

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2015.04.005

有机太阳能电池文献发展态势分析

周秀梅¹, 万跃华²

(1. 浙江机电职业技术学院图书馆 浙江 杭州 310053; 2. 浙江工业大学图书馆 浙江 杭州 310014)

摘要: 有机太阳能电池由于价廉、质轻、柔性, 受到人们的广泛关注, 为全面了解全球科学家对有机太阳能电池的研究概况, 本文基于 Web of Science 数据库, 利用 Histcite、Bibexcel 和 Ucinet 分析工具对有机太阳能电池研究文献进行计量分析, 结果表明: 5357 篇样本文献刊载在 474 种期刊上; 共有 11325 位作者、1593 个研究机构、80 个国家或地区参与研究; 2003-2012 年是有机太阳能电池研究发展的重要时期; 有机太阳能电池研究主要集中于物理学、材料科学、化学研究等 36 个研究方向, 具有一定的跨学科性, 研究热点主要为共轭聚合物、有机太阳能电池形态和功率转换效率。在此领域, 中国成为仅次于美国的第二大科研产出国。

关键词: Web of Science, 有机太阳能电池, 被引频次, 发展态势, 文献计量

中图分类号: G25

Bibliometric Analysis of Organic Solar Cell Literature Development Trend

ZHOU Xiumei¹, WAN Yuehua²

(1.Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering, HangZhou 310053;

2.Zhejiang University of Technology, HangZhou 310014)

Abstract: People pay more attention to organic solar cells due to its low cost, light weight, flexible. For a comprehensive understanding of organic solar cells by scientists around the world, based on Web of Science,

作者简介: 1 周秀梅 女, (1984-), 硕士, 现就职于浙江机电职业技术学院图书馆, 馆员, 主要研究方向为文献计量, 已发表论文 13 篇。E-mail: 176478066@qq.com.

2 万跃华 男, 浙江工业大学图书馆, 研究馆员, 主要研究方向为 SCI 与工程材料。

this paper uses Histcite, Bibexcel and Ucinet analysis tools for bibliometric analysis. The research results are listed as the followings. The sample of 5357 articles published in 474 journals and the studies of organic solar cells involved in 11325 authors, 1593 research institutes, 80 countries or regions. The years of 2003-2012 is the important period of organic solar cells. The main research direction concentrates on physics, material science, chemical research and a total of 36 other research directions. Study of organic solar cell is interdisciplinary. Research focus is conjugated polymer, organic solar cell morphology and power conversion efficiency. In the research field of organic solar cell, China becomes the second major scientific research outputs inferior to USA.

Keyword: Web of Science,organic solar cell,cites,development trend,bibliometric

引言

能源问题是制约国际社会经济发展的首要问题^[1],开发新型清洁、环保的绿色能源是全球各界关注的热点。太阳能具有取之不尽、用之不竭、无污染之突出优点,成为解决能源危机和环境污染的重要途径,近年来被人们大量开发利用。2014年,位于加利福尼亚州东南部莫哈韦沙漠的伊万帕太阳能聚热发电站投入运营,成为目前全球最大的太阳能发电设施^[2]。中国是世界最大的太阳能光伏产品生产国,根据《中国可再生能源中长期发展规划》,到2020年,我国力争使太阳能发电装机容量达到1.8GW,到2050年将达到600GW^[3]。

人类开始太阳能的研究始于1939年法国物理学家A.E.Becquerel发现的“光伏效应”^[4],1954年美国贝尔实验室研制出第一块单晶硅太阳能电池^[5],揭开了太阳能电池商业化研究的序幕,自此,单晶硅、多晶硅和非晶硅以及硫化镉等无机太阳能电池占据了太阳能电池市场的主要地位。然而,它们因制作工艺复杂、成本高^[6]、在制造过程中带来严重环境污染^[7]等缺点而限制了无机太阳能电池的大规模推广应用。1958年美国

加利福尼亚大学的David Kearns和Melvin Calvin报道的镁酞菁(MgPh)光伏器件可产生200mV的电压^[8],标志着有机太阳能电池的出现。有机太阳能电池由于有机化合物的种类繁多^[9],分子的化学结构容易修饰^[10],化合物的制备、提纯和生产工艺简单^[11-12],生产成本低廉且易于大规模推广^[13],显示出巨大的开发潜力,引起国内外科学家的极大兴趣,成为近些年来世界各国重点高校和科研单位的研究热点。

随着研究的深入和不断被发现,人们对有机太阳能电池的研究兴趣与日俱增,研究文献迅速增长,研究范围也不断扩大,并出现了较多的有机太阳能电池研究的总结性文献^[14-16]。文献计量学根据文献的各种数量特征,采用数学和统计学的方法来描述、评价与预测科学技术的现状与发展趋势,在许多学科的研究中得到广泛应用,如太阳能电池^[17]、聚合物太阳能电池^[18]、绿色科技^[19]、纳米技术^[20]、生态研究^[21]等领域均有相关研究文献进行计量分析和报道,因此,本文以Web of Science数据库为文献来源,对有机太阳能电池文献进行计量分析,以系统总结国际上有机太阳能电池研究领域的整体研究状况,把握研究热点趋势,为今后的相关研究提供参考依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

Web of Science 是大型综合性、多学科、核心期刊引文索引数据库,收录有全球范围内最有影响、经过同行专家评审的优质学术资源,本文选用其中的科学引文索引(SCI)作为样本数据来源,以保证样本数据的质量与权威,并将主题限定在有机太阳能电池内,即检索式为主题:“Organic Solar Cell*”,检索日期截止到2015年2月14日,最后获得样本数据5357条。

在检索到的关于有机太阳能电池的所有样本记录中共有9种文献类型,分别是学术论文4993篇(包括会议论文263篇,丛书6篇),综述238篇,会议摘要64篇,社论21篇,新闻20篇,更正19篇,通讯2篇。检索到的文献98.77%为英文文献。

1.2 研究方法

本文使用文献计量学方法,利用Web of Science 检索结果分析工具定量统计有机太阳能电池研究在SCI数据库的出版年份、发文期刊、发文作者、机构、国家/地区、基金资助机构、研究方向等信息,同时利用引文编年可视化软件

Histcite,根据时间先后顺序绘制引文编年图,以此方式揭示出有机太阳能电池研究的发展历程与引文规律^[22],然后通过Bibexcel软件对关键词进行频次分析和排序,实现知识单元的共现关系矩阵^[23],将产生的共现数据存入Excel表格中,最后借助社会网络分析软件Ucinet可视化软件中的Netdraw工具^[24]对关键词进行引文共现分析得出有机太阳能电池研究热点问题的可视化分析,从而探析近年来有机太阳能电池研究的发展态势。

2 研究结果与分析

2.1 研究文献的发文时间与核心期刊分布分析

2.1.1 发文时间分析

对5357篇有机太阳能电池的研究文献出版年统计表明,在2000年前,有机太阳能电池研究文献非常之少,平均每年有关文献不足5篇,从1976年出版的最早一篇文献^[25]到2000年25年间,SCI-EXPANDED数据库中发表的有机太阳能电池文献呈低速波动增长态势(见图1)。2001年以后,有机太阳能电池研究文献从当年的14篇跃居到2014年1168篇,文献数量持续稳定向上快速增长了83.43倍,呈光滑的直线上

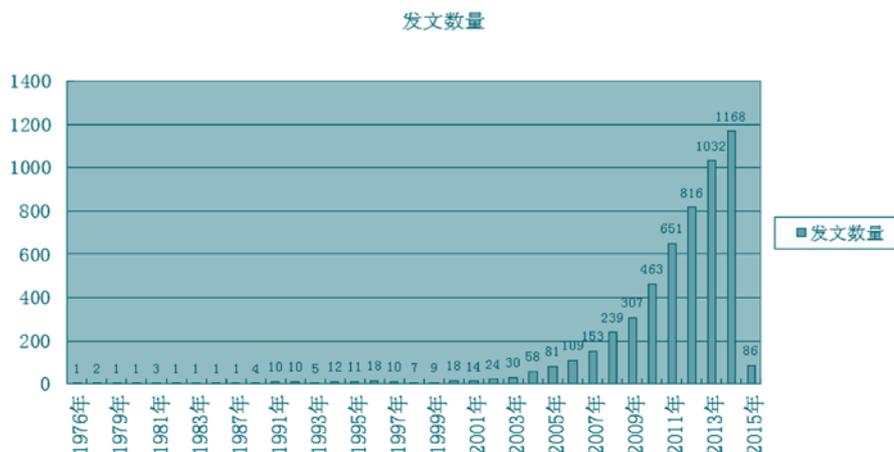


图1 有机太阳能电池出版年分布

涨态势，这说明近 15 年是有机太阳能电池研究发展的快速阶段，并在最近几年逐渐成为业界热门的研究主题。

2.1.2 核心期刊分布分析

样本记录主要来源于 474 种来源出版物（包括丛书），平均载文 11.30 篇。其中排名前 20 的来源出版物上刊载有机太阳能电池文献 2934 篇，占样本总数的 54.77%，即一半以上的有机太阳能电池文献来源于这 20 种核心出版物，其中 SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS 发文 525 篇（见表 1），占样本总数的 9.8%。有机太阳能电池研究文献的分布符合文献的集中分散规律，有机太阳能电池研究领域大部分文献相对集中在少数期刊上，而剩余的文献则依次分散在其他大量的相关期刊上^[26]。统计的核心期刊信息，对有机太阳能电池的研究人员快速了解该领域主要研究成果及其有针对性地投稿具有参考价值。

2.2 核心作者、机构与国家 / 地区分析

2.2.1 核心作者分析

按照普赖斯理论，发表论文数为 m 篇以上的作者是杰出科学家即核心作者，其中 $m=0.749(n_{\max})^{1/2}$ ， n_{\max} 为发文量最多作者的发文篇数，

由表 2 可得 $n_{\max}=121$ ，则 $m=0.749(121)^{1/2}$ ，计算得出 $m=8.239$ ，即在有机太阳能电池领域核心作者发文均在 8 篇以上，经统计，发文在 8 篇以上的作者超过 500 余人，说明国际上关于有机太阳能电池的研究非常活跃，核心作者发文篇数超过样本总篇数，作者之间的合作较频繁。

在核心作者群体中，发文量前 10 的核心作者见表 2，他们主要来自一些国际重点大学和科研院所。德国德累斯顿工业大学的 LEO K 发文数量最多，其文献被引频次为 3607 次，与德国埃尔朗根—纽伦堡大学 BRABEC CJ 和丹麦技术大学 KREBS FC 的社会影响力相当，但 3 人的论文被引频次均与发文数量排名第 2 的 SARICIFTCI NS 有明显差距。SARICIFTCI NS 来自奥地利林茨大学，其迄今为止发表有机太阳能电池文献 80 篇，他发表的三篇文献 *Conjugated polymer-based organic solar cells*^[27]、*Effects of postproduction treatment on plastic solar cells*^[28]、*Organic solar cells: an overview*^[29] 被引频次均有上千次，成为业内经典文献，说明 SARICIFTCI NS 是有机太阳能电池学术领域的泰斗，其文献得到广大同行的认可与关注。

H 指数（H-index）是将论文数量和论文质量相结合的用于量化科研人员学术成就的重要计

表 1 有机太阳能电池排名前 10 的核心期刊

序号	核心期刊名称	期刊影响因子	刊载文献数	占总文献之比
1	SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS	5.030	525	9.8%
2	APPLIED PHYSICS LETTERS	3.515	324	6.048%
3	ORGANIC ELECTRONICS	3.676	281	5.245%
4	JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY C	4.835	185	3.453%
5	THIN SOLID FILMS	1.867	152	2.837%
6	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	2.185	151	2.819%
7	ADVANCED MATERIALS	15.409	131	2.445%
8	ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS	10.439	130	2.427%
9	ADVANCED ENERGY MATERIALS	14.385	129	2.408%
10	ACS APPLIED MATERIALS INTERFACES	5.900	126	2.352%

表2 有机太阳能电池发文量前10的核心作者

序号	作者	作者机构	发文篇数	被引频次总计	每项平均引用次数	H指数	单篇文章最高被引用次数
1	LEO K	Tech Univ Dresden	121	3607	29.81	32	227
2	SARICIFTCI NS	Johannes Kepler Univ Linz	80	9828	122.85	35	2954
3	BRABEC CJ	Univ Erlangen Nurnberg	76	3864	50.84	32	503
4	RIEDE M	Tech Univ Dresden	68	1838	27.03	22	183
5	KREBS FC	Tech Univ Denmark	63	4082	64.79	23	1006
6	NA SI	Chonbuk Natl Univ	60	1881	31.35	22	315
7	KIM HK	Kyung Hee Univ	59	818	13.86	17	91
8	LI YF	Chinese Acad Sci	55	1877	34.13	24	276
9	LEE S	MIT	51	601	11.78	13	60
10	KIM J	Korea Inst Machinery & Mat	50	600	12	12	114

量指标,一位科学家的h指数越高,则表明他的论文影响力越大。与LEO K同单位的RIEDE M发文68篇,其H指数为22,与韩国全北大学NA SI和中国科学院李永舫院士相当。在前10的核心作者中,韩国庆熙大学KIM HK、全北大学NA SI、韩国机械与材料研究院KIM J发文数量和H指数都较高,说明韩国关于有机太阳能电池的研究有一定的影响力。

2.2.2 机构分析

排名前20的机构发文总数为1648篇,占样本数据的30%。在排名前20的高产机构中,中国科学院对有机太阳能电池的研究最为丰富,中国

进前20的机构还有吉林大学,排名第16;德国的累斯顿工业大学排名第2,埃尔朗根-纽伦堡大学排名第11;英国仅有伦敦帝国理工学院,排名第3;韩国进前20的机构为庆熙大学、首尔大学、全北大学;中国台湾地区进前20的机构为国立台湾大学、国立交通大学、国立清华大学;美国进前20的机构为加利福尼亚大学圣塔芭芭拉分校、斯坦福大学、佐治亚理工学院。其他国家,如日本、奥地利、比利时、丹麦、新加坡等均只有一所机构进前20。

因篇幅关系,本文仅列举排名前10的机构(见表3)。

表3 有机太阳能电池排名前10的机构

序号	机构	发文数	占总文献比	机构中文名称	国家和地区
1	CHINESE ACAD SCI	230	4.293%	中国科学院	中国
2	TECH UNIV DRESDEN	135	2.52%	德累斯顿工业大学	德国
3	UNIV LONDON IMPERIAL COLL SCI TECHNOL MED	112	2.091%	伦敦帝国理工学院	英国
4	KYUNG HEE UNIV	108	2.016%	庆熙大学	韩国
5	NATL TAIWAN UNIV	87	1.624%	国立台湾大学	中国台湾
6	OSAKA UNIV	85	1.587%	大阪大学	日本
7	UNIV CALIF SANTA BARBARA	80	1.493%	加利福尼亚大学圣塔芭芭拉分校	美国
8	JOHANNES KEPLER UNIV LINZ	73	1.363%	林茨大学	奥地利
9	NATL CHIAO TUNG UNIV	68	1.269%	国立交通大学	中国台湾
10	UNIV ERLANGEN NURNBERG	67	1.251%	埃尔朗根-纽伦堡大学	德国

2.2.3 国家 / 地区分析

共有 80 个国家或地区参与有机太阳能电池研究，其中发文 100 篇以上的国家 / 地区有 17 个，表 4 列举排名前 10 的国家与地区，表中可见，美国、中国和德国发文数量总和占样本数据的 50%。其中，美国发文量最多，H 指数也最大，说明其科研成果在国际上得到广泛认可，其中，由 Peumans, P、Yakimov, A、Forrest 合著的文献 *Small molecular weight organic thin-film photodetectors and solar cells*^[30] 被引次数达到 1585 次。

英国发文量虽仅 247 篇，但其平均被引次数却高于发文量排名第一的美国，平均每篇文献引

用次数在所有国家中最高，达到 35.21 次，这说明英国的科研成果质量较高，普遍得到国际认可。

我国虽在有机太阳能电池方面的研究文献产出世界排名第二，但 H 指数却远远低于排名第一的美国，甚至比数量排名第三的德国还相差近 25%，平均每篇文献引用次数仅有 13.56 次。

排名前 10 的国家及地区中，中国、韩国、日本、中国台湾、印度 5 个亚洲国家或地区平均被引次数较低，英国、美国、德国、法国等欧美国家平均引用次数较高，这说明亚洲国家虽然在文献数量上有了飞速增长，但在国际认可度上还有很大的提升空间。

表 4 有机太阳能电池排名前 10 的国家 / 地区

序号	国家 / 地区	发文数	被引频次总计	平均引用次数	H 指数	最高被引次数
1	USA	1133	36318	32.05	92	1585
2	PEOPLES R CHINA	867	11754	13.56	53	367
3	GERMANY	703	21771	30.97	75	568
4	SOUTH KOREA	674	8014	11.89	40	326
5	JAPAN	524	9621	18.36	45	347
6	FRANCE	281	6811	24.24	42	383
7	ENGLAND	251	8838	35.21	49	626
8	TAIWAN CHINA	247	4086	16.54	27	1490
9	INDIA	159	1647	10.36	22	154
10	CANADA	154	2851	18.51	26	434

2.3 基金资助机构分析

样本文献得到世界各国 4047 个基金的大力资助，平均每 4 篇文献就有 3 篇获得基金资助。表 5 为资助最多的前 10 个基金资助机构，中、美、韩三国对有机太阳能电池研究资助最为丰富。其中，中国国家自然科学基金资助最多，有 462 篇文献获得资助，有机太阳能电池研究还获得中国科学院、中国高校基本科研业务费专项基金等我国高级别基金资助，说明有机太阳能电池研究得到我国的高度重视和支持，国家加大对光伏技术研发和产业的支持，这是有机太阳能电池研究产

出大量学术文献的重要原因。

2.4 研究文献被引频次的可视化分析

样本记录的被引频次达 126105 次，每项平均引用次数为 23.54，H 指数为 140，这 140 篇文章可作为我们了解有机太阳能电池研究的重点文献。

然而，仅按被引频次排序并不足以了解有机太阳能电池研究文献中最重要的文献及文献之间的关系，为更详细了解重点文献间的发展传承关系，本文将 5357 条样本文献的纯文本文件导入 Histcite，生成有机太阳能电池文献被引频次表，表 6 为排名前 10 的文献被引频次表，表中文献按

表5 有机太阳能电池排名前10的基金资助机构

序号	基金资助机构	基金资助机构中文译名	国家	发文数	占总文献比
1	NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA(NSFC)	国家自然科学基金	中国	462	8.62%
2	NATIONAL SCIENCE FOUNDATION(NSF)	国家科学基金	美国	306	5.71%
3	DEUTSCHE FORSCHUNGS GEMEINSCHAFT(DFG)	德国研究协会	德国	156	2.91%
4	MINISTRY OF EDUCATION SCIENCE AND TECHNOLOGY(MEST)	教育科学技术部	韩国	105	1.96%
5	NATIONAL RESEARCH FOUNDATION OF KOREA(NRF)	韩国国家研究基金会	韩国	90	1.68%
6	OFFICE OF NAVAL RESEARCH(ONR)	海军研究局	美国	86	1.61%
7	U S DEPARTMENT OF ENERGY OFFICE OF SCIENCE OFFICE OF BASIC ENERGY SCIENCES	美国能源部科学办公室 基础能源科学学院	美国	84	1.57%
8	CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	中国科学院	中国	80	1.49%
9	ENGINEERING AND PHYSICAL SCIENCES RESEARCH COUNCIL(EPSCRC)	英国工程和自然科学研究委员会	英国	69	1.29%
10	FUNDAMENTAL RESEARCH FUNDS FOR THE CENTRAL UNIVERSITIES	中央高校基本科研业务 费专项资金	中国	67	1.25%

LCS 频次高低进行排名, LCS 为本地引用次数, LCS 值高意味着这篇文章是此研究领域内的重要文献, 即开创性文章^[31], 序号为1 编号为487 的文章 *Conjugated polymer-based organic solar cells* 被引频次 (GCS) 为2954 次^[27], 在有机太阳能电

池数据集里的被引频次 (LCS) 为751, 是有机太阳能电池领域最为重要的文献。

为直观展示有机太阳能电池数据集内高被引文献之间的关系, 本文利用 Histcite 工具的 Graph Maker 功能, 选取当前数据库中 LCS 最高的30篇

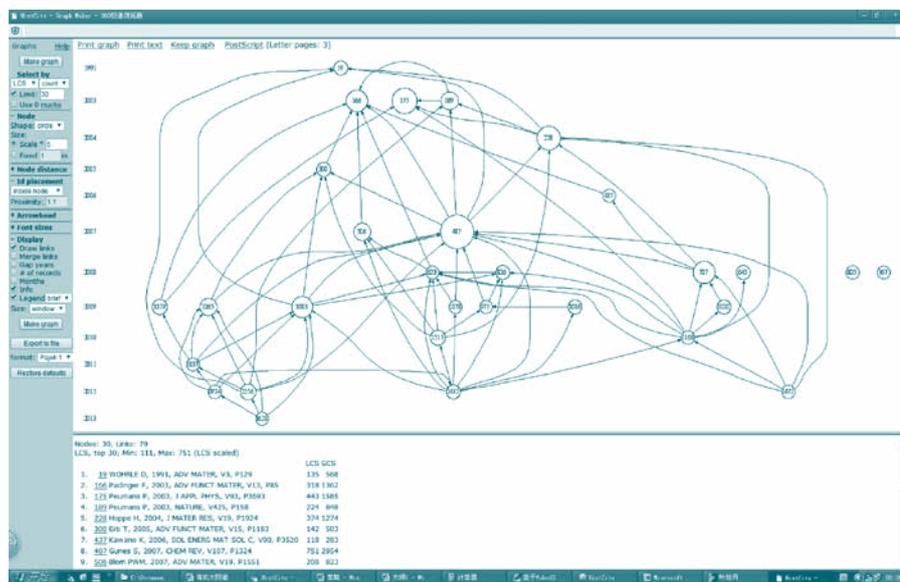


图3 有机太阳能电池文献被引频次的可视化分析

注: 图中左列数字 (1991-2013) 表示年份; 带圈的数字表示文献编号。

表 6 排名前 10 的有机太阳能电池研究文献被引频次表

序号	文献	LCS	GCS
1	(487) Gunes S, Neugebauer H, Sariciftci NS; Conjugated polymer-based organic solar cells; CHEMICAL REVIEWS. 2007 APR; 107 (4): 1324-1338	751	2954
2	(175) Peumans P, Yakimov A, Forrest SR; Small molecular weight organic thin-film photodetectors and solar cells; JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. 2003 APR 1; 93 (7): 3693-3723	443	1585
3	(228) Hoppe H, Sariciftci NS; Organic solar cells: An overview; JOURNAL OF MATERIALS RESEARCH. 2004 JUL; 19 (7): 1924-1945	374	1274
4	(707) Jorgensen M, Norrman K, Krebs FC; Stability/degradation of polymer solar cells; SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS. 2008 JUL; 92 (7): 686-714	343	1006
5	(166) Padinger F, Rittberger RS, Sariciftci NS; Effects of postproduction treatment on plastic solar cells; ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS. 2003 JAN; 13 (1): 85-88	318	1362
6	(1083) Cheng YJ, Yang SH, Hsu CS; Synthesis of Conjugated Polymers for Organic Solar Cell Applications CHEMICAL REVIEWS. 2009 NOV; 109 (11): 5868-5923	298	1490
7	(189) Peumans P, Uchida S, Forrest SR; Efficient bulk heterojunction photovoltaic cells using small-molecular-weight organic thin films; NATURE. 2003 SEP 11; 425 (6954): 158-162	224	848
8	(1065) Walker B, Tomayo AB, Dang XD, Zalar P, Seo JH, et al.; Nanoscale Phase Separation and High Photovoltaic Efficiency in Solution-Processed, Small-Molecule Bulk Heterojunction Solar Cells; ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS. 2009 OCT 9; 19 (19): 3063-3069	209	488
9	(506) Blom PWM, Mihailetchi VD, Koster LJA, Markov DE; Device physics of polymer : fullerene bulk heterojunction solar cells; ADVANCED MATERIALS. 2007 JUN 18; 19 (12): 1551-1566	208	823
10	(2256) Mishra A, Bauerle P; Small Molecule Organic Semiconductors on the Move: Promises for Future Solar Energy Technology; ANGEWANDTE CHEMIE-INTERNATIONAL EDITION. 2012; 51 (9): 2020-2067	182	436

注：表中的括号中的数字为文献编号。

GCS (GCS=global citation score, 总引用次数：WOS 上看到的引用次数)

LCS (LCS=local citation score, 本地引用次数：某篇文献在在当前数据集中被引用的次数)

文献进行可视化分析，得到高被引文献间的关系图表（见图 3）。图中圆圈越大表示该文献被引频次越高，带箭头的连线代表文献之间的引用关系，箭头指向的文献是被引文献。图 3 进一步说明，第 487 篇文献^[27]在有机太阳能电池研究中具有重要地位，此文在此领域堪称经典之作，值得阅读和参考。从图 3 左侧年份分布可知，2003-2012 年 10 年间是有机太阳能电池研究发展的重要时期，其中，2009 年发表重要文献 7 篇，是十

年间出产重要文献最多的一年，是有机太阳能电池研究最活跃时期。

2.5 有机太阳能电池研究方向和热点分析

2.5.1 研究方向分析

有机太阳能电池研究共有 36 个研究方向，排名前 10 的研究方向主要为物理学、材料科学、化学、科学技术其他主题、能源燃料、高分子科学、工程学、光学、晶体学、环境科学生态学（见图 4），

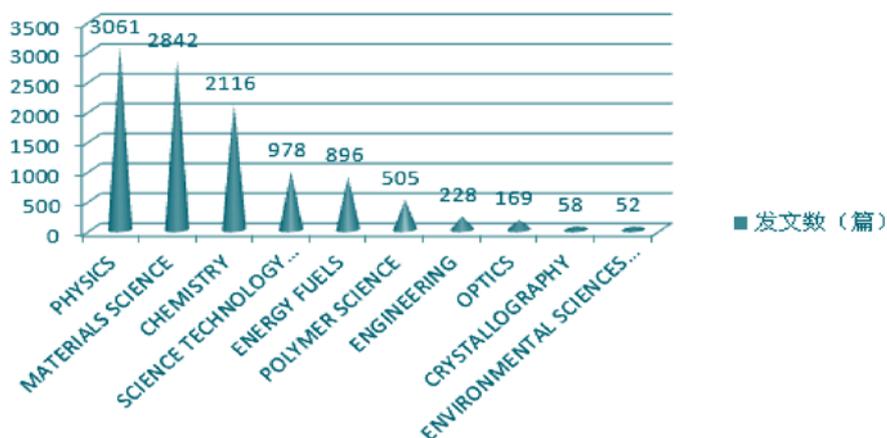


图4 有机太阳能电池排名前10的研究方向分布

其中，物理学、材料科学、化学研究方向所占比例最大，说明有机太阳能电池主要集中于这3个研究方向。其次，科学技术其他主题、能源燃料也有相当篇幅涉及，高分子科学也有少部分文献，说明关于有机太阳能电池研究是一个高度集中于物理、材料、化学并相对分散于能源、高分子、晶体学等相关方向的跨学科研究主题。

2.5.2 研究热点分析

关键词是表述文献主题、内容、思路以及研究方法的关键性词汇，是文献计量研究的重要指标，关键词词频越高，说明这一主题词受关注度

越高，可代表此领域的研究热点。本文将 Web of Science 中导出的 txt 文件导入 Bibexcel，生成只包含关键词信息的 out 文件，样本文献中共有 5295 个关键词，将 out 文件转换为 cit 文件后，得到相应的关键词频率分布表，表 7 为词频在 50 次以上的高频关键词。有机太阳能电池研究主要集中在有机太阳能电池的结构、材料和形态研究等方面，如关于本体异质结 (bulk heterojunction) 文献 179 篇，共轭聚合物 (conjugated polymers) 文献 162 篇，富勒烯 (Fullerene) 文献 163 篇，P3HT 文献 68 篇、PCBM 文献 61 篇、Thin films (薄膜) 文献 59 篇，

表7 有机太阳能电池文献的高频关键词分布表

序号	词频	关键词	序号	词频	关键词
1	850	Organic solar cells	12	77	photovoltaics
2	468	organic solar cell	13	72	Polymer solar cells
3	208	solar cells	14	68	P3HT
4	179	bulk heterojunction	15	63	stability
5	162	conjugated polymers	16	61	PCBM
6	160	Organic photovoltaics	17	59	Thin films
7	106	Morphology	18	57	degradation
8	85	Solar cell	19	57	Power conversion efficiency
9	82	Fullerene	20	54	Organic electronics
10	81	organic semiconductors	21	53	Photovoltaic
11	81	fullerenes			

另外，关于有机太阳能电池的稳定性和功率转换效率也是此研究领域的重点。

将表 7 中的高频关键词进行共现分析，得到高频关键词共现全矩阵，把矩阵中的数据拷贝到 xls 文件，将 xls 文件导入到 UCINET 软件，利用工具 Netdraw 的中心性测量分析功能，选择 Betweenness，得到了高频关键词共现网络知识图谱（见图 6）。特征向量中心性是社会网络分析法确定核心要素的重要指标，对关键词进行特征向量中心性分析，可较为准确地反映出某个关键词在整个网络中的地位，方便地确定研究领域的前沿和核心主题。^[20] 图 6 为中介中心性分析得到的结果，节点的大小表示中心性，节点图标越大说明此高频关键词节点在整个网络中的决定性作用越大，对其他关键词的控制能力越强。图 6 可见，共轭聚合物（conjugated polymers）、形态（Morphology）、功率转换效率（Power conversion efficiency）是有机太阳能电池研究领域

的热点与趋势。

3 结论

纵观有机太阳能电池研究文献的发展态势，本文得出以下结论：

- (1) 2000 年前，有机太阳能电池文献较少，呈低速波动增长趋势，2001 年后，文献数量急剧增长，并不断拓宽研究范围和方向。2003-2012 年 10 年间是有机太阳能电池研究发展的重要时期，2009 年是有机太阳能电池研究最活跃的一年。
- (2) 有机太阳能电池文献分布复合文献的集中分散规律，近一半的文献分布在 20 种高产出出版物上，方便相关研究人员查找相关文献及投稿。
- (3) 有机太阳能电池研究已形成一批庞大的核心作者群，研究正相对成熟和完善。美国 and 德国相关作者和机构对有机太阳能电池有较深入的研究，我国在有机太阳能电池研究方面得到国家

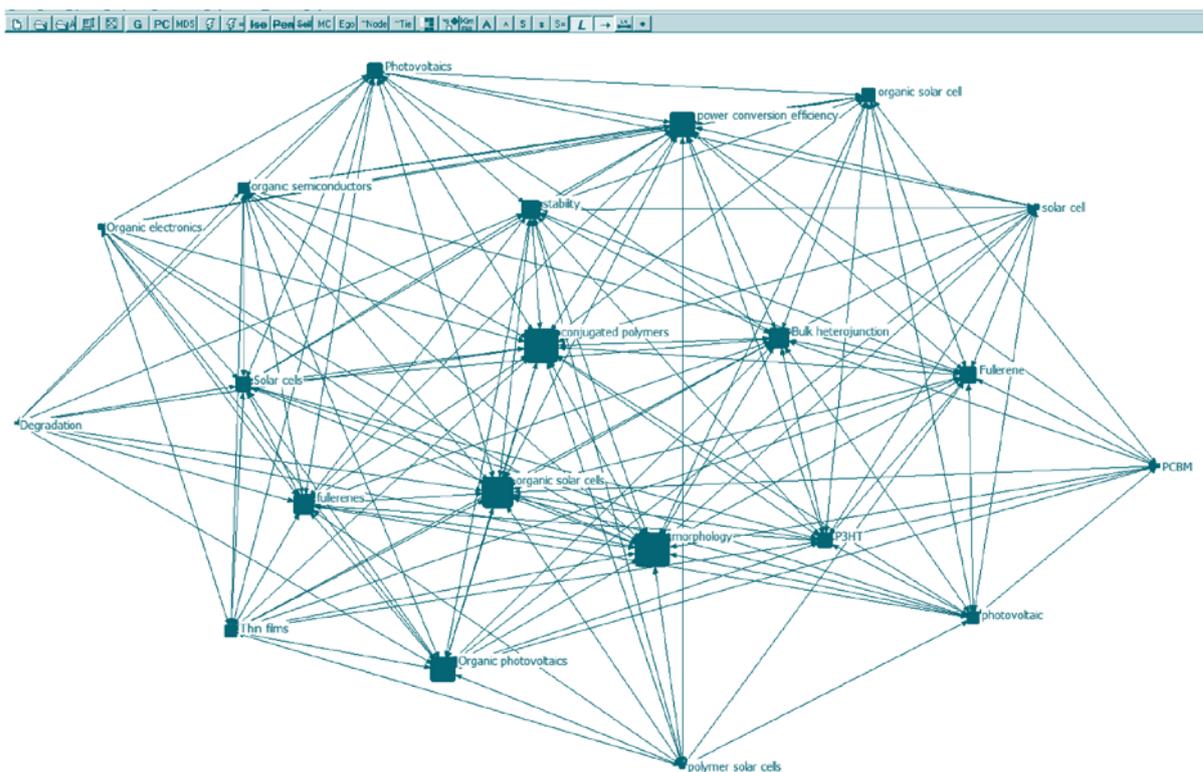


图 5 有机太阳能电池文献高频关键词共现网络图谱

自然科学基金多项资助,成为仅次于美国的第二大科研产出国,但在文献被引频次及H指数上稍低,中国科学家还需努力提高国际影响力。

(4)通过文献被引频次分析和研究展历程得知, *Conjugated polymer-based organic solar cells*^[23]等10篇文章可作为有机太阳能电池研究的经典文献阅读。

(5)通过研究方向与热点分析得知,有机太阳能电池研究具有一定的跨学科性,主要集中在物理学、材料科学、化学研究3个方向,研究热点主要为共轭聚合物、有机太阳能电池形态和功率转换效率。

参考文献

[1]SMALLEY R. Top ten problems of humanity for next 50 years, Professor RE Smalley[C] // Energy & NanoTechnology Conference. Rice University, 2003.

[2]NRG Energy, Inc. World' s Largest Solar Thermal Power Project at Ivanpah Achieves Commercial Operation [EB/OL] [2014-02-13]. <http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=121544&p=irol-newsArticleNRG&ID=1899656>

[3]中华人民共和国国家发展和改革委员会. 可再生能源中长期发展规划 [EB/OL] [2015-03-11]. http://www.china.com.cn/policy/txt/2007-09/04/content_8800358.htm

[4] GOETZBERGER A, LUTHER J, WILLEKE G. Solar cells: past, present, future [J]. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2002, 74(1-4): 1-11

[5]CHAPIN D, FULLER C, PEARSON G. A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power[J]. *Journal of Applied Physics*, 1954(25):676-677.

[6] 於黄忠. 有机共混结构叠层太阳能电池的研究进展 [J]. *物理学报*, 2013(2):9-17.

[7] 叶怀英, 李文, 李维实. 有机太阳能电池用聚合物给体材料的研究进展 [J]. *有机化学*, 2012(2):266-283.

[8]KEARNS D, CALVIN M. Photovoltaic Effect and Photoconductivity in Laminated Organic Systems[J]. *The Journal of Chemical Physics*, 1958, 29(4):950-951.

[9]Chen, J., Cao, Y.. Development of novel conjugated donor polymers for high-efficiency bulk-heterojunction photovoltaic devices[J]. *Accounts of Chemical Research*, 2009, 42(11):1709-1718.

[10]YANG Y, WUDL F. Organic electronics: from materials to devices [J]. *Advanced Materials*, 2009, 21(14-15):1401-1403.

[11]CHENG Y, HSIEH C, HE Y, et al. Combination of indene-C60 bis-adduct and cross-linked fullerene interlayer leading to highly efficient inverted polymer solar cells[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2010, 132(49):17381-17383.

[12]HEEGER A. Semiconducting polymers: the third generation[J]. *Chemical Society Reviews*, 2010, 39(7):2354-2371.

[13]YU H. Self-organization effect in poly(3-hexylthiophene): methanofullerenes solar cells[J]. *Chinese Physics B*, 2008, 17(8):3143-3148.

[14]Cheng, Y.-J., Yang, S.-H., Hsu, C.-S.. Synthesis of conjugated polymers for organic solar cell applications[J]. *Chemical Reviews*, 2009, 109(11):5868-5923.

[15]Clarke, T. M., Durrant, J. R.. Charge Photogeneration in Organic Solar Cells.[J] *Chemical Reviews*, 2010, 110:6736-6767.

[16]Brédas, J.-L., Norton, J. E., Cornil, J., Coropceanu, V.. Molecular understanding of organic solar cells: the challenges[J].*Accounts of Chemical Research*, 2009, 42(11):1691-1699.

[17]DONG B S, XU G Q, LUO X, et al. A bibliometric analysis of solar power research from 1991 to 2010[J]. *Scientometrics*, 2012, 93(3): 1101-1117.

[18]PRATHAP G. A three-dimensional bibliometric evaluation of research in polymer solar cells[J]. *Scientometrics*, 2014, 101(1): 889-898.

- [19]SUOMINEN A. Phases of growth in a green tech research network: a bibliometric evaluation of fuel cell technology from 1991 to 2010[J]. *Scientometrics*, 2014, 100(1): 51-72.
- [20]Munoz-Sandoval, E. Trends in nanoscience, nanotechnology, and carbon nanotubes: a bibliometric approach[J]. *Journal of Nanoparticle Research*, 2013, 16(1).
- [21]Kumar, L; Khormi, HM .Landscape of ecological research in Australia: A bibliometric analysis of trends in research output and hotspots of research from 1991 to 2010[J]. *Austral Ecology*, 2013, 38(5): 599-608.
- [22]李运景, 侯汉清, 裴新涌. 引文编年可视化软件 HistCite 介绍与评价 [J]. *图书情报工作*, 2006(12):135-138.
- [23]Bosire Onyancha, O.. Growth, productivity, and scientific impact of sources of HIV/AIDS research information, with a focus on eastern and southern Africa[J]. *African journal of AIDS research*, 2008, 7(1):55-70.
- [24]姜春林, 陈玉光. CSSCI 数据导入 Bibexcel 实现共现矩阵的方法及实证研究 [J]. *图书馆杂志*, 2010(4):58-63.
- [25]MERRITT V, HOVEL H. Organic solar cells of hydroxy squarylium[J]. *Applied Physics Letters*, 1976, 29(7):414-415.
- [26]袁顺波, 董文鸳. 新世纪图书情报界图像检索研究总况探析——LISA 数据库收录文献计量分析 [J]. *图书情报工作*, 2005(9):42-45.
- [27]GUNES S, NEUGEBAUER H, SARICIFTCI N S. Conjugated polymer-based organic solar cells[J]. *Chemical Reviews*, 2007, 107(4):1324-1338.
- [28]PADINGER F, RITTBERGER R S, SARICIFTCI N S. Effects of postproduction treatment on plastic solar cells[J]. *Advanced Functional Materials*, 2003, 13(1):85-88.
- [29]HOPPE H, SARICIFTCI N S. Organic solar cells: An overview[J]. *Journal of Materials Research*, 2004, 19(7):1924-1945.
- [30]PEUMANS P, YAKIMOV A, FORREST S R. Small molecular weight organic thin-film photodetectors and solar cells[J]. *Journal of Applied Physics*, 2003, 93(7):3693-3723.
- [31]张国海. 信息检索可视化研究发展规律探析 [J]. *图书情报工作*, 2011(14):42-45.