

金属有机化学的发展及应用浅析

张 伟¹, 王渝强^{1*}, 杨俊泽², 何子晨³, 曾庆洪¹

¹重庆三峡学院, 重庆

²南昌职业大学, 江西 南昌

³华侨大学, 福建 厦门

收稿日期: 2022年8月7日; 录用日期: 2022年9月7日; 发布日期: 2022年9月14日

摘 要

随着当今国内科技水平的飞速发展, 金属有机化学作为一门新兴学科, 在实践当中越来越被重视, 它突破了有机化学与无机化学的限制, 将许多学科结合起来, 形成了一个新的研究热点。目前, 越来越多的高校开设了相关的课程, 这也足以可见我国需要这种综合新型人才, 本文将从金属有机化学的基本知识出发, 对金属有机化学和有机化合物的有关知识进行了细致的阐述, 并针对金属有机化学的发展状况进行了简要的介绍, 最后对金属有机化学在各个领域的应用进行了深入的探讨和研究。

关键词

金属有机化学, 发展, 应用分析

Brief Analysis of the Development and Application of Metalorganic Chemistry

Wei Zhang¹, Yuqiang Wang^{1*}, Junze Yang², Zichen He³, Qinghong Zeng¹

¹Chongqing Three Gorges University, Chongqing

²Nanchang Vocational University, Nanchang Jiangxi

³Huaqiao University, Xiamen Fujian

Received: Aug. 7th, 2022; accepted: Sep. 7th, 2022; published: Sep. 14th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 张伟, 王渝强, 杨俊泽, 何子晨, 曾庆洪. 金属有机化学的发展及应用浅析[J]. 自然科学, 2022, 10(5): 767-773. DOI: 10.12677/ojns.2022.105088

Abstract

With the high-speed development of science and technology level in China, metal-organic chemistry, as a new discipline, and more and more attention has been paid to it in practice. It breaks through the limitations of organic chemistry and inorganic chemistry and combines many disciplines to form a new research hotspot. At present, more and more colleges and universities set up relevant courses, it is enough to visible need this comprehensive new talent in our country, this article will start from the basic knowledge of metal organic chemistry, the metal on the knowledge of organic chemistry and organic compounds, has carried on the detailed elaboration, and focused on the development of metal organic chemistry was introduced in brief, Finally, the application of organometallic chemistry in various fields was discussed and studied in depth.

Keywords

Organometallic Chemistry, Development, Application Analysis

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

如今, 中国的经济发展和科技水平在全球有着不可替代的地位, 金属有机化学与人类的日常生活有着密切的关联, 金属有机化学技术的进步将为人类的在各个领域的发展提供更加完备的工具和条件。因此, 对金属有机化学的组成、种类和发展过程进行深入的了解, 并提出今后金属有机化学的发展方向, 把理论与实际结合起来, 才能使金属有机化学的研究水平不断得到提高。本次文章旨在分析金属有机化学的发展与应用, 促进金属有机化学整个行业的发展。

2. 简述金属有机化学

2.1. 金属有机化合物的组成

金属有机化合物一般是指中心碳原子和金属元素之间, 因为各个有机物之间发生化学反应而产生的一种有机化合物, 氧原子和金属原子共同构成了金属有机化合物。

如今在市面上出现的金属有机物试剂有我们所熟知的叔丁醇钾、MOCVD 等, 但是试剂和原子等化学化合物都不能和金属化合物等同为一个含义, 而且通常情况下, 在广义上看, 金属有机化学并非只是简简单单指金属和有机物结合, 而是非金属元素在这个过程中体现出了具有金属的特性。在实际发展过程中, 我们也发现使用金属有机化合物的领域往往超过了一般有机化合物。同时, 我们又发现元素有机化学与金属有机化学具有相似的共性, 所以我们由此可知对于金属有机化学的研究是以元素有机化学为基础展开的。

2.2. 金属有机化学的研究分类

2.2.1. 金属有机化合物的性质及合成方法

我国研究金属有机化学的性质和特点采用的方法多种多样。对于金属有机化学而言, 不论是物理性

质还是化学性质，都能够展示出金属有机化合物与元素有机化合物的不同。现目前，我国对于金属有机化学的研究大多应用于国内的高分子材料。

2.2.2. 探究金属有机合成化学

通过利用多种研究方法对金属有机化合物的合成进行了研究，其中包括了金属有机化合物，以及通过其它几种途径获取的有机化合物，其核心思想就是探究金属有机化合物在有机合成中的规律和作用。金属有机化学这个行业是由多个学科相互融合而成的一种行业，综合了无机化学、物理化学、分析化学、高分子化学、有机化学等多个学科的内容。同时，在非对称有机合成方面、材料应用方面，金属有机化合物有着非常重要的地位，对当今化学领域的研究具有十分重要的价值和意义。

3. 我国金属有机化学研究进程

我国在二十世纪六十年代初，才开始研究和探讨金属有机化学的话题，金属有机化学的研究是在二十世纪八十年代之后才逐步发展起来的，但是在国外二十世纪初时，就有相关的学者对于金属有机化学的应用进行了研究，所以这方面我国起步和发展较晚。近年来，随着“十四五”规划等重要规划的发布，让金属有机化学技术应用得到了迅速的发展和建设。在上海有机化学研究所黄耀曾院长和南开大学王积涛教授等人的努力下，对于金属化学的研究取得了里程碑式的突破，取得了令人鼓舞的成绩，有些研究成果甚至已经达到了世界先进水平，同时“金属有机化合物的反应化学”被列为国家自然科学基金“八五”计划，这对未来金属有机化学的发展具有重要的意义。

4. 金属有机化学和相关有机化合物的发展现状

金属有机化学在工业生产中有着举足轻重的地位和作用，在国内也有着很大的应用空间，只是从当前的实际状况来看，我国对金属有机化学的发展和應用还需要进行深入的研究和分析。同时在实际应用中，我们发现有机金属是金属有机化学其中的一个重要的基础，从目前实际状况来看，已知的主要是碳-金属键，在研究当中，我们也发现有机金属化合物具有独特的性质，例如，戊金属是一种新型的烯烃聚合催化剂，而在当今的阶段，二戊铁可以作为燃料进行燃烧[1]。

金属有机化学最早是为了确保反应原子具有良好的选择性和经济性而被广泛地应用于环保领域，在迈入新世纪以来，作为光学、电子、医学等材料的金属有机化合物已被广泛地应用于各个工业领域。以光学、电子为例，高纯金属有机化合物 MO 源是金属有机化学气相沉积技术(MOCVD)、金属有机分子束外延技术(MOMBE)制造半导体材料的支撑源材料，广泛应用于电池、显示器、半导体制作等行业当中，其发展工艺由图 1 可知，同时通过图 2、图 3 可知，近几年我国 LED 照明以及太阳能电池行业蓬勃发展，在今后的发展过程中，金属有机化学必将被越来越多地投入到实际的生产中，将科研成果转化为进一步的生产力，促进国内各个行业的可持续健康发展。

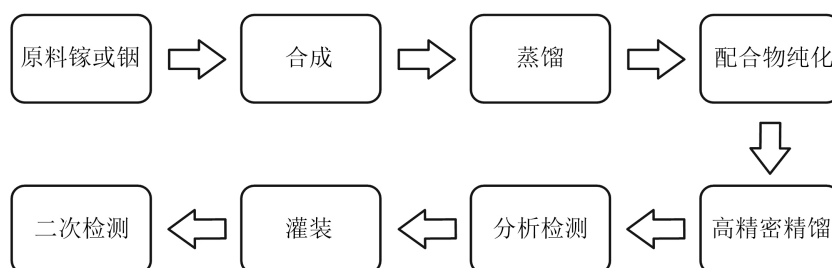


Figure 1. Manufacturing process of high purity organometallic compound MO source
图 1. 高纯有机金属化合物 MO 源制造工艺

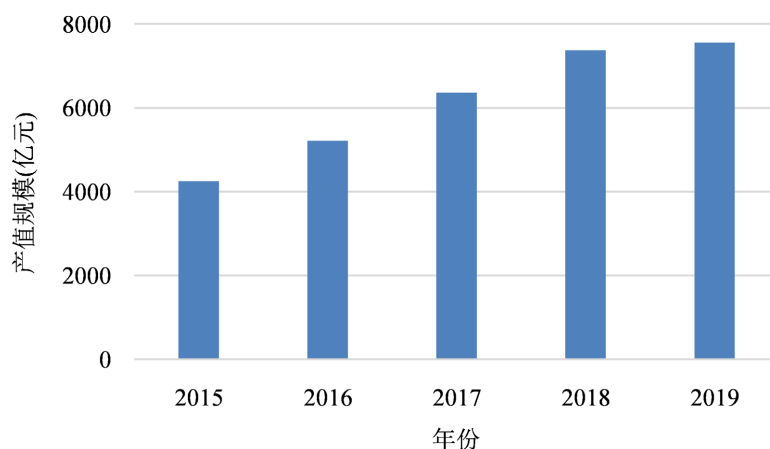


Figure 2. Output value of LED lighting in China from 2015 to 2019

图 2. 2015~2019 年我国 LED 照明产值规模

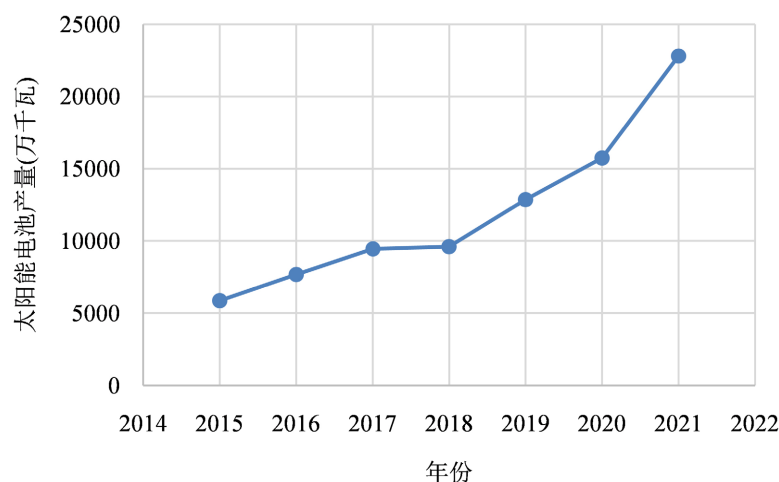


Figure 3. Output of solar cells in China from 2015~2021

图 3. 2015~2021 年我国太阳能电池产量

5. 目前金属有机化学在我国主要研究方向

5.1. 研究方向一

金属有机化学往往是由多种形式组成的合成反应，将基础的化学反应规律、有机化学反应规律和金属联系起来，组成具有新的反应特点的方式，我们常见的有取代反应、合成反应、催化反应、水解反应等。

目前在此基础上，又提出了一种具有多种形式的烯烃的合成方法，这种方法主要是将二取代烯烃以及三取代烯烃进行合成的化学方法。在当今国内的生物化学的水平不断提升的背景下，最新研制的亚胺的烷基化是近年来国内有机化学领域发展最为迅速的一项新技术。目前运用较多的烷基化反应包括烯丙基溴在镁屑或锌粉的存在下与烯丙基溴的巴比耶型反应、烯丙基锡与三甲基氯化物硅烷的反应以及由氟离子引起的亚胺与三甲基烯丙基硅烷的反应[2]。另外四异丙氧基钛催化的烯化反应是在三苯基膦与四异丙氧基钛催化下，运用了一锅法合成了三氟甲-(E)-烯丙醇，这种化学反应具有很高的立体选择性。因此，由此可见，利用已有的金属有机化学方法进行金属有机化学的研究已是势在必行的举措。

5.2. 研究方向二

在国内的金属有机化学领域，经过专家和学者长期的研究和探讨，我们发现了关于金属有机化合物在反应过程当中的两种不同的方式：立体控制选择性合成、双等瓣法替代以及等瓣法替代。通过对这两种典型的金属有机化合物反应特点的研究，我们发现，双环戊二烯基的桥连型双金属络阴离子能与两种簇合物同时进行等瓣置换替代，从而得到了一种新型的双环戊二烯基双原子簇化合物。因此，进一步深入地研究金属有机化学的反应机理，将成为今后金属有机化学领域的一个重要研究的指标。

5.3. 研究方向三

金属催化反应的选择性主要是由金属有机化合物催化形成的。这种反应不仅是一般化学中的重要反应之一，更是对于金属有机化学的未来发展以及进步都有着重大的意义和作用，由图4金属铜的反应全过程可知，金属催化碳-碳键和碳-杂原子键的生成是当前合成化学研究的一种重要手段[3]。路易斯酸催化的化学反应与金属催化反应十分的相似，所以通常情况下将两者相结合，不仅能够分析两者的关系，同时通过对其两种反应特性进行研究，还有利于探索原子化学键的断裂的新方法和新途径，对于在金属有机化学中的研究十分重要。因此，对金属催化反应选择性深入的研究对于探索金属有机化学领域来说是非常重要的，同时也是金属有机化合物发展的一项十分重要的课题研究方向。

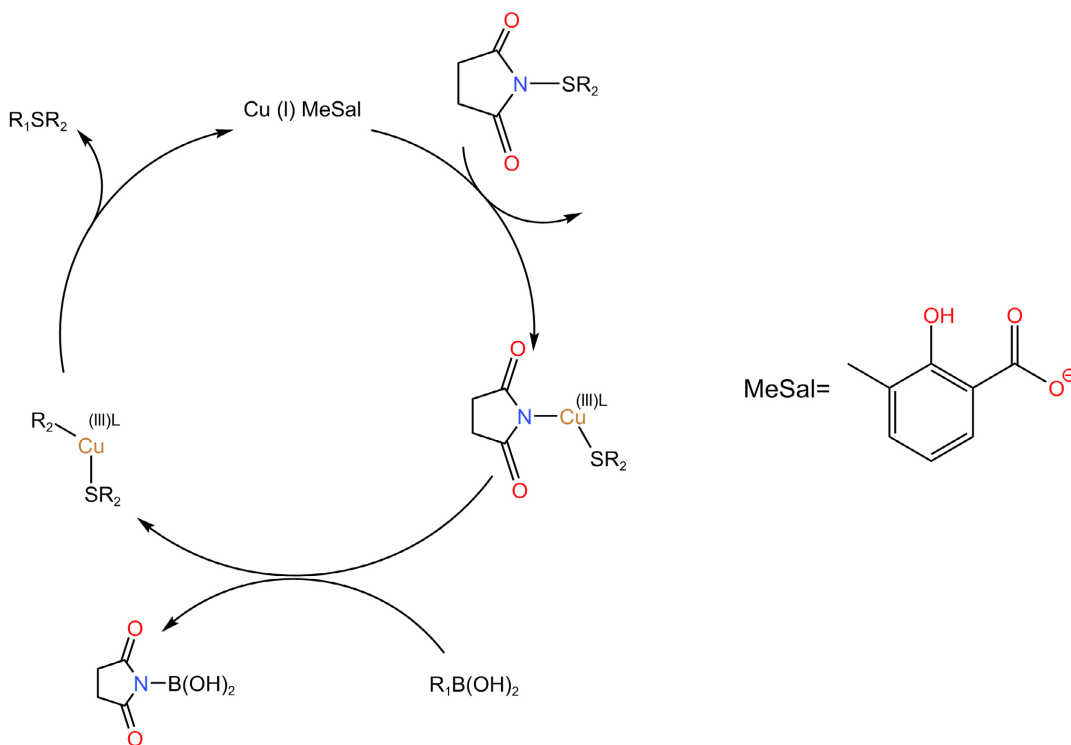


Figure 4. The whole process of copper reaction

图4. 金属铜发生反应的全过程

6. 金属有机化学在各领域中的应用情况

6.1. 环保领域

在我国环境保护与资源保护的进程中，环境保护问题成为当今世界关注的热点问题，对社会、经济

的可持续发展起着举足轻重的作用，而我国的金属有机化学作为在环境保护方面的研究之一也日益受到关注。当前，在我国金属有机化学已为环境保护作出了重要的贡献，改善了能源的经济性[4]，以及开发出了新型的催化剂。与此同时，环境保护也一直是国内从事有关金属有机化学研究工作者一直致力于探索和尝试的一个重要领域，近年来越来越多的与金属有机化合物相关领域的专家和学者也涌进环境保护的行列，他们从金属有机化合物的原材料是否足够多、合成途径是否会产生危害环境的衍生物以及金属有机化合物的回收利用等方面进行了诸多研究，同时也呼吁越来越多的人重视环境保护，大大提高了人们的环保意识的程度。从当前的情况来看，大家对环境保护意识不断提高，金属有机化学将会得到更多的关注，并且随着它的不断发展，它将在整个化学领域中扮演更加重要的角色，提供更有价值和意义工具和材料[5]。

6.2. 共轭加成的应用

我们常说的共轭加成是指在共轭体系中可以自由的进行加成变换，可以发生在任何一个双键上，根据反应物的不同有 1,4 加成、1,6 加成等等形式。但是，在单一体系中的共轭加成则不一样，例如硫醇、多氮化合物等的共轭加成就是在体系两端完成的，这种加成反应的机理是：在非金属的有机催化剂的作用下，共轭系的双键发生了分裂的现象，从而在双键上产生出新的有机物质。在有机化学过程中，因为有机非金属催化剂的存在，使整个反应过程具有良好的效果和快速的对照选择的余地[6]。

6.3. 金属有机化学在能源中的应用

我国虽然自然资源丰富，但由于人口基数的庞大，所以仍然有一部分能源需要从国外进口，同时石油、煤矿、天然气等自然资源都是一个国家经济发展的基础能源，能源需求渗入在生活的方方面面，而在发展的进程中，不可再生资源日益发生枯竭的现象[7] [8]。虽然近几年新能源行业快速崛起，但是由于普及以及人口的原因，还没有办法做到完全摆脱对自然资源的依赖，因此，通过对金属有机化学的深入研究，可以使能量储存水平、效率转换、和吸收效率得到进一步的改善和提高。例如，有机化学中的二茂铁可以被用于航天领域，作为一种节能的助燃剂，从而可以大大降低能耗，据统计，二茂铁相比之前传统的能源可以减少百分之十的损耗。

6.4. 健康医疗领域

近几年随着疫情不断地爆发，健康医疗水平和建设成为了人类最关注的问题之一。同时伴随着金属有机化学使用的领域不断扩张，使得人们对金属有机物的认可度也不断提升。目前，金属有机化合物在健康保健领域有着广泛的作用，例如我国在抗肿瘤研究方面取得了重大的研究成果。在新冠疫情期间，我国研究工作者使用金属有机化学作为研制疫苗的原材料，为我国抗击疫情做出了巨大的支撑。近年来，随着我国医学水平的不断提高，在各个方面的研究都有了综合性的发展，有了更多的成功医学奇迹，这也得益于各个行业背后的学科交互交叉，一个方面的研究往往能带动多个学科研究的发展[9] [10]。

6.5. 农业领域

金属有机化学还被广泛地用于农业生产行业，特别是在发达国家，尝尝把金属有机化学作为最“金贵”农业肥料来使用。其中，有机化肥、有机汞、有机磷等都是常用的有机化合物。以代森锌为例，在生产实践中，可以有效地控制小麦生产缓慢、马铃薯矮小、黄瓜多霜等多种作物遭遇病虫害等问题[11]。这说明，金属有机化学做农业肥料，具有高效率，高价值的价值。在农药方面，有机汞、有机肥料等是常见的农药成分，而有机磷则是农药的主要来源之一，在美国、德国、以色列等国采用金属有机化学肥料和农药，从而大大提高了农业生产的效率，降低了生产所需要的成本[12]。

7. 结语

金属有机化学作为一种新兴的小众行业，其应用领域将会随着其研究的深入和市场的扩展而逐渐得到广泛的应用。金属有机化学是化学的一个重要分支，在国民经济发展进程中有着举足轻重的地位，特别是在资源利用、国家安全、卫生健康、绿色环保等领域有着巨大的发展潜力[13][14]。这对于新材料和新作物的研发有着十分重要的价值。随着千禧时代的带来，我国在科技发展、经济发展等多个方面都取得了举世瞩目的成就，对国内日常生活和建设方面起到了明显的改善作用，也对金属有机化学的进一步发展提供了强有力的保障和基础。

参考文献

- [1] Matsubara, S. (2018) Molecular Transformations Using Bis(iodozincio)methane—The Role of Chelation in Main Group Organometallic Chemistry. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, **91**, 82-86. <https://doi.org/10.1246/bcsj.20170281>
- [2] 古林莎·果依其巴依, 张锐, 燕红. 含碳硼烷金属有机化学研究进展[J]. *无机化学学报*, 2019, 26(5): 733-743.
- [3] 刘卓航. 非金属有机催化剂及其在有机化学反应中的应用[J]. *生物化工*, 2017, 3(1): 85-86.
- [4] 杨博含. 浅谈金属有机化学的发展及应用[J]. *化工管理*, 2015(6): 169.
- [5] 郭思远. 针对我国金属有机化学进展探究[J]. *科技创新导报*, 2018(13): 54-56.
- [6] 杜凡凡, 郑映, 单国荣, 等. 基于氢键作用的内酯开环聚合非金属有机催化剂[J]. *化学进展*, 2018, 30(6): 710-718.
- [7] Clifford, K. (2018) Award Address (ACS Award in Organometallic Chemistry Sponsored by the Dow Chemical Company Foundation). The Organometallic Chemistry of CO₂ Reduction. Abstracts of Papers of the American Chemical Society, 255.
- [8] Mavrokefalos, C.K., *et al.* (2020) Small and Narrowly Distributed Copper Nanoparticles Supported on Carbon Prepared by Surface Organometallic Chemistry for Selective Hydrogenation and CO₂ Electroconversion Processes. *ChemCat-Chem*, **12**, 305-313. <https://doi.org/10.1002/cctc.201901414>
- [9] 夏春风. 金属有机化学的发展与应用[J]. *武警学院学报*, 1995(4): 46-47.
- [10] 徐宗本, 冯芷艳, 郭迅华, 曾大军, 陈国青. 大数据驱动的管理与决策前沿课题[J]. *管界*, 2014(11): 158-163.
- [11] Fischer Roland, C., Hill Michael, S. and Liptrot David, J. (2018) Philip Power at 65: An Icon of Organometallic Chemistry. *Dalton Transactions*, **47**, 5529-5532. <https://doi.org/10.1039/C8DT90058B>
- [12] Yamashita, M. (2016) ChemInform Abstract: The Organometallic Chemistry of Boron-Containing Pincer Ligands Based on Diazaboroles and Carboranes. *ChemInform*, **47**, 269-281. <https://doi.org/10.1002/chin.201620226>
- [13] 胡兰, 段禾青. 大数据时代金属有机化学行业现状及发展分析[J]. *绿色科技*, 2018(23): 41-42.
- [14] 朱建平, 章贵军, 刘晓葳. 大数据时代下金属有机化学分析理念的辨析[J]. *统计研究*, 2014, 31(2): 10-19.