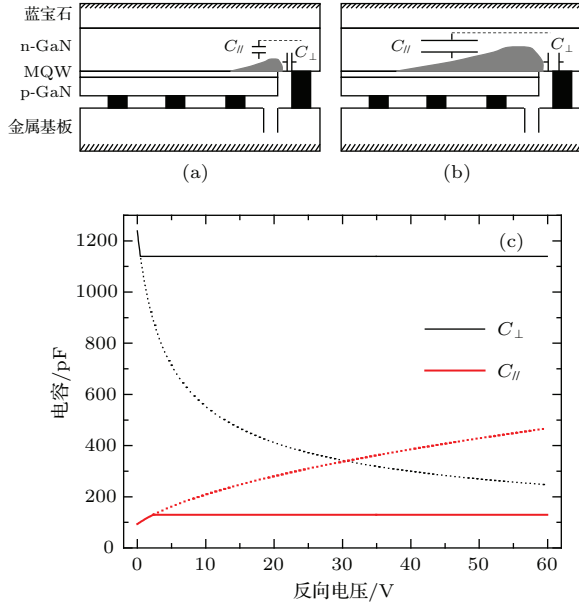


图2 (网刊彩色) (a) 较小反向偏压下和 (b) 较大反向偏压下倒装芯片的 n-GaN 层边界耗尽区示意图; (c) 垂直方向的电容分量 C_{\perp} 和平行方向的电容分量 $C_{//}$ 随反向电压变化的曲线

Fig. 2. (color online) A sketch of depletion region in n-GaN layer of LED flip chip at (a) small reverse bias, (b) large reverse bias; (c) capacitance component in vertical direction C_{\perp} and capacitance component in horizontal direction $C_{//}$ versus reverse bias.

为了验证上述的定性分析, 我们尝试建立理想的模型, 对实验结果进行拟合. 把 LED 各层的掺杂近似看作是突变的情况, 那么作为势垒电容, 耗尽层的宽度和反向电压的关系满足下面的形式^[20]:

$$W = \left[\frac{2\epsilon\epsilon_0}{q} \left(\frac{N_A + N_D}{N_A N_D} \right) (V_{bi} + V_A) \right]^{1/2}, \quad (2)$$

其中, N_A 和 N_D 分别为 p-GaN 和 n-GaN 的受主和施主的掺杂浓度, V_{bi} 为内建电势, V_A 为耗尽层两端的反向电压, 可近似认为它就是 LED 芯片加载的反向电压值, q 为电子电量. 对于垂直方向的电容 C_{\perp} , 可认为在理想的情况下, C_{\perp} 对应的耗尽层的面积保持不变, 联立 (1) 和 (2) 式即可得到 C_{\perp} 的表达式. 如果引入零偏压时的电容值 $C_{\perp 0}$, C_{\perp} 可写成 (3) 式. 注意到, 如上面的分析所指出, 由于垂直方向 n-GaN 层的厚度有限, C_{\perp} 在 V_A 增大到

一定的数值时会出现饱和, 假设此饱和的电压为 $V_{\perp T}$, 则在理想情况下, 当反向偏压大于 $V_{\perp T}$ 时, C_{\perp} 取 $V_A = V_{\perp T}$ 时的电容, 所以 (3) 式有两部分组成.

$$C_{\perp} = \begin{cases} \frac{C_{\perp 0}}{[1 + V_A/V_{\perp T}]^{1/2}}, & V_A < V_{\perp T}, \\ \frac{C_{\perp 0}}{[1 + V_{\perp T}/V_{\perp T}]^{1/2}}, & V_A \geq V_{\perp T}, \end{cases} \quad (3)$$

这里, 内建电势取垂直方向的等效内建电势 $V_{\perp bi}$.

同样, 在理想情况下, 我们假设水平方向的电容 $C_{//}$ 的厚度保持不变, 容值正比于水平方向的等效面积 $A_{//}$. 引入单位面积的电容值 C_0 , 则电容 $C_{//} = C_0 A_{//}$. $A_{//}$ 是 LED 两端电压 V_A 的函数. 功率型的 LED 的电极一般为梳状结构, 在水平面内, 平行于电极方向的电场均匀性较好, 可假设沿电极方向电场均匀, 且电极的有效长度为 L , 则水平方向的耗尽层面积的变化正比于水平面内垂直于电极方向上的耗尽层的宽度 $W_{//}$ 的变化, 即 $C_{//} = C_0 L W_{//}$. $W_{//}$ 随电压的变化服从 (2) 式. 同样, 引入零偏压时的电容值 $C_{//0}$, $C_{//}$ 可写成 (4) 式. 如前面的分析所述, $C_{//}$ 不可能随着 V_A 增大而无限的增大, 在 V_A 增大到一定的数值时会出现饱和, 假设此饱和的电压为 $V_{//T}$, 则在理想情况下, 当反向偏压大于 $V_{//T}$ 时, $C_{//}$ 取 $V_A = V_{//T}$ 时的电容, 所以 (4) 式也写成了两部分.

$$C_{//} = \begin{cases} C_{//0} [1 + V_A/V_{//T}]^{1/2}, & V_A < V_{//T}, \\ C_{//0} [1 + V_{//T}/V_{//T}]^{1/2}, & V_A \geq V_{//T}. \end{cases} \quad (4)$$

这里, 内建电势取水平方向的等效内建电势 $V_{//bi}$. 总的电容值 $C = C_{\perp} + C_{//}$, 利用 (3) 和 (4) 式, 可以计算总电容 C 的数值. 如果利用上述公式对实验的结果进行拟合, 可把上述公式中的参数 $V_{\perp bi}$, $V_{//bi}$, $V_{\perp T}$ 和 $V_{//T}$ 分别拟合出来. 在本实验中, 拟合的结果为 $V_{\perp bi} = 0.93$ V, $V_{//bi} = 2.48$ V, $V_{\perp T} = 0.45$ V 和 $V_{//T} = 2.33$ V. 垂直方向的饱和电压 $V_{\perp T}$ 小于水平方向的饱和电压 $V_{//T}$, 意味着随着反向电压的增加, 垂直方向耗尽层宽度首先饱和, 然后再到水平方向的耗尽层的饱和, 这和我们分析中指出 LED 芯片 n-GaN 和 p-GaN 的层厚度远小于其平面的宽度是相符合的. 把参数代回到 (3) 和 (4) 式中, 可以把 $C_{//}$ 和 C_{\perp} 分别计算出来,

如图 2(c) 所示. C_{\perp} 和 $C_{//}$ 分别在 $V_A = 0.45$ V 和 2.33 V 时出现饱和. 如果 (3) 和 (4) 式中的电容值不受到饱和电压的限制的话, C_{\perp} 和 $C_{//}$ 在大于各自的饱和电压值后的变化如图 2(c) 中的虚线所示. 可以看出, 正如我们定性分析所指出, C_{\perp} 随着反向电压的增加而下降, $C_{//}$ 随反身电压的增加而上升. 将 C_{\perp} 和 $C_{//}$ 相加, 得出总的电容值并和实验结果对比, 如图 1 所示. 可以看到, 模型计算的结果正确的反映出 LED 芯片的电容随着反向电压的增大先下降后上升, 最后趋于稳定的实验结果. 模型拟合结果与实验结果符合较好, 说明我们所提出的垂直和水平两个电容并联的模型可有效的解释 LED 芯片的电容随电压变化的情况. 当然, 本文仅提出一个理想的电容模型, 用于定性的解释实验的现象, 在实际的 LED 器件中, 不管是水平方向还是垂直方向, (1) 式中的耗尽层的面积和厚度都随着电压变化, 精确的提取和推导电容随电压变化的函数非常困难.

2.2 C-T 曲线

将白光 LED 样品放入鼓风干燥箱中, 设定干燥箱温度从室温 31 °C 上升到 150 °C, 以每 5 °C 的间隔测量 LED 样品的反向偏置的电容值. 反向电压值取 0, 0.2 V, 0.5 V, 1 V, 2 V 和 10 V 六个反向的偏置. 测量结果如图 3 所示.

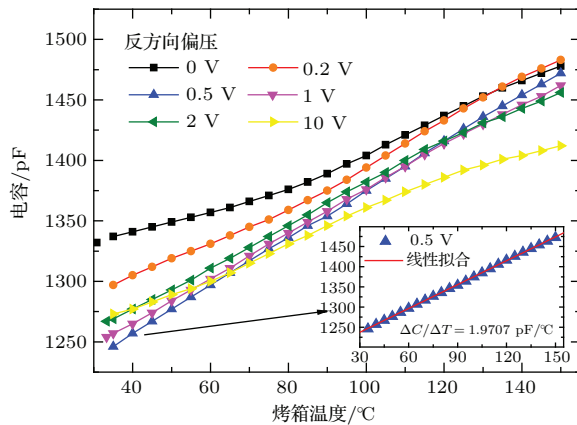


图 3 (网刊彩色) 在不同的反向偏压下, 白光 LED 的电容随温度变化的曲线 (插图为 0.5 V 的反向偏压下的实验数据和线性拟合的结果)

Fig. 3. (color online) Capacitance of white LEDs versus temperature at reverse biases of 0, 0.2 V, 0.5 V, 1 V, 2 V and 10 V respectively. The inset shows the experimental results for LEDs at reverse bias of 0.5 V and its linear fitting.

由图 3 的实验结果可以看出, 包括 0 V 在内的不同的偏压下, 白光 LED 的电容值随着温度的升

高均单递上升, 但不同偏压下的 $C-T$ 曲线并不完全相同. 在较低的偏压 0 和 0.2 V 时, $C-T$ 曲线在存在两段变化曲线, 在 80 °C 以下时, $C-T$ 曲线上升的斜率相对较小, 80 °C 以上时, 上升的斜率相对较大. 在较高的偏压 2 V 和 10 V 时, $C-T$ 曲线在约 110 °C 以上时, $C-T$ 曲线的斜率变小, 电容随温度变化变缓. 在中间电压 0.5 V 和 1 V 时, $C-T$ 曲线呈较好的线性变化. 正如前面所指出, 在小的反向电压情况下, C 的变化主要来自于 C_{\perp} , 在较大的偏压下, $C_{//}$ 在 C 的变化起主要作用. 不管是 C_{\perp} 还是 $C_{//}$, 它们随温度的变化主要来自于耗尽区的面积 A 和厚度 W , 而这两者均是温度的函数, 由 (2) 式决定. (2) 式中的内建电势是温度的函数, 定量的分析较为复杂和困难. 但我们可以从实验看出来, 当反向偏压取值合适的时候, C_{\perp} 和 $C_{//}$ 随温度变化的非线性部分可以有效的得到补偿, 从而得到线性变化较好的 $C-T$ 曲线, 这为我们利用 $C-T$ 曲线进行 LED 结温的测量提供了方便. 我们对不同偏压下的 $C-T$ 变化的斜率和幅度作了统计, 列出表 1 中. 在斜率的计算中, 取室温到 150 °C 整个温度范围内的平均斜率; 使用室温到 150 °C 范围内的电容变化除以室温下的电容值作为电容的变化幅度. 可以看到, 在偏压取 0.5 V 时, 其斜率变化最大, 为 1.971 pF/°C, 幅度变化也最大, 为 18.14%, 这说明, 在偏压为 0.5 V 时, 白光 LED 的电容对温度的变化最为敏感. 同时, 从图 3 的插图中也可以看出, 偏压为 0.5 V 的 $C-T$ 曲线线性关系非常好. 因此, 我们后面进行的白光 LED 的结温测量中, 取反向偏压为 0.5 V 作为电容的测量条件.

表 1 不同的反向偏压下 $C-T$ 曲线的斜率和变化幅度比较
Table 1. Slope and variation of the $C-T$ curve at different reverse bias.

反向偏压/V	0	0.2	0.5	1	2	10
斜率/(pF/°C)	1.226	1.617	1.971	1.809	1.620	1.209
幅度/%	10.55	14.34	18.14	16.59	14.92	10.92

3 白光 LED 的结温测量

3.1 C-T 法与正向电压法测量结果对比

使用直流电源对白光 LED 进行驱动, 在电流源与 LED 之间串联一个可编程的物理开关, 设定程序, 使得在须要测量电容或电压的时候, 物理开关关断. CV-2000 电容电压特性测试仪和 Keithley

2400连接在LED正负极,分别测量在关断期间的电容值和电压值. LED样品放置于31 °C的室温环境中,并处于自然对流状态. 利用上一节中的0.5 V反向偏压下的C-T曲线作为标定曲线,可实现对LED器件结温的测量. 同时,为了对比C-T法测量的结果,我们也采用正向电压法测量了相同设置下的同一样品的结温. 根据正向电压法的要求,我们以50 mA为间隔,测量了白光LED从50 mA到400 mA范围内的电压随温度变化的定标曲线. 白光LED的电压和温度基本呈线性关系,如图4所示. 根据此定标曲线,将工作时的LED的电压值转化为结温值. 上述的C-T法和正向电压法测量得到的结温进行对比,如图5所示.

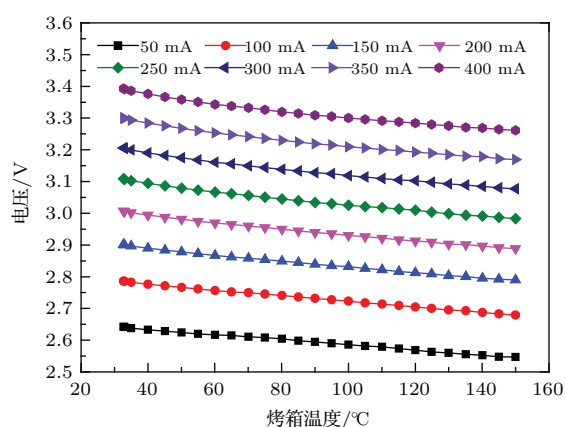


图4 (网刊彩色) 不同的电流驱动下白光LED的正向电压随着烤箱温度变化的曲线

Fig. 4. (color online) Forward voltage of white LEDs versus oven temperature at different forward current.

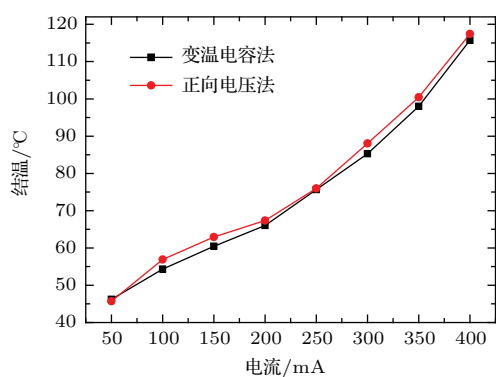


图5 (网刊彩色) 在不同的驱动电流下,变温电容(C-T)法和正向电压法测量的白光LED的结温对比

Fig. 5. (color online) Junction temperatures of white LEDs obtained by C-T method and forward voltage method as a function of forward current.

由图5可以看到,白光LED的结温随着电流的增大而增加,由50 mA时的46 °C上升到400 mA时的117 °C. 我们在白光LED稳定工作时,重复测

量其电容值和电压值,估算得到C-T法和正向电压法的结温测量的误差分别为 ± 2 °C和 ± 5 °C, C-T法较正向电压法的测量误差更小. 对比图5的结果发现,两种方法测量的结果的最大偏差在2 °C左右. 考虑到两种方法的测量误差,可认为C-T法和正向电压法测量的结温符合的非常好. 这一对比结果表明,利用温变电容的方法可以准确的测量LED的结温,并且可以获得比传统的正向电压法更小的测量误差.

3.2 恒流和恒压下的白光LED结温的实时测量

作为一应用例子,我们分别测量了在恒流和恒压两种驱动情况下的白光LED结温的实时变化曲线. 物理开关在LED工作过程中每15 s关断1 s,并在关断期间进行快速的电容测量. LED样品同样处于31 °C的室温环境中,并在自然对流状态下工作. 采用350 mA的恒流驱动和工作电流接近350 mA的3.2 V的恒压驱动,测量时间从LED点亮瞬间一直到LED关断后的结温恢复至室温31 °C为止,结果如图6所示. 从图中可以看到,恒流和恒压情况下,白光LED结温上升至稳定状态所需的时间基本相同,约为110 s,同时其温度上升的速率也相近. 恒流和恒压情况下,白光LED的结温在关断后恢复到室温的时间也基本相同,约为500 s. 由于350 mA恒流下的电流要稍高于3.2 V恒压工作时的电流,恒流状态下稳定时的结温要略高于3.2 V的恒压状态,同时恒流状态下关断后结温恢复到室温须要的时间也稍久一些.

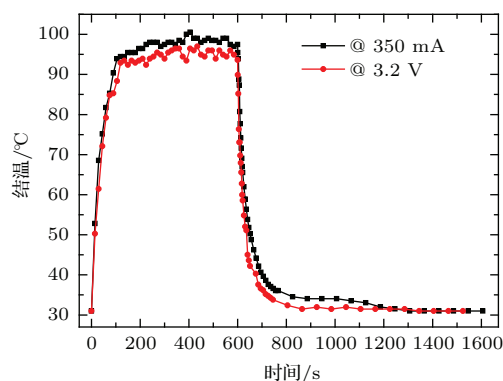


图6 (网刊彩色) 白光LED在恒流350 mA和恒压3.2 V条件下结温随时间变化的曲线

Fig. 6. (color online) Junction temperatures of white LEDs at constant current of 350 mA and constant voltage of 3.2 V as a function of working time.

我们分析一下 C - T 法测量结温的特点. 常规的正向电压法在测量 LED 的结温之前, 必须对其工作电流和电压进行温度的定标, 因此, 它无法同时进行上述的恒流和恒压的 LED 结温的测量. 反观 C - T 法, C - T 的标定曲线只须要测量一次, 可实现对任意的电流和电压状态下的 LED 结温的测量. 而且, 在选择好合适的反偏电压之后, C - T 曲线的线性关系非常好, 作为定标曲线, 有利于结温的测量. 因此, LED 的温变电容特性提供了一种简单和可靠的测量 LED 结温的方法, 可作为常规的 LED 结温测量的有益的补充. 同时, 温变电容的特性是众多的结型电子器件的基本特性之一, 可广泛用于研究 pn 结、双极晶体管和 MOS 管等器件和电路的热学性能.

4 结 论

本文测量了白光 LED 在反向偏压下的 C - V 曲线, 采用垂直和平行两个分量电容 C_{\perp} 和 $C_{//}$ 并联的模型定性解释了电容随电压先下降后增大的变化趋势. 同时, 我们也测量了在不同偏压下的 C - T 曲线, 实验结果表明, LED 的电容在反向偏压下随温度单调递增, 当偏压为 0.5 V 时, 可获得最大的电容变化幅度且随温度呈良好的线性关系, 其斜率为 1.971 pF/°C. 利用上述的电容与温度的定标关系, 提出了一种新型的 LED 结温测量方法. 通过监测 LED 工作中电容的变化, 实现了 LED 的结温的测量, 在不同电流下工作的 LED 结温的测量结果和传统的正向电压法的结果符合较好. 利用此方法测量了 LED 在恒流 350 mA 和恒压 3.2 V 条件下的结温的实时变化过程, 结果显示, LED 结温上升至稳定状态所需的时间约为 110 s, 从稳定状态关断后结温恢复到室温所需时间约为 500 s. 较传统的测量方法, 利用温变电容特性测量 LED 结温的方法只须要一次定标测量, 可实现 LED 在任意电压和电流下的结温测量. 同时, 此方法可广泛应用于电子元器件的热分析研究中.

参考文献

- [1] Jiang R, Lu H, Chen D J, Ren F F, Yan D W, Zhang R, Zheng Y D 2013 *Chin. Phys. B* **22** 047805
- [2] Zhong C T, Yu T J, Yan J, Chen Z Z, Zhang G Y 2013 *Chin. Phys. B* **22** 117804
- [3] Xi Y, Schubert E F 2004 *Appl. Phys. Lett.* **85** 2163
- [4] Xi Y, Xi J Q, Gessmann T, Shah J M, Kim J K., Schubert E F 2005 *Appl. Phys. Lett.* **86** 031907
- [5] Ryu H, Ha K, Chae J, Nam O, Park Y 2005 *Appl. Phys. Lett.* **87** 093506
- [6] He S M, Luo X D, Zhang B, Fu L, Cheng L W, Wang J B, Lu W 2012 *Chin. Phys. Lett.* **29** 127802
- [7] Arik M, Weaver S 2004 *4th Int. Conf. on Solid State Lighting* Denver, USA, August 20, 2004 p214-23
- [8] Senawiratne J, Li Y, Zhu M, Xia Y, Zhao W, Detchprohm T, Chatterjee A, Plawsky J L, Wetze C 2008 *J. Electron. Mater.* **37** 607
- [9] Chen H P, Chen H P, Cao J S, Guo S X 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 104209 (in Chinese) [陈海鹏, 曹军胜, 郭树旭 2013 物理学报 **62** 104209]
- [10] Chen N C, Wang Y N, Tseng C Y, Yang Y K 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 101114
- [11] Lin Y, Gao Y L, Lu Y J, Zhu L H, Zhang Y, Chen Z 2012 *Appl. Phys. Lett.* **100** 202108
- [12] Zhao Y, Zhong W, Liu J, Huang Z, Wei A 2014 *Semicond. Sci. Technol.* **29** 035008
- [13] Zhong W, Wei A, Zhao Y 2013 *Chinese Journal of Luminescence* **34** 1203 (in Chinese) [钟文蛟, 魏爱香, 招瑜 2013 发光学报 **34** 1203]
- [14] Chhajed S, Xi Y, Gessmann T, Xi J Q, Shah J M, Kim J K, Schubert E F 2005 *Proc. SPIE 5739, Light-Emitting Diodes: Research, Manufacturing and Applications IX* San Jose, USA, January 25-27, 2005 p16
- [15] Gao J X, Zhang Y M, Tang X Y, Zhang Y M 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 2992 (in Chinese) [郜锦侠, 张义门, 汤晓燕, 张玉明 2006 物理学报 **55** 2992]
- [16] Arias J, Esquivias I, Ralston J D, Larkins E C, Weisser S, Rosenzweig J, Schönfelder A, Maier M 1996 *Appl. Phys. Lett.* **68** 1138
- [17] Soltanovich O, Yakimov E 2013 *Phys. Status Solidi C* **10** 338
- [18] Feng L F, Li Y, Li D, Wang C D, Zhang G Y, Yao D S, Liu W F, Xing P F 2011 *Chin. Phys. Lett.* **28** 107801
- [19] Soltanovich O A, Shmidt N M, Yakimov E B 2011 *Semiconductors* **45** 221
- [20] Pierret R F 1996 *Semiconductor Device Fundamentals* (1st International edition) (London: Pearson Education) p305

Junction temperature measurement of light-emitting diodes using temperature-dependent capacitance*

Zhao Yu Wei Ai-Xiang Liu Jun[†]

(School of Materials and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Functional Soft Condensed Matter, Guangzhou 510006, China)

(Received 9 October 2014; revised manuscript received 3 December 2014)

Abstract

Junction temperature, as one of the most important properties of light-emitting diodes (LEDs), has great impact on LEDs' power efficiency, luminosity, reliability, life-time, and so on. Precise measurement of junction temperature for LED device is quite important in the research of chip's fabrication, device packaging and related applications. In this paper, we propose a new approach to measure the junction temperature of LEDs by using temperature-dependent capacitance. The capacitance of white LEDs at room temperature is measured and found to be decreased first and then increased with an increasing reverse bias. Equivalent model using vertical and horizontal capacitances connected in parallel is proposed to qualitatively explain the variation of capacitance under different reverse bias. Result obtained from the model fitting agrees well with the experimental result. The capacitance-temperature (C - T) curve of white LEDs under different reverse bias is measured and analysed. Results show that the capacitance of LEDs is sensitive to temperature at all biases. Under a reverse voltage of 0.5 V, the capacitance has the maximal response of 1.971 pF/°C and a good linear temperature-dependent property. The C - T curve is used as the calibration for the measurement of junction temperature. By monitoring the change of capacitance of the working LEDs and comparing it with the C - T curve, the junction temperature of the LED device is successfully measured. The junction temperature of a white LED obtained by the proposed C - T method is compared with that by traditional forward voltage method, and they are in good agreement. The C - T method is also used to measure the real-time junction temperatures of white LEDs under a constant current of 350 mA and a constant voltage of 3.2 V, respectively. In both conditions, the junction temperature of an LED needs approximately 110 sec to rise from room temperature to a steady value, and subsequently needs approximately 500 sec to fall back to room temperature after the LED is turned off. Compared with traditional methods, C - T method only needs to measure one calibration and this calibration can be applied to LEDs working at any current and voltage. Therefore, C - T method is a simple and flexible alternative to the existing technique of temperature measurement in electronic device.

Keywords: light-emitting diodes, capacitance-voltage, junction temperature

PACS: 85.60.Jb, 84.37.+q, 73.40.Kp, 47.80.Fg

DOI: 10.7498/aps.64.118501

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61204049), the Natural Science Foundation of Guangdong Province, China (Grant No. S2012040007363), and the Foundation for Distinguished Young Talents in Higher Education of Guangdong, China (Grant No. 2012LYM_0058).

† Corresponding author. E-mail: gdutliu@gdut.edu.cn