



齐鲁工业大学
QILU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

本科毕业设计(论文)

题目 碘代咪唑化合物的合成

学院名称 化学与制药工程学院

专业班级 制药工程 12-2

学生姓名 池 瑞 海

导师姓名 汪 永 涛

2016 年 5 月 22 日

碘代咪唑化合物的合成

作者姓名	<u>池瑞海</u>
专 业	<u>制药工程</u>
指导教师姓名	<u>汪永涛</u>
专业技术职务	<u>教 授</u>

齐鲁工业大学本科毕业设计（论文）原创性声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师的指导下独立研究、撰写的成果。设计（论文）中引用他人的文献、数据、图件、资料，均已在设计（论文）中加以说明，除此之外，本设计（论文）不含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。对本文研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确说明并表示了谢意。本声明的法律结果由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：_____

年 月 日

齐鲁工业大学关于毕业设计（论文）使用授权的说明

本毕业设计（论文）作者完全了解学校有关保留、使用毕业设计（论文）的规定，即：学校有权保留、送交设计（论文）的复印件，允许设计（论文）被查阅和借阅，学校可以公布设计（论文）的全部或部分内容，可以采用影印、扫描等复制手段保存本设计（论文）。

指导教师签名：_____毕业设计（论文）作者签名：_____

年 月 日

年 月 日

目 录

摘 要.....	1
第一章 绪论	2
1.1 咪唑的性质.....	2
1.1.1 咪唑的物理性质.....	2
1.1.2 咪唑的化学性质.....	2
1.2 咪唑及其衍生物在光电材料方面的应用	3
第二章 实验部分	3
2.1 试剂和仪器.....	3
2.1.1 试剂和溶剂.....	3
2.1.2 仪器.....	4
2.2 实验步骤.....	4
2.2.1 3, 6-二碘-9-苯基咪唑 (1) 的合成.....	4
2.2.2 3, 6-二碘-9-(4-溴)-苯基咪唑 (2) 的合成.....	5
第三章 结果讨论与特征分析	6
3.1 分子间作用力.....	6
3.2 IR 分析.....	8
3.2.1 3, 6-二碘-9-苯基咪唑 (1) IR 分析.....	8
3.2.2 3, 6-二碘-9-(4-溴)-苯基咪唑 (2) IR 分析	9
3.3 TGA 分析.....	10
3.4 结构测定.....	11
第四章 结论	13
参考文献.....	14
附录.....	16
攻读学士学位期间主要科研成果	17
致 谢.....	18

摘 要

本文具体描述了关于 3, 6-二碘-N-苯基咔唑和 3, 6-二碘-N-(4-溴)-苯基咔唑合成路线以及各自分子结构。测量了两个化合物的熔点, 核磁氢谱, 红外光谱, 紫外光谱, 热重和荧光性质, 重点研究了两个化合物的分子结构, 光学性质和电学性质。然而, 和其他简单的取代咔唑衍生物比较, 溴和碘这类重原子取代的咔唑衍生物拥有更好的热学性质。它们分别在 273°C 和 308°C 时开始分解。

关键词: 共轭化合物 咔唑衍生物 卤代反应

ABSTRACT

This article describes a detail study about synthesis routes and structures of 3,6-diiodo-9-phenylcabazole(1) and 3,6-diiodo-9-(4'-bromophenyl)carbazole(2). A significance of this study lies in analyzing both the structures and optical, electrical properties through measuring their melting point (M.P.), ¹HNMR, infrared spectroscopy (IR), thermogravimetric analysis (TGA) and fluorescence. However, compared with another simple substituted derivatives, the heavy atoms (Br and I) substituted carbazole derivatives obtained much more excellent properties. The compounds possessed high thermal stability and their thermal decomposition temperatures were 273°C and 308°C respectively.

Key words: Conjugated compound; Carbazole derivative; Halogenation

第一章 绪论

咔唑是一类非常好的电致发光材料和空洞传输单体，因为咔唑上的氮原子的缘故，所以它还是一种非常好的电子供体。作为一种在轻化工业广泛应用的中间体，咔唑及其衍生物在偶氮染料、有机荧光材料、医药以及橡胶工业等领域都起到了非常重要的作用。^[1-6]尤其在邮寄电致发光材料的开发与研究领域，咔唑及其衍生物展示了极大的商业价值。咔唑及其衍生物都是杂环有机化合物，基于它们特殊的芳香族结构和巨大的共轭体系显示出了非常有趣的光学、热学和电学性质。

因为咔唑独特的特征，包含咔唑基的聚合物在新材料领域很有前景，它们在有机光致发光、电致发光以及非线性光学元件等领域都有极大的应用性，特别是咔唑衍生物被广泛的应用为空穴传输层材料，这一点是利用了它们的电子流动性和极好的发光性能。在过去的二十年里，研究荧光元件的科学家和工程师们在合成相关的咔唑荧光材料与最佳荧光结构设计方面取得了很多可喜的成果。一些基于咔唑的有机分子和聚合化合物都拥有极好的空穴传输能力、薄膜成型性质和热学性质，这些优良性质皆有助于咔唑及其衍生物应用于有机电致发光元件和光伏电池的开发中。例如，在 OLED 灯的开发过程中，科学家们集中精力寻找更多拥有良好热学性质、强光性和优良的空穴传输能力的材料。^[7-11]

1.1 咔唑的性质

1.1.1 咔唑的物理性质

咔唑 ($C_{12}H_9N$) 是一种溶于乙醇、乙醚等大多数有机溶剂、有特殊气味的无色单斜片状结晶；而且微溶于水；呈弱碱性；易升华；它的熔点为 $244.8^{\circ}C$ ，沸点为 $354.8^{\circ}C$ ；相对分子质量是 167.20；相对密度（水=1）为 1: 10；蒸气压： 53.33 千帕（ $323.0^{\circ}C$ ）；该物质易燃；有毒。

1.1.2 咔唑的化学性质

咔唑作为一个共轭体系，是一种重要的有机合成中间体。^[12]N 原子具有更大的电负性，具有吸附电子的能力，所以咔唑的 1、3、6 和 8 位碳上电子云密度相对较低，1、8 位距离 N 原子太近，在发生取代反应时空间位阻大，所以其 3、6 碳的位置更容易被其他基团所取代。3、6 位上发生的反应类型都属于亲电取代反应。^[13]具体的反应类型包括卤化反应、硝化反应和酰化反应。另外，氮原子位置也容易发生酰基化，烷基化和亚硝化等化学反应。

1.2 咔唑及其衍生物在光电材料方面的应用

咔唑及其衍生物是一类优良的有机电致发光材料，其主要应用是在有机发光二极管（OLED）的开发中。咔唑是典型的富电子基团，而且是巨大的刚性平面结构，基团运动困难，因此咔唑衍生物具有良好的空穴传输能力和高发光能力的同时，可以有效的提高化合物的玻璃化转化温度 T_g 。研究表明，咔唑可以发出红光，绿光甚至蓝光，而且咔唑与其他杂环化合物如茚、茈组合成发光材料是目前研究的热点。^[14-15] 目前为止，咔唑及其衍生物的研究中最主要的任务就是找到高 T_g 和高荧光量子产率的光学材料。在太阳能电池领域，咔唑及其衍生物因为其优良的空穴传输能力和本身的共轭体系结构也作为非常重要的敏化染料研究热点。新型染料敏化剂的研究中，咔唑及其衍生物通常被作为电子给体。^[16-18] 其中光电转化效率的高低是太阳能电池开发中最主要的研究热点。

然而，尽管有大量的实验理论研究证明咔唑在各个应用领域都与很广阔的应用前景，但是在新产品开发与研究中仍遇到了很多棘手的问题，例如基于咔唑的一些复杂化合物的电荷转移几何学问题还未曾解决。尤其关于决定着整体结构与电子受体的经典范德华力和电子转移能力的重要性与化合物在内部几何学内部电子传输上的联系仍然是未知的。并且，在有机发光二极管的发展过程中也碰到了瓶颈。有机光致发光材料的运行寿命和发光效率仍然很难达到实际应用的要求。^[19-20]

第二章 实验部分

2.1 试剂和仪器

2.1.1 试剂和溶剂

表 1 实验所用试剂名称

中文名称	英文名称	分子式
9-苯基咔唑	9-phenylcabazole	$C_{18}H_{13}N$
9-(4-溴)苯基咔唑	9-(4'-bromophenyl) carbazole	$C_{18}H_{12}NBr$
碘化钾	Potassium Iodide	KI
碘酸钾	Potassium Iodate	KIO_3
冰醋酸	glacial acetic acid	Ac OH
硫代硫酸钠	sodium hyposulfite	$Na_2S_2O_3$
乙醇	alcohol	C_2H_5OH

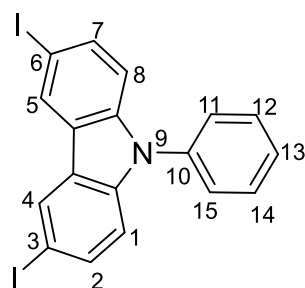
2.1.2 仪器

表 2 实验所用仪器名称及生产厂家

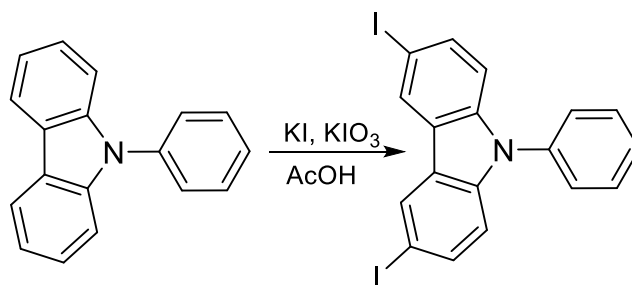
仪器名称	生产厂家
SM262 连续变倍体视显微镜	上海中恒仪器有限公司
JA2003N 型电子精密天平	上海精密科学仪器有限公司
KMD 电子调温电热套	山东省龙口市先科仪器公司
SGW X-4 显微熔点仪	上海精密科学仪器有限公司
SHZ-D(III)循环水式真空泵	巩义市予华仪器有限责任公司
GZX-9030 MBE 电热鼓风干燥箱	上海博讯实业有限公司医疗设备厂
ZF ₇ 三用紫外分析仪	巩义市予华仪器有限责任公司
TU-1900/1901 系列紫外可见分光光度计	北京普系通用仪器有限责任公司
IRPrestige-21 傅里叶变换红外光谱仪	日本岛津公司
AVANCE II 400 核磁共振波谱仪	Bruker

2.2 实验步骤

2.2.1 3, 6-二碘-9-苯基咪唑（1）的合成



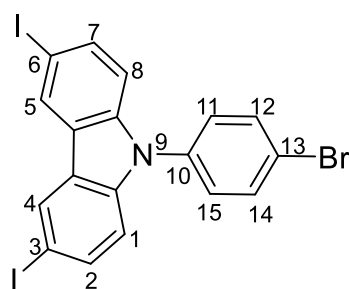
Scheme 1



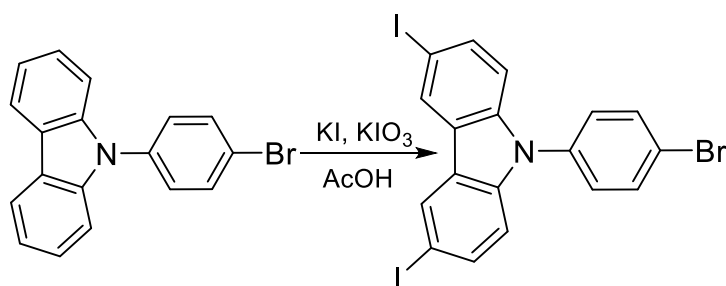
Scheme 2

将 9-苯基咔唑(0.2433 g, 0.1 mmol)、碘化钾(0.6640 g, 4.0 mmol)和碘酸钾(0.4277 g, 2.0 mmol)与 50ml 冰醋酸室温下混合。加热搅拌, 保持反应温度 135℃, 在冰醋酸中回流 18 小时。反应液的颜色变化明显, 从紫色变为红棕色。反应完成后, 使反应液自然冷却至室温。抽滤分离出沉淀, 然后分别用 50ml 10% 硫代硫酸钠溶液和 30ml 蒸馏水洗涤沉淀, 得到白色针状晶体。进一步于真空干燥箱内干燥并用乙醇溶解后重结晶。产率为 74.80% (0.3703g)。熔点为 185-186℃。化合物 (1) 元素分析计算 (%): C, 43.67; H, 2.24; N, 2.83; found: C, 42.88; H, 2.25; N, 2.82。¹H-NMR (400 MHz, Chloroform-*d*) δ: 8.40 (s, 2H), 7.71 - 7.58 (m, 4H), 7.50 (t, *J* = 9.4 Hz, 3H), 7.16 (d, *J* = 8.6 Hz, 2H). IR (KBr, cm⁻¹): 3134(s), 1595(m), 1500(w), 1463(s), 1427(s), 1400(s), 1278(m), 1228(s), 1014(m), 867(w), 798(m), 756(m), 696(w), 630(w), 565(w), 563(w).

2.2.2 3, 6-二碘-9-(4-溴)-苯基咔唑 (2) 的合成



Scheme 3



Scheme 4

将 9-(4-溴)苯基咔唑(0.3222 g, 0.1 mmol)、碘化钾(0.4980 g, 3.0 mmol)和碘酸钾(0.3210 g, 1.5 mmol)与 20ml 冰醋酸室温下混合。加热搅拌, 保持反应温度 135℃, 在冰醋酸中回流 6 小时。反应液的颜色变化明显, 从紫色变为

红棕色，并且三小时后既有沉淀产生。反应完成后，使反应液自然冷却至室温。抽滤分理处沉淀，然后分别用 50ml 10% 硫代硫酸钠溶液和 30ml 蒸馏水洗涤沉淀，得到粉红色晶体。进一步于真空干燥箱内干燥并用乙醇溶解进行重结晶。产率为 82.22% (0.4720g)。熔点为 234-235°C。化合物 (2) 元素分析计算 (%): C, 37.67; H, 1.76; N, 2.44; found: C, 37.45; H, 1.75; N, 2.45. $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, Chloroform-*d*) δ : 8.39 (s, 2H), 7.75 (d, $J = 8.1$ Hz, 2H), 7.68 (d, $J = 8.6$ Hz, 2H), 7.37 (d, $J = 8.1$ Hz, 2H), 7.12 (d, $J = 8.6$ Hz, 2H). IR (KBr, cm^{-1}): 3134(s), 1585(w), 1490(s), 1425(s), 1400(s), 1226(m), 1068(m), 933(s), 867(s), 827(s), 794(s), 630(m), 563(m), 497(w).

第三章 结果讨论与特征分析

3.1 分子间作用力

在两个化合物堆积过程中，分子间依靠 $\pi - \pi$ 作用力与 C-H- π 作用力相互连接。

Table 1 The selected stacking interactions in compounds 1 and 2, respectively.

	$\pi \cdots \pi$	Distance (Å)
1	Cg(1) \cdots Cg(3) ^a	3.847(7)
	Cg(2) \cdots Cg(1) ^a	3.900(7)
	Cg(2) \cdots Cg(3) ^a	3.727(6)
	Cg(3) \cdots Cg(1) ^b	3.848(7)
	Cg(3) \cdots Cg(2) ^b	3.728(6)
	Cg(6) \cdots Cg(7) ^c	3.890(6)
	Cg(6) \cdots Cg(8) ^d	3.877(6)
	Cg(7) \cdots Cg(6) ^d	3.889(6)
	Cg(7) \cdots Cg(8) ^d	3.761(6)
	Cg(8) \cdots Cg(6) ^a	3.876(6)
	Cg(8) \cdots Cg(7) ^a	3.761(6)
2	Cg(1) \cdots Cg(2) ^b	3.677(5)
	Cg(1) \cdots Cg(3) ^a	3.645(5)
	Cg(2) \cdots Cg(1) ^a	3.677(5)
	Cg(2) \cdots Cg(3) ^a	3.806(5)
	Cg(3) \cdots Cg(1) ^b	3.645(5)
	Cg(3) \cdots Cg(2) ^b	3.806(5)

Symmetry codes: ^a x, -1+y, z. ^b x, 1+y, z. ^c x, -1+y, z. ^d x, 1+y, z for **1**.

Cg(1): N(1)-C(6)-C(1)-C(7)-C(12); Cg(2): C(1)-C(2)-C(3)-C(4)-C(5)-C(6);

Cg(3): C(7)-C(8)-C(9)-C(10)-C(11)-C(12); Cg(6): N(2)-C(24)-C(19)-C(25)-C(30);

Cg(7): C(19)-C(20)-C(21)-C(22)-C(23)-C(24);

Cg(8):C(25)-C(26)-C(27)-C(28)-C(29)-C(30)

Symmetry codes: ^a -1+X, Y, Z. ^b 1+X, Y, Z for **2**.

Cg(1): N(1)-C(6)-C(1)-C(7)-C(12); Cg(2): C(1)-C(2)-C(3)-C(4)-C(5)-C(6);

Cg(3): C(7)-C(8)-C(9)-C(10)-C(11)-C(12)

Table 2 The C-H... π interactions in compounds **1**.

C-H... π		H... π (Å)	C-H... π (°)	C... π (Å)
1				
C(15)-H(15)...Cg(7) ^a	[2656.02]	2.81	153	3.661(17)
C(18')-H(18')...Cg(4) ^b	[1565.01]	2.95	135	3.663(16)
C(33)-H(33)...Cg(2) ^c	[2646.01]	2.90	141	3.669(17)
C(35)-H(35)...Cg(3) ^d	[2546.01]	2.85	152	3.693(15)

Symmetry codes: ^a 1-x, 1/2+y, 1-z. ^b x, 1+y, z. ^c 1-x, -1/2+y, 1-z. ^d -x, -1/2+y, 1-z for **1**.

Cg(2): C(1)-C(2)-C(3)-C(4)-C(5)-C(6); Cg(3): C(7)-C(8)-C(9)-C(10)-C(11)-C(12);

Cg(4):C(13)-C(14)-C(15)-C(16)-C(17)-C(18);Cg(7):C(19)-C(20)-C(21)-C(22)-C(23

)-C(24)

3.2 IR 分析

3.2.1 3, 6-二碘-9-苯基咪唑 (1) IR 分析

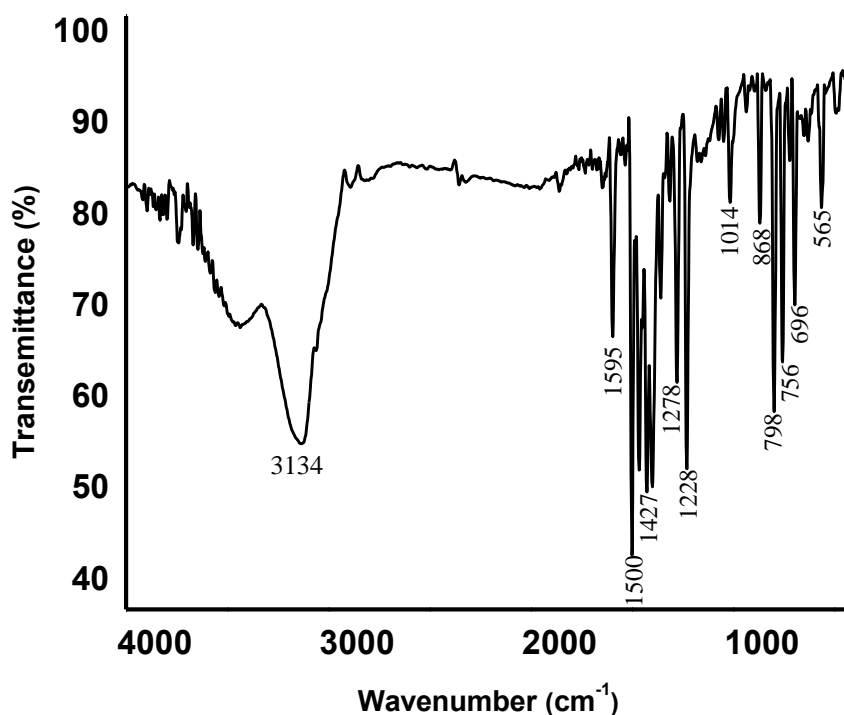


Fig.1 IR of compound 1

化合物的红外色谱分析对于表征芳香化合物自身的特点是非常重要的，尤其是苯环及其衍生物中芳香环的伸缩振动。红外谱图 Fig. 1 中出现在 3134 cm^{-1} 的红外吸收带，根据理论上苯环 C-H 键的伸缩振动发生在 3000 cm^{-1} 以上可以确认为芳香环上 C-H 键的伸缩振动吸收峰 ($\nu_{\text{C-H}}$)。环上 C=C 的伸缩振动峰一般出现在 $1400\text{--}1625\text{ cm}^{-1}$ 范围内，所以分别出现在 1595 、 1500 、 1463 、 1427 和 1400 cm^{-1} 的五个吸收峰被视作咪唑环上 C=C 的骨架伸缩振动吸收峰。理论上芳香环的 C-H 键的弯曲振动通常发生在 $1000\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$ 范围内。根据观察，在 $1278\text{--}1014\text{ cm}^{-1}$ 范围内出现的几个吸收峰表明苯环的确是存在的。落在 $1014\text{--}630\text{ cm}^{-1}$ 范围内的吸收带显示为 C-H 键在此芳香系统内的面内变形振动和面外变形振动。出现在 565 和 563 cm^{-1} 的强吸收峰是化合物上碘的特征振动吸收峰。

3.2.2 3, 6-二碘-9-(4-溴)-苯基咪唑 (2) IR 分析

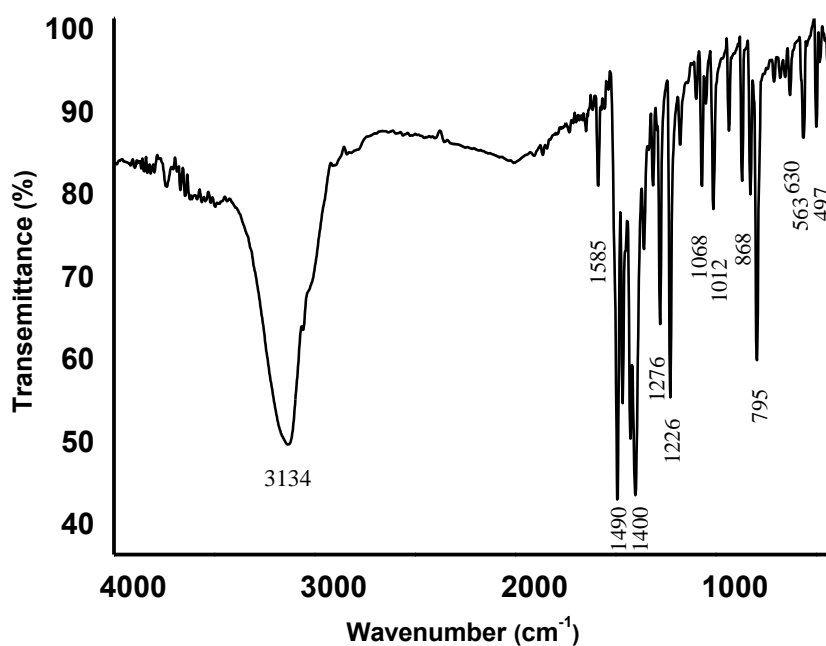


Fig.2 IR of compound 2

因为两种化合物结构上的相似性，所以化合物 2 的红外吸收数据和化合物 1 是非常相似的。如 Fig.2 出现在 3134 cm^{-1} 的强吸收峰仍被视为芳香环上 C-H 键的伸缩振动吸收峰。出现在 1425、1490 和 1585 cm^{-1} 处的三个吸收峰是咪唑环的伸缩振动吸收峰。而出现在 1012-1276 cm^{-1} 处的吸收带表明了苯环的存在。此共轭系统中 C-H 键的面内变形振动和面外变形振动吸收峰出现在 1068-630 cm^{-1} 范围内。位于 563 和 497 cm^{-1} 两处的强吸收峰则表明了溴和碘在芳香环中的存在。

3.3 TGA 分析

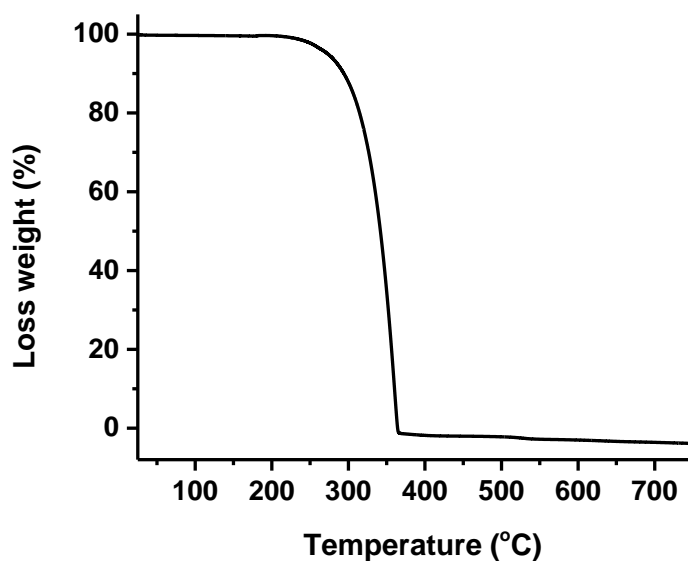


Fig.3 TGA curve of compound 1

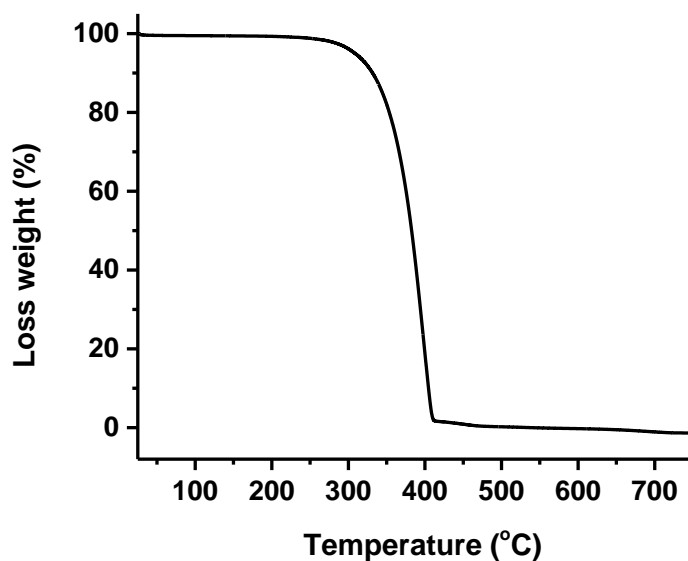
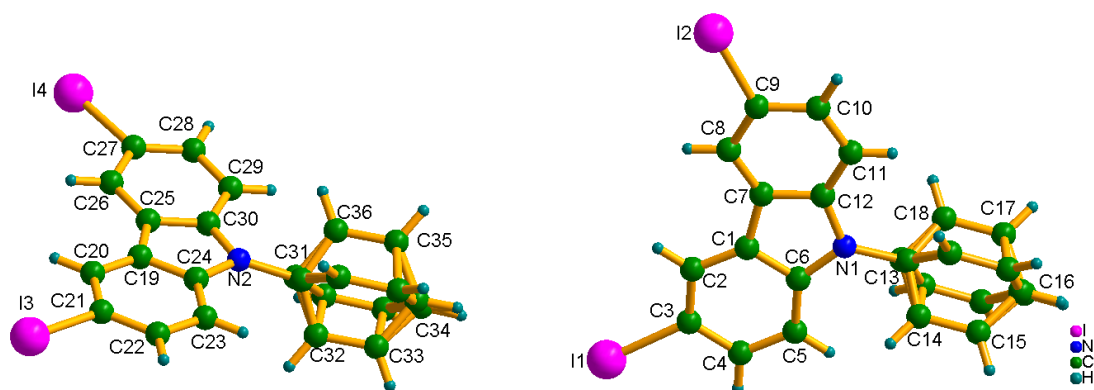


Fig.4 TGA curve of compound 2

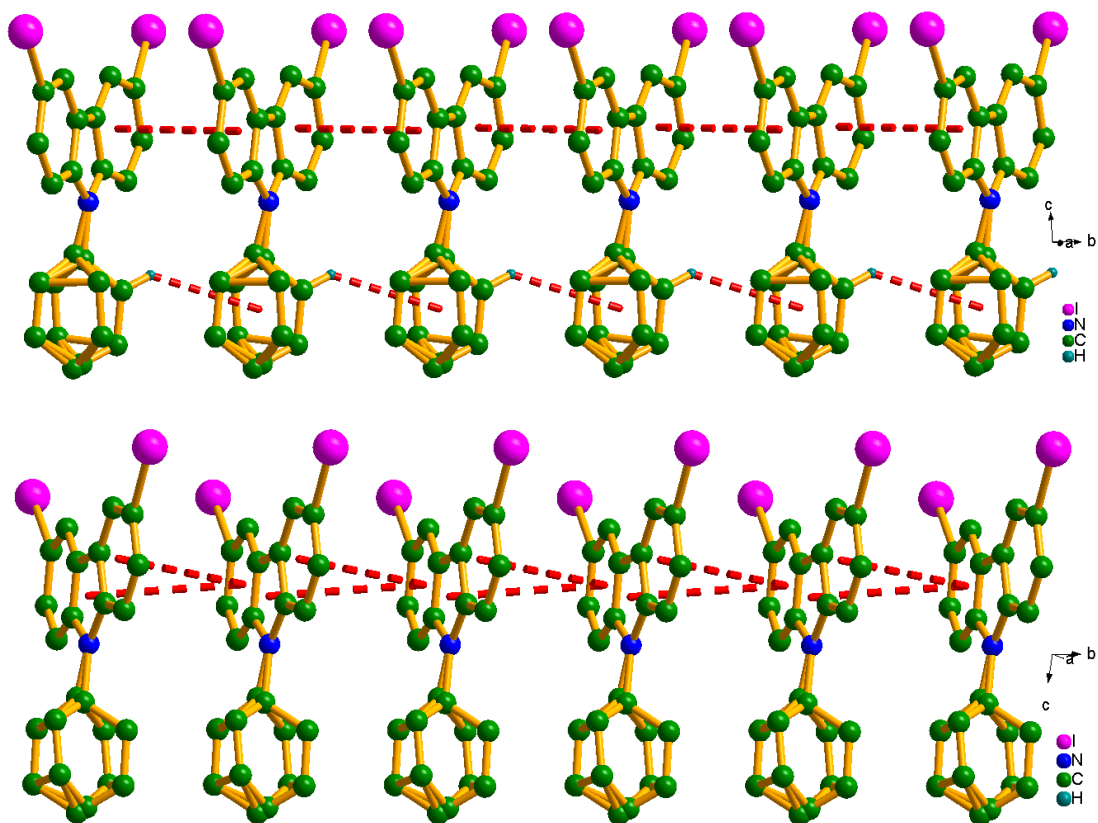
以下是我们测得的它们的热重数据。实验在氮气环境中，取一定量化合物 1 和化合物 2 单晶样品以 $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ 的加热速率升温 (Fig. 3 and 4)。正如图解 Fig. 3 所示，化合物 1 在 273°C 之前的重量一直保持平台状，表明化合物 1 有很高的热稳定性。超过 273°C 后，化合物 1 开始分解。再看化合物 2，热重曲线在 $25\text{--}308^{\circ}\text{C}$ 之间显示出很好的热稳定性，如 Fig. 4 所示。化合物 2 在进一步提高温度后开始逐渐分解。当前的实验结果显示，化合物 2 的热稳定性明显比化合

物 1 要高，推测这可能与化合物 2 上的溴的存在有关。

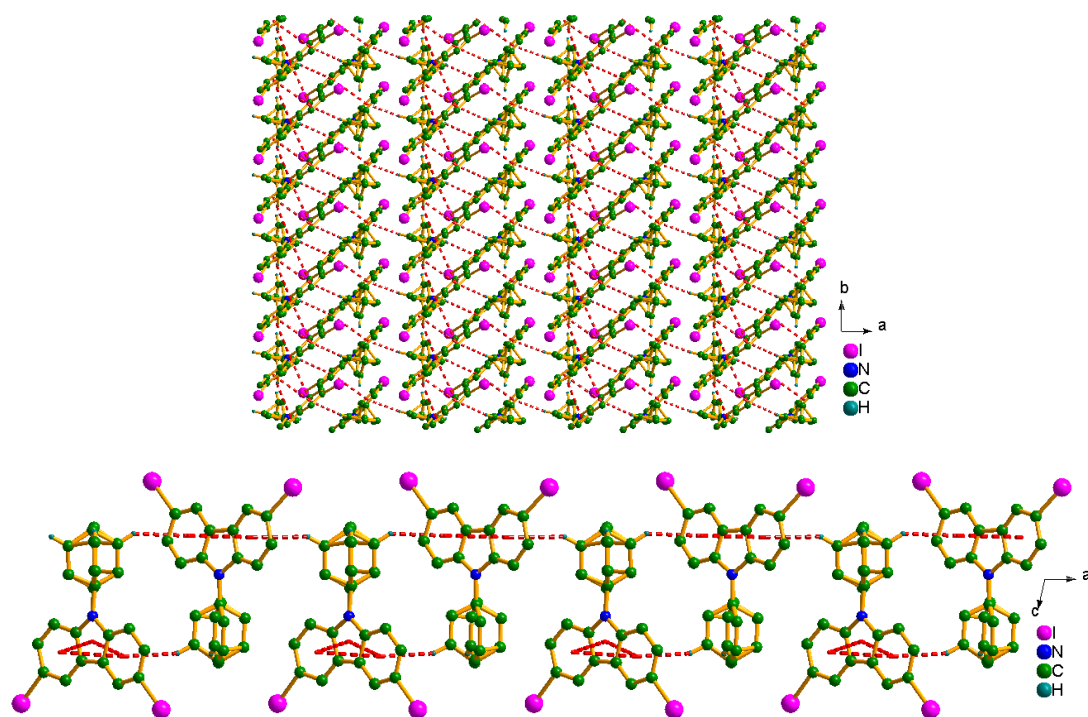
3.4 结构测定



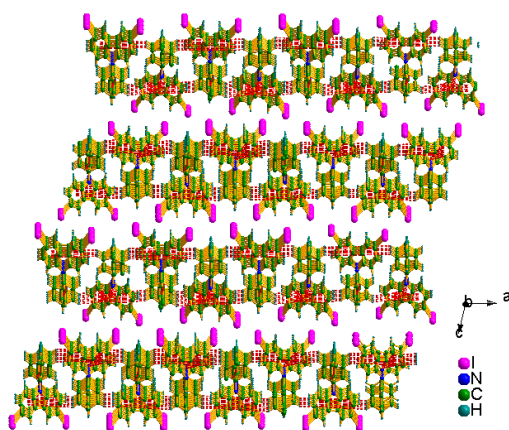
(a) 化合物 1 分子结构



(b) 化合物 1 沿 b 轴排列方式



(c) 化合物 1 沿 a 轴排列方式



(d) 化合物 1 分子堆积方式

Fig.5 化合物 1 分子结构与堆积方式

如 Fig.5 所示，图(a)化合物 1 的远景图。结构中显示化合物 1 中 C3 与 C6 位分别连接有一个碘原子。图(b)两条沿晶胞 b 坐标轴的一维大分子链。两个化合物分子间靠 $\pi \cdots \pi$ 作用力与 C-H $\cdots \pi$ 作用力相互连接。图(c)上下图是分别沿 ab、ac 面的一张二维大分子层。图(d)化合物 1 的堆积图。

第四章 结论

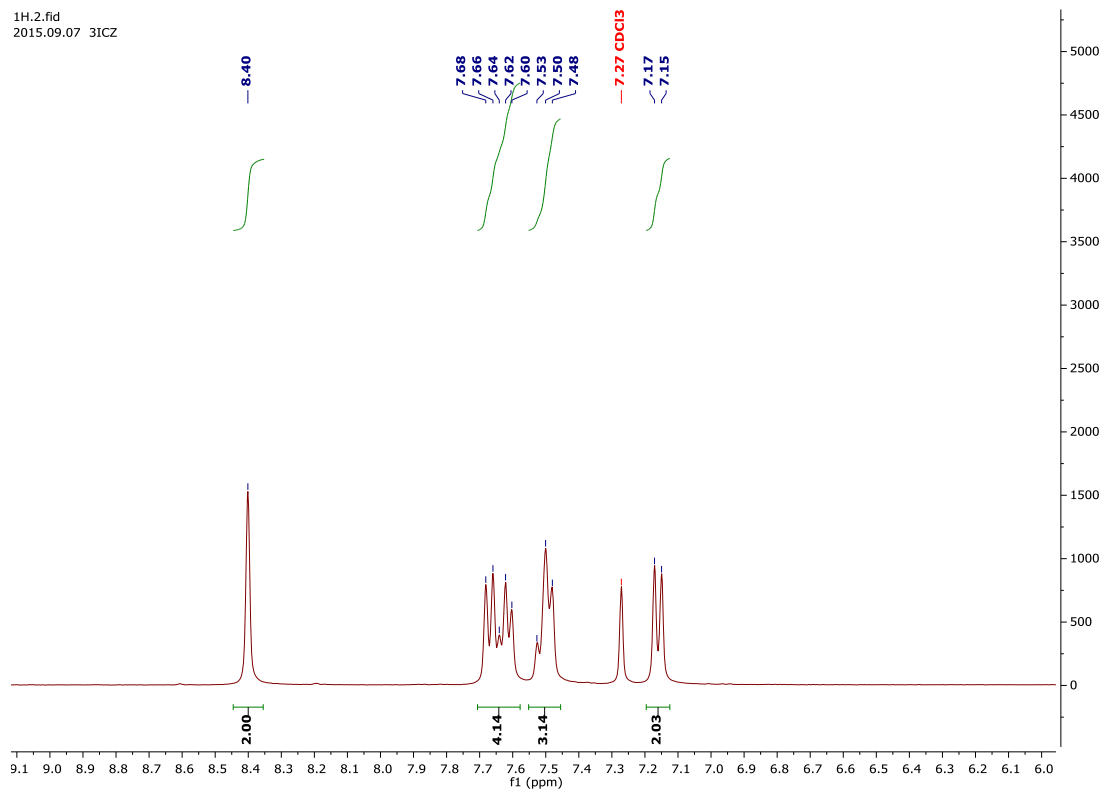
我们成功合成了 3, 6-二碘-9-苯基咪唑（1）与 3, 6-二碘-9-（4-溴）-苯基咪唑（2）是两种咪唑衍生物。进一步说，咪唑环上的 C3 和 C6 位所连接的两个氢原子是非常活泼的，而且在化学反应中易于被其他的基团取代。因此，当前 3, 6-二取代咪唑衍生物是当前研究的热点材料。研究表明，碘、溴等重原子的存在降低了荧光量子产率而增加了咪唑衍生物的荧光性。实验过程中，我们得到的产物晶体都是透明的并且呈现针状。化合物的化学性质 AA 通过核磁共振谱以及红外衍射得以表征。它们的热学性质是通过热重分析得到的数据。研究表明，两种化合物具体的化学结构，光学、热学性质显示出这两个咪唑衍生物在光电材料领域与太阳能电池材料开发中均有很大的应用潜能。我们相信，通过对于其结构的研究将会有助于这些咪唑衍生物的性质的一步研究。

参考文献

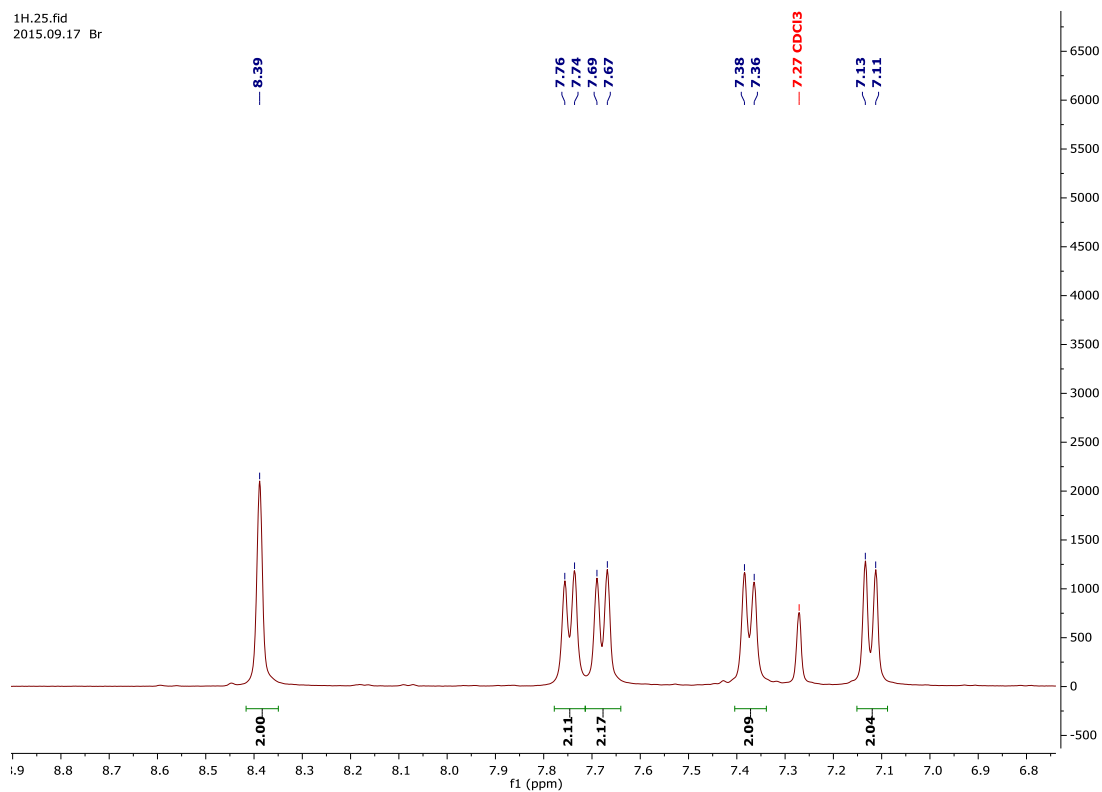
- [1] Lin Hongzhen, Zheng Min, Yang Junlin & Bai Fenglian. Carbazole-containing light-emitting polymers: Properties of excited states [J]. *Chinese Sci. Bull.* 2003, 48: 637-642
- [2] Murat Ates, Nesimi Uludag. Synthesis and Electropolymerization of 9-(4-vinylbenzyl)-9H-carbazole on Carbon Fiber Microelectrode: Capacitive Behavior of Poly(9-(4-vinylbenzyl)-9H-carbazole)[J]. *Fiber. Polym.* 2010, 11:331-337
- [3] 唐保军, 郝伟, 刘建静等. 两类偶氮化合物合成及光谱分析[J]. *光散射学报.* 2007, 19(2):168-172
- [4] Liu Zhitian, Liu Jing, Yu Guowei. Synthesis and Characterization of Carbazole-Fluorene-Solole Copolymers as Efficient Green Light Emitting Diodes [J]. *J. Inorg. Organomet. Polym.* 2012, 22:1350-1357
- [5] 杨志勇, 于涛, 陈美娜等. 具有聚集诱导发光效应的咪唑基三苯乙烯衍生物单体及聚合物[J]. *高分子学报.* 2009, 6:560-565
- [6] 魏红玉, 赵睿新, 张鑫等. 3,6-二碘代-9-(4-甲基苯基)咪唑的合成[J]. *化学试剂*, 2009, 31(9):745-746
- [7] Gong Qihuang, Hu Xiaoyong, Yang Hong & Wang Shufeng. Ultrafast organic nonlinear optical molecules and the realization of mesoscopic photonic devices[J]. *Chinese Sci. Bull.* 2010, 55(20):2111-2117
- [8] Klaudia Radula-Janik, Teobald Kupka, Krzysztof Ejsmont, Zdzislaw Daszkiewicz, Stephan P.A. Sauer. Molecular modeling and experimental studies on structure and NMR parameters of 9-benzyl-3,6-diiodo-9H-carbazole[J]. *Struct. Chem.* 2015, 26:997-1006
- [9] Ding Junqiao, Zhang Baohua, Lv Jianhong. Solution-Processable Carbazole-Based Conjugated Dendritic Hosts for Power-Efficient Blue-Electrofluorescent Devices[J]. *Adv.Mater.* 2009, 21:4983-4986
- [10] 李猛, 吕宏飞, 李淑辉等. 3-溴-9-苯基咪唑的合成[J]. *黑龙江科学.* 2012, 3(1):26-31
- [11] Ravi M Adhikari. CARBAZOLE-BASED EMITTING COMPOUNDS: SYNTHESIS, PHOTOPHYSICAL PROPERTIES AND FORMATION OF NANOPARTICLES[D]. United States: Graduate College of Bowling Green State University, 2008
- [12] 李丽荣, 崔建兰, 蔡留青. 3,6-二溴咪唑的合成工艺改进[J]. *天津化工.* 2008, 22(5):34-36
- [13] 邢玉麟. 新型咪唑衍生物的合成研究[D]. 西北师范大学, 2007
- [14] 于涛, 王程程, 陈美娜等. 咪唑衍生物在有机电致发光材料中的研究进展[J]. *化工新型材料.* 2009, 37(5):6-8
- [15] 韩立志, 王卓, 华英杰等. 9,9-二-(3-(9-苯基咪唑基))-2,7-萘基芴的光电性质[J]. *化学学报.* 2012, 70(5):579-584
- [16] Rasa Lauriaviciute, Jolita Ostrauskaite, Juozas Vidas Grazulevicius and Vyintas Jankauskas. Synthesis, properties, and self-polymerization of hole-transporting carbazole- and triphenylamine-based hydrazine monomers[J]. *Des. Monomer. Polym.* 2014, 17(3):255-265
- [17] 陈科信. 基于咪唑的有机太阳能电池材料的设计合成与性能研究[D]. 南昌航空大学, 2014
- [18] Navee Kungwan, Pipat Khongpracha, Supawadee Namuangruk. Theoretical study of

- linker-type effect in carbazole-carbazole based dyes on performances of dye-sensitized solar cells[J]. *Theor. Chem. Acc.* 2014, 33: 1523
- [19] Seung-Sock Choi, Albert S. Lee, He Seung Lee. Synthesis and Characterization of Ladder-like Structured Polysilsesquioxane with Carbazole Group[J]. *Macromol. Res.* 2011, 19(3): 261-265
- [20] Zhang Lianjie, Liu Zhulin, Zhang Xiaofei. Efficient Blue Light-Emitting Diodes Based on Conjugated Polymers with Fluorinated Silole Chemically Doped in Fluorene-Carbazole Main Chain[J]. *J. Inorg. Organomet. Polym.* 2015, 25: 64-72

附录



¹H-NMR of compound 1



¹H-NMR of compound 2

攻读学士学位期间主要科研成果

论文

- [1] Rui-Hai Chi, Gui-Mei Tang,* , Wen-Zhu Wan, Zhi-Qiang Chen, Ting-Xiang Yan, Yan-Ping Dong, Yong-Tao Wang,* , Yue-Zhi Cui. Tunable photoluminescent materials based on two phenylcarbazole-based dimers through the substituent groups. J.Lumin. JLUMIN-2016-517. Under review.
- [2] Gui-Mei Tang, Rui-Hai Chi, Wen-Zhu Wan, Yong-Tao Wang, Yue-Zhi Cui, Seik Weng Ng. Synthesis, crystal structures, non-linear optic and thermal properties of two di-iodo-carbazole derivatives. Solid State Sci. SSSCIE-2016-148. Under review.

专利

汪永涛,池瑞海,汤桂梅,一种 *N*-苯基咔唑二聚物的简化合成方法,CN 201610193682.1。

致 谢

在大学生活结束之际，我要特别感谢四年来指导过我的各位老师和一直帮助我的各位同学，四年的成长对我的一生尤为重要，谢谢你们们的陪伴与支持。本论文能够顺利的完成，要特别感谢我的导师汪永涛教授在实验阶段和论文完成阶段的关怀和耐心指导。