

基于共词分析的固态照明近年研发领域分析

■ 李泽霞 刘小平

[摘要] 指出固态照明技术是当前最具发展前景的高技术领域之一。近年来,由于巨大的应用需求,固态照明发展出现了市场领先于技术发展、技术研究领先于基础研究的特点。如何实现半导体固态照明用的 LED 芯片的超高效,是全世界半导体照明领域面临的最重要问题。加快超高效 LED、OLED 的若干重大基础科学问题研究,解决产业发展的技术瓶颈,已经迫在眉睫。运用文献计量分析方法中的文献基本数量分析、关键词词频统计分析、共词分析、多维尺度分析等方法和可视化技术,并结合 SPSS 统计分析软件、社会网络分析中 UCINET 软件工具,以及美国 Thomson 公司开发的 Thomson Data Analyzer 和 Aureka 等工具,解读国家/地区固态照明研究的发展现状与趋势、固态照明研究的活跃度以及固态照明领域中的两个子领域 LED 和 OLED 的研究热点。

[关键词] 固态照明 LED OLED 共词分析 多维尺度分析

[分类号] G253.1

1 前言

固态照明是指用固态发光器件作为光源的照明技术,目前国际固态照明科学领域主要包括两个子领域,即半导体发光二极管 LED 灯和有机发光二极管 OLED 灯。LED 灯作为照明光源,其优越性在于:光电转换效率高,低压供电,使用寿命长,既可以有选择地发出单色光,也可以高效发出白光,可以大大节约电能。一个 OLED 是通过把有机薄膜夹在两个电极之间而制成的光电子器件,当电流通过时,会发出亮光。与目前处于主流地位的显示器件如 CRT 和 LCD 相比,OLED 有诸多的优越性,如:重量轻、可靠性好,可以实现红光到蓝光的任何单色的显示及彩色显示,低压供电、电光转换效率较高可达 231m/W,响应速度快,是 LCD 的 1 000 倍,视角范围宽、可以制作在柔软的衬底上等,而且目前其寿命已经可以达到 20 000 小时以上。特别因为 OLED 制作过程简单,成本很低,价格可以做到十分低廉,是显示器市场的有力竞争者,可望通过进一步提高转换效率和亮度,进入照明市场。可以说,作为点光源的 LED 和作为面光源的 OLED,各具优势,相得益彰。从世界能源危机和环保角度来看,按目前的开发速度,煤炭仅可供应 169 年,天然气仅可供应 65 年,石油仅可供应到 2050 年。而中国的能源形势更加严峻,据估计,中国的煤炭在 88 年内、石油和天然气资源分别在 20.2 年和 49.3 年内都将面临枯竭。此外,化石燃料燃

烧对环境破坏严重;臭氧层破坏可造成紫外线增加,除增温效应外,对人类的健康和海洋中的浮游生物也造成巨大伤害,还会导致农作物减产^[1]。为此,世界各国及地区把固态照明作为“照亮未来的技术”,对固态照明的研发生产都极为重视,纷纷制定了发展固态照明技术的国家计划,欲占领这一战略技术制高点。如美国制定了“国家半导体照明研究计划”,日本制定了“21 世纪照明计划”,欧盟制定了“彩虹计划”,韩国制定了“GaN 半导体开发计划”,中国台湾地区制定了“次世纪照明光源开发计划”。这些计划的推出,带动了各国和地区研发、投资力度的不断加大,推动了固态照明产业的快速发展。

科学研究前沿代表了科学发展的难点、热点以及发展趋势,从浩瀚的科技信息中探测研究前沿是科技创新的关键任务之一。因此,如何能够科学、准确地把握研究前沿已经成为科学研究人员及其管理者关注的焦点,更成为各国政府制定科技发展战略时面临的一大问题^[2]。科学研究前沿表现为新主题词大量出现、词间关系变化、主题词含义变迁以及主题词异常变化等。因此,通过关键词词频分析可以在一定程度上揭示研究前沿的出现,利用共词分析可以探测研究领域的热点,从而从横向和纵向角度分析领域学科的发展过程、特点以及领域或学科之间的关系,反映某个专业的科学研究水平及其动态^[3]。

以往关于固态照明基础研究的研究布局及变化趋

[作者简介] 李泽霞,中国科学院文献情报中心副研究员;刘小平,中国科学院文献情报中心副研究员,E-mail:liuxp@mail.las.ac.cn。

势,主要依赖于该领域的判断。王吉武等曾用文献计量学方法绘制 LED 的知识图谱,但是没有涉及 OLED 领域^[4]。本文以 SCI 数据库中所有有关固态照明科学领域的文献为基础,运用关键词词频分析法、共词分析法和多维尺度分析法对 OLED 的主要研究热点领域进行分析,探讨二者的国际发展态势,并提出我国固态照明基础研究的对策建议。

2 数据来源与研究方法

本文所采用的数据,全部来源于美国 Thomson Reuters 公司的 Web of Science 数据库。利用关键词设计检索策略^[3]^①,共检索到 2001 - 2010 年间相关研究论文 64 784 篇,其中 OLED 研究相关论文 23 429 篇,LED 研究相关论文 39 169 篇。数据采集时间为 2011 年 10 月。

在具体方法运用上,本文采用文献计量分析方法中的文献基本数量分析、关键词词频统计分析、共词分析、多维尺度分析等方法 and 可视化技术,并结合 SPSS 统计分析软件、社会网络分析中 UCINET 软件工具,以及美国 Thomson 公司开发的 Thomson Data Analyzer 和 Aureka 等工具进行分析,据此解读国家/地区固态照明研究的发展现状与趋势、固态照明研究的活跃度以及固态照明领域中的两个子领域 LED 和 OLED 的研究布局。

3 分析与结果

3.1 固态照明研究的发展趋势

3.1.1 固态照明论文数量的分布特征及年度发展趋势 2001 - 2010 年,固态照明研究的两个知识子领域(LED 和 OLED)均表现出较好的增长趋势(见图 1)。其中 LED 的年均增长率为 7%,OLED 为 8%。LED 在光通信领域已经有很长的应用历史:1962 年,通用电气的高级半导体化合物实验室发明了第一个实用的可见光光谱的 LED;60 年代末,红光 LED 已经实现了商用化。因此,LED 比 OLED 有更好的历史研究基础。从图 1 中也可以看出,在本文分析的起始年——2001 年,LED 论文的数量已经是 OLED 的 2 倍,而到了 2010 年,LED 论文数量仍然是 OLED 的 1.8 倍。

3.1.2 TOP10 国家/地区固态照明研究的发展现状与趋势 2001 - 2010 年,LED 和 OLED 的研究论文都集中在中国、美国、韩国、日本、德国、中国台湾、英国、法国、意大利和加拿大这些 TOP10 国家/地区。TOP10 国家/地区发表的 LED 论文共计 30 882 篇,占 LED 领域 10 年所有发表论文的 78.9%;TOP10 国家/地区发表

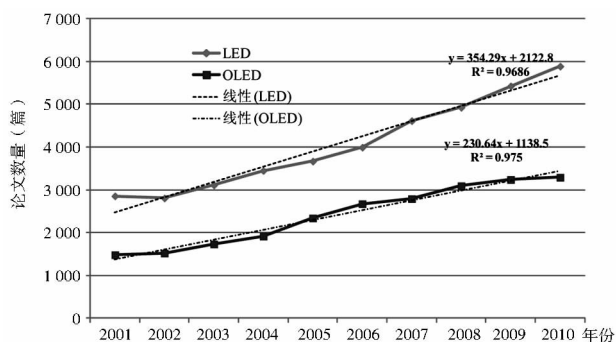


图 1 LED 和 OLED 研究论文的年度分布及趋势特征

共发表 OLED 的论文 19 508 篇,占 OLED 领域 10 年所有论文的 83.3%。

LED 和 OLED 发表论文排名 TOP10 的国家/地区完全一样,但是排位略有不同(见图 2)。发表 LED 相关研究论文排名前 5 的国家/地区是:美国、德国、中国、日本和英国;发表 OLED 相关研究论文排名前 5 的国家/地区是:中国、美国、韩国、日本和德国。美国在 LED 研究中占有绝对的优势,10 年里共发表论文 10 743 篇,占到全部论文的四分之一以上(26.4%)。德国位居第二,共发表论文 4 006 篇,占全部发表论文的 9.8%。中国和美国在 OLED 相关的研究中表现突出,分别发表论文 4 582 篇和 4 394 篇,分别占全部论

^① $S = S_1 \text{ or } (S_{2a} \text{ or } S_{2b} \text{ or } S_{2c}) \text{ or } (S_{3a} \text{ or } S_{3b}) \text{ or } (S_{4a} \text{ or } S_{4b} \text{ or } S_{4c}) \text{ or } S_5 \text{ and } py = (2001 - 2010)$

$S_1 = ((\text{semic} * \text{ and lum} * \text{ and } (\text{copolym} * \text{ or polym} * \text{ or organic} \text{ or "ii-vi"} \text{ or "iii-v"} \text{ or "iii-nitride"} \text{ or "gallium nitride"} \text{ or "gan"})))$

$S_{2a} = ((\text{"light"} \text{ near/1 emi} *) \text{ and } (\text{"active layer"} \text{ or "active region"} \text{ or "clad layer"} \text{ or "cladding layer"} \text{ or "well layer"} \text{ or epit} * \text{ or hetero} * \text{ or "pn junction"} \text{ or "ii-vi"} \text{ or "iii-v"} \text{ or "iii-nitride"} \text{ or "gallium nitride"} \text{ or "gan"}))$

$S_{2b} = (((\text{"light"} \text{ near/1 emi} *) \text{ near/2 layer} *) \text{ not } (\text{"plasma"} \text{ or "noble gas"} \text{ or flouresce} *))$

$S_{2c} = ((\text{"light"} \text{ near/1 "emi} * ") \text{ near/2 } (\text{copolym} * \text{ or polym} * \text{ or organic} \text{ or diode} * \text{ or semi} *))$

$S_{3a} = (\text{electrolum} * \text{ or } (\text{electro near/1 } (\text{lum} * \text{ or phos} *)))$

$S_{3b} = ((\text{"el"} \text{ near/1 } (\text{dev} * \text{ or display} * \text{ or "element"} \text{ or "elements"} \text{ or lamp} * \text{ or panel} * \text{ or phosphor} *)))$

$S_{4a} = (\text{"leds"} \text{ or oled} * \text{ or } (\text{"a led"} \text{ not } (\text{"led to"} \text{ or "led from"})))$

$S_{4b} = ((\text{"an"} \text{ or "hb"} \text{ or "white"} \text{ or "uv"} \text{ or "blue"} \text{ or "green"} \text{ or "amber"} \text{ or "red"}) \text{ near "led"}))$

$S_{4c} = (\text{"led"} \text{ near/1 } (\text{array} * \text{ or dev} * \text{ or display} * \text{ or element} *))$

$S_5 = (\text{"semiconductor light source"} \text{ or } (\text{solid state light} *))$

$O = (\text{oled} * \text{ or polym} * \text{ or monom} * \text{ or "ligand"} \text{ or hydroxy} * \text{ or macromol} * \text{ or } (\text{"organic"} \text{ not "metal-organic"} \text{ not "metalorganic"})) \text{ and } py = (2001 - 2010)$

$OLED = S \text{ and } O(24070)$

$LED = S \text{ not } O(40714)$

文的 19.0% 和 18.2%。除此之外,论文占比超过 10% 的国家还有韩国(10.7%)和日本(10.1%)。

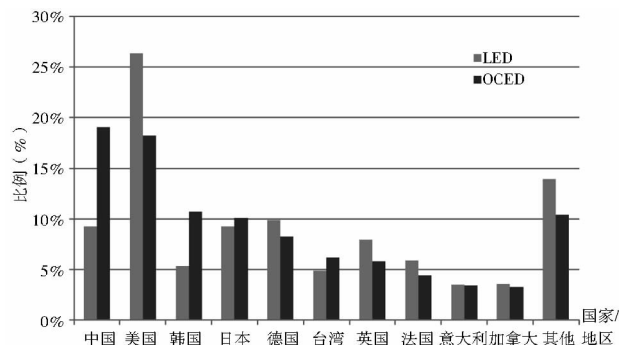


图 2 TOP10 国家/地区 2001-2010 年发表 LED 和 OLED 论文占全部论文数量的比例

3.1.3 固态照明研究的活跃度分析 最近几年某一领域研究成果发表的情况,可以从一定程度上度量某一领域相关研究的活跃程度。笔者对固态照明研究领域的活跃度定义为:领域研究活跃度 = $\frac{\text{近几年发表论文数}}{\text{全部时间段发表论文的总数}}$, ($n = n/\text{全部时间段}$)

3)

其中,如果领域活跃度大于 1,就表明这个领域的研究在近几年相对活跃,反之亦然。图 3 给出了 TOP10 国家/地区 LED 和 OLED 研究在 10 年中的活跃度,并同时给出了 LED 和 OLED 的平均活跃度(均为 1.33,见图 3 中绿色线)便于进行比较。可见,2001-2010 年期间,虽然 LED 和 OLED 论文基数不同,但活跃程度表现一致,都相对活跃,活跃度大于 1。

而 TOP10 国家/地区 LED 和 OLED 研究的活跃度都大于 1,这些国家/地区在相关研究上均表现活跃,其中中国、韩国和中国台湾的 LED 和 OLED 研究的活跃度都超过平均活跃度,并且 LED 的活跃度均大于 OLED 的活跃度。美国、意大利和加拿大 LED 研究的活跃度要高于平均活跃度。除中国、韩国和中国台湾外,其他国家/地区 OLED 的活跃度均低于平均活跃度。

3.2 固态照明研究国家/地区影响力分析

3.2.1 从文献计量学特征看 LED 论文 TOP10 国家/地区的影响力 表 1 给出了 LED 研究发表学术论文数量 TOP 国家的文献计量特征。从 LED 论文数量来看,美国具有绝对优势,贡献了世界四分之一的科研产出,德国、中国、日本和英国研究实力比较接近,发表论文的数量在 3 000-4 000 篇之间,其他国家/地区发表论文的数量均低于 3 000 篇。意大利在 10 个国家/地区中

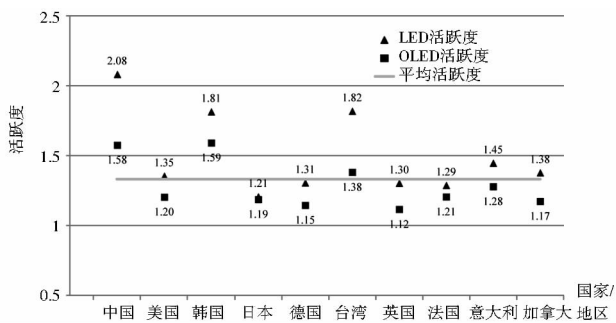


图 3 TOP10 国家/地区活跃度的比较

发表论文数量最少,为 1 437 篇论文。

从被引次数来看,美国(220 045 次)仍要远远领先于其他国家/地区,它比排名第二的德国(62 578 次)要高一个数量级,可见其在 LED 研究方面的影响力。英国和日本紧随德国之后,被引次数均高于 45 000 次。中国的被引次数是 32 411 次,位列第五。中国台湾的被引次数最少,为 17 857 次。

篇均被引可以从一定程度上衡量论文成果的影响力。从篇均被引来看,美国在 LED 的研究方面具有较大的影响力,篇均被引次数为 20.5 次/篇。英国排名第二,篇均被引次数为 16.6 次/篇,每篇论文的被引次数比美国约低 4 次,紧随其后的是德国(15.6 次/篇)、法国(14.8 次/篇)和加拿大(14.2 次/篇),其中中国的篇均被引次数最低,为 8.6 次/篇。

从 H 指数来看,美国的研究实力和影响力进一步得到了佐证,其 H 指数为 153,远高于排名第二的德国(91),英国位居第三,为 89,中国台湾的 H 指数最低,为 49。

表 1 LED 研究国家/地区(TOP10)文献计量特征

国家/地区	论文篇数	被引次数	篇均被引次数	H 指数	第一机构
美国	10 743	220 045	20.5	153	佛罗里达州立大学
德国	4 006	62 578	15.6	91	慕尼黑大学
中国	3 781	32 411	8.6	64	中国科学院
日本	3 766	47 048	12.5	76	大阪大学
英国	3 249	54 090	16.6	89	剑桥大学
法国	2 408	35 519	14.8	75	法国国家科学研究院
韩国	2 169	21 132	9.7	55	全北国立大学
台湾	1 997	17 857	8.9	49	国立成功大学
加拿大	1 470	20 947	14.2	61	加拿大国家研究理事会
意大利	1 437	19 992	13.9	57	意大利国家研究理事会

3.2.2 从文献计量学特征看 OLED 论文 TOP10 国家/地区的影响力 表 2 给出了 OLED 研究发表学术论文数量 TOP 国家的文献计量学特征。从 OLED 论文数量来看,中国表现突出,超过美国成为 OLED 发表学术论文数量

最多的国家/地区,美国居第二,发表论文的数量都在4 000篇以上,其他国家/地区发表论文的数量均低于3 000篇。加拿大在10个国家/地区中发表论文数量最少,为792篇论文。

从被引次数来看,美国仍远远高于其他国家/地区,达到142 934次,它比排名第二的中国(58 187次)要高一个数量级,可见即使发表论文的数量不是最高,但其在OLED研究方面的影响力仍是其他国家无法比拟的。德国(49 984次)、英国(38 651次)和日本(37 032次)紧随其后,被引次数均高于30 000次。意大利的被引次数最少,为16 366次。

从篇均被引来看,美国在OLED的研究方面具有较大的影响力,篇均被引次数为32.5次/篇。英国排名第二,篇均被引次数为27.5次/篇,每篇论文的被引次数比美国低5次,紧随其后的是加拿大(25.5次/篇)、德国(25.1次/篇)和法国(20.1次/篇),其中中国的篇均被引次数为12.7次/篇,排名第九。韩国的篇均被引次数最低,为9.4次/篇。

从H指数来看,美国的研究实力和影响力进一步得到了佐证,其H指数为145,远高于排名第二的德国(93),英国位居第三为85,意大利的H指数最低,为49。

表2 OLED研究国家/地区(TOP10)文献计量特征

国家/地区	论文篇数	总被引次数	篇均被引次数	H指数	第一机构
中国	4 582	58 187	12.7	83	中国科学院
美国	4 394	142 934	32.5	145	华盛顿大学
韩国	2 572	24 161	9.4	58	首尔国立大学
日本	2 436	37 032	15.2	67	大阪大学
德国	1 995	49 984	25.1	93	德累斯顿工业大学
台湾	1 497	25 679	17.2	67	中国台湾交通大学
英国	1 406	38 651	27.5	85	剑桥大学
法国	1 064	21 384	20.1	62	法国国家科学研究院
意大利	831	16 366	19.7	46	意大利国家研究委员会
加拿大	792	20 170	25.5	63	多伦多大学

3.3 固态照明高频词分析

高频主题词的分析可以大致反映一个领域的热点研究特征。本文利用美国Thomson公司开发的Thomson Data Analyzer工具,对比分析了2001-2010年LED和OLED研究成果所涉及的高频主题词。表3给出了LED和OLED研究论文涉及的TOP20的主题词以及所覆盖的论文数量。其中,光致发光、电致发光、荧光、纳米结构材料及技术、电子输运及结构特征是它们共同关注的热点,OLED相关研究中还包括了以LED为基础的研究(见表3中5处标记部分)。

表3 排名前20位的LED和OLED研究高频词

排序	LED		OLED	
	TOP20 关键词	论文篇数	TOP20 关键词	论文篇数
1	LED	2 354	OLED	1 667
2	GaN/InGaN	1 336	electroluminescence	1 059
3	photoluminescence	961	fluorescence	741
4	nanostructured materials/wires/technology	813	photoluminescence	731
5	electroluminescence	791	light-emitting diodes-LED	730
6	semiconducting III-V materials	620	polymers	684
7	quantum wells/dots	606	conjugated polymers	607
8	Si/SiC/SiN	529	nanostructures materials and technology	541
9	phosphor	517	phosphorescence	340
10	ZnO	455	iridium complex	317
11	nitrides materials	449	PLED	251
12	MOCVD	424	Energy transfer	247
13	AlInP/AlInGaN/AlGaIn	358	PPV and PPV derivatives	189
14	wide band ga Psemiconductors	345	solar cells	181
15	semiconducting II-VI materials	285	optical properties	172
16	X-ray diffraction	282	electronic structure and transport	150
17	electronic structure/properties	280	silicon/silicon oxide	150
18	fluorescence	269	photovoltaic cells	134
19	semiconductor thin films	247	carrier injection and transport and recombination	130
20	molecular beam epitaxy	242	photophysics	128

3.4 固态照明多维尺度分析

多维尺度分析是一种将多维空间的研究对象(样本或变量)简化到低维空间进行定位、分析和归类,同时又保留对象间原始关系的数据分析方法。选取频次高且研究属性指向明确的关键词进行分析,并利用美国 Thomson Reuters 公司开发的 Thomson Data Analyzer 分析工具生成共词矩阵,关键词共现的次数越多,表示它们之间的关系越密切,研究主题就越接近。由于多维尺度分析的结点过于紧密而难以分辨,因此分别对 LED 和 OLED 研究相关的高频主题词结合主成分分析法进行研究热点的分析。如图 4、图 5 所示:

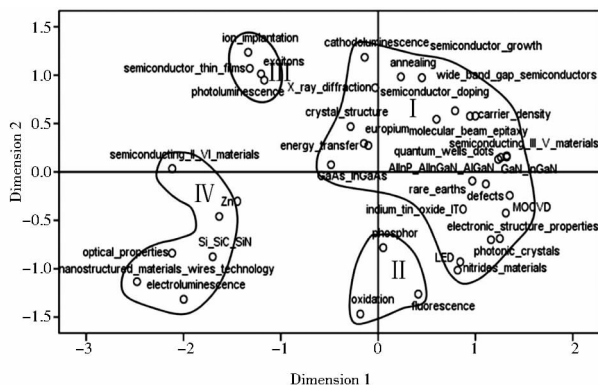


图 4 LED 研究多维尺度分析结构

3.4.1 LED 研究的 4 个热点知识单元

(1) 热点知识单元 1: 以 GaN、GaAs 基为代表的宽禁带材料的相关研究,包括半导体外延衬底材料和半导体掺杂和生长技术的研究。其热点主题包括氮化镓/镓氮(GaN InGaN)、III-V 族半导体材料(semiconducting III V materials)、铝镓磷/铝镓氮/铝镓氮(AlIn PAlInGaN AlGaN)、氮材料(nitrides materials)、宽禁带半导体(wide band gap semiconductors)、分子束外延(molecular beam epitaxy)、半导体掺杂(semiconductor doping)、半导体生长(semiconductor growth)、阴极发光(cathodoluminescence)、电结构特性(electronic structure properties)、光子晶体(photonic crystals)等方面的相关研究。

(2) 热点知识单元 2: LED 光致发光材料中荧光材料发光特性的改良及新型磷光材料研发的相关研究。其热点主题包括荧光(fluorescence)、磷光(phosphor)和氧化物(oxidation)等方面的相关研究。

(3) 热点知识单元 3: 半导体薄膜的相关研究。其热点主题包括光致发光(photoluminescence)、离子注入(ion implantation)、激子(excitons)等方面的相关研究。

(4) 热点知识单元 4: Si/SiC/SiN 和 ZnO 等第三代

半导体材料的研究。包括其光学特性及向纳米技术的延展。其热点主题包括 II-VI 族半导体材料(semiconducting II - VI materials)、氧化锌掺杂半导体材料(ZnO)、光学特性(optical properties)、光致发光(photoluminescence)及纳米材料和技术(nanostructured materials wires technology)等方面的研究。

3.4.2 OLED 研究的 4 个热点知识单元 见图 5。

(1) 热点知识单元 1: 以 LED 相关研究为基础的 OLED 的原理和材料的研究。其中热点主题包括光物理(photophysics)、铱化合物(iridium complex)和树状聚合物(dendrimers)等方面的相关研究。

(2) 热点知识单元 2: OLED 发光原理(电致发光、光致发光)以及以 ITO、PPV 及衍生物和 PAT 为代表的 OLED 新型制备材料的研究。其中热点主题包括聚合物(polymers)、电化学(electrochemistry)、共聚物(copolymerization)、密度泛函理论(DFT)、薄膜晶体管(thin film transistor)、磷光(phosphorescence)及量子效率(quantum dots/well)等方面的相关研究。

(3) 热点知识单元 3: 有机光伏太阳能材料和技术的相关研究。其中热点主题包括 OLED 光学特性(optical properties)、载流子注入、传输和重组(carrier injection and transport and recombination)、掺杂(doping)、共轭聚合物(conjugated polymers)、芴和聚芴(flourene and polyfluorene)、激子(excitons)、电荷迁移(charge transport)等方面的相关研究。

(4) 热点知识单元 4: 高分子 OLED 的制备材料、方法及发光原理的相关研究。其中热点主题包括自组装(self-assembly)、咔唑(carbazole)、能量迁移(Energy transfer)、三苯胺及其衍生物(triphenylamine and derivatives),和电结构及输运特征(electronic structure and transport)等方面的相关研究。

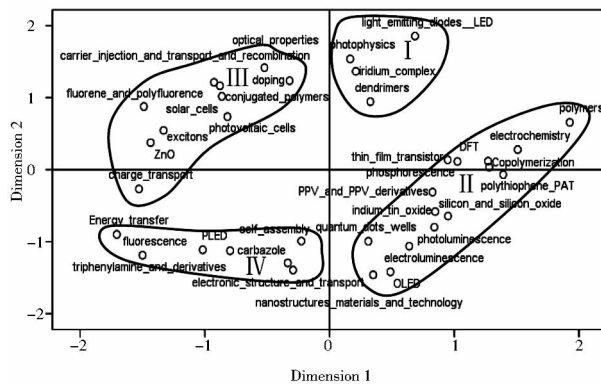


图 5 OLED 研究多维尺度分析结构

(下转第 208 页)

参考文献:

- [1] 维克托·迈尔-舍尔维恩,肯尼斯·库克耶. 大数据时代[M]: 杭州:浙江人民出版社,2013.
- [2] Snijders C, Matzat U, Reips U D. Big Data: Big gaps of knowledge in the field of Internet science [J]. International Journal of Internet Science, 2012, 7(1): 1-5.
- [3] Weiss R, Zgorzski L. Obama administration unveils 'bigdata' initiative; Announces \$200 million in new R&D investments[R/OL]. Washington D C: Office of Science and Technology Policy, Executive Office of the President, White House. [2014-07-10]. http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/big_

[data_press_release_final_2.pdf](#).

- [4] 上海推进大数据研究与发展三年行动计划(2013-2015年)[EB/OL]. [2014-07-10]. <http://www.stcsm.gov.cn/gk/ghjh/333008.htm>.
- [5] Specials Archive. Big data [EB/OL]. [2014-07-10]. <http://www.nature.com/news/specials/bigdata/index.html>.
- [6] Special Online Collection. Dealing with data [EB/OL]. [2014-07-10]. <http://www.sciencemag.org/site/special/data/>.
- [7] 马海群,吕红. 基于中文社会科学引文索引的中国情报学知识图谱分析[J]. 情报学报, 2011, 31(5): 470-478.

(上接第203页)

4 总结与讨论

2001-2010年以来,固态照明研究的两个知识子领域——LED和OLED均表现出较好的增长趋势,其中LED的年均增长率为7%,OLED为8%。LED和OLED的研究论文都集中在中国、美国、韩国、日本、德国、中国台湾、英国、法国、意大利和加拿大10个国家或地区。其中中国和中国台湾的LED和OLED研究的活跃度都超过平均活跃度,并且LED的活跃度均大于OLED的活跃度。从发表论文数量来看,中国在LED领域的研究处于世界第二梯队,而在OLED领域的研究处于世界领先地位。但是从影响力来看,中国在

LED和OLED领域的研究影响力都还有待于提升。

参考文献:

- [1] 固态照明蕴含千亿商机[EB/OL]. [2014-05-20]. <http://www.neikan.com/detail.asp?id=9118>.
- [2] 陈仕吉. 科学研究前沿探测方法综述[J]. 现代图书情报技术, 2009(9): 28-33.
- [3] Kevin W. Boyack J Y. Tsao. A recursive process for mapping and clustering technology literatures; Case study in solid-state lighting. Int[J]. Technology Transfer and Commercialisation, 2009, 8(1): 51-87.
- [4] 王吉武,黄鲁成,李剑,等. 基于文献计量分析的LED知识图谱及产业化政策[J]. 情报学报, 2009, 28(3): 443-450.