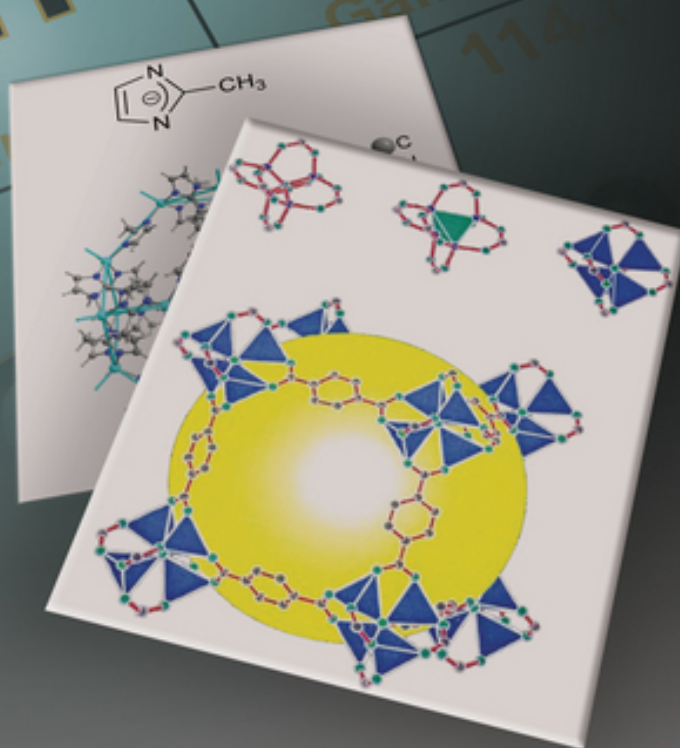


Editors
Leonard R. MacGillivray • Charles M. Lukehart

Metal-Organic Framework Materials



Encyclopedia of
Inorganic and
Bioinorganic
Chemistry

Visit the online Encyclopedia of Inorganic and Bioinorganic
Chemistry at www.wileyonlinelibrary.com/ref/eibc

WILEY

Table of Contents

[Cover](#)

[EIBC Books](#)

[Title Page](#)

[Copyright](#)

[Encyclopedia of Inorganic and Bioinorganic Chemistry](#)

[Contributors](#)

[Series Preface](#)

[Volume Preface](#)

[Periodic Table of the Elements](#)

[PART 1: Design and Synthesis](#)

[Porous Coordination Polymer Nanoparticles and Macrostructures](#)

[Nanoscale Metal-Organic Frameworks](#)

[Mesoporous Metal-Organic Frameworks](#)

[Porphyritic Metal-Organic Frameworks](#)

[Fluorinated Metal-Organic Frameworks \(FMOFs\):
Concept, Construction, and Properties](#)

[Synthesis and Structures of Aluminum-Based Metal-Organic Frameworks](#)

[Polyrotaxane Metal-Organic Frameworks](#)

[Photoreactive Metal-Organic Frameworks](#)

[Edible Metal-Organic Frameworks](#)

[Mechanochemical Approaches to Metal-Organic Frameworks](#)

[PART 2: Post-Modification](#)

Postsynthetic Modification of Metal-Organic Frameworks

PART 3: Properties and Applications

Functional Magnetic Materials Based on Metal Formate Frameworks

Metal-Organic Frameworks from Single-Molecule Magnets

Open Metal Sites in Metal-Organic-Frameworks

Gas Storage in Metal-Organic Frameworks

Metal-Organic Frameworks for Removal of Harmful Gases

Adsorption of Hydrocarbons and Alcohols in Metal-Organic Framework Materials

Metal Uptake in Metal-Organic Frameworks

Photoreactive Properties Hosted in Metal-Organic Frameworks

Semiconducting Metal-Organic Frameworks

Patterning Techniques for Metal-Organic Frameworks

Metal-Organic Frameworks in Mixed-Matrix Membranes

Electrochemical Properties of Metal-Organic Frameworks

Applications of Metal-Organic Frameworks to Analytical Chemistry

Recent Solid-State NMR Studies of Quadrupolar Nuclei in Metal-Organic Frameworks

PART 4: Nets

Single-Crystal to Single-Crystal Transformations in Metal-Organic Frameworks

Interpenetration and Entanglement in Coordination Polymers

[Index](#)
[Abbreviations and Acronyms used in this Volume](#)
[End User License Agreement](#)

List of Illustrations

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Figure 13](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Scheme 1](#)

[Scheme 2](#)

[Scheme 3](#)

[Scheme 4](#)

[Figure 13](#)

[Figure 14](#)

[Figure 15](#)

[Figure 16](#)

[Figure 17](#)

[Figure 18](#)

[Scheme 5](#)

[Figure 19](#)

[Figure 20](#)

[Figure 21](#)

[Scheme 6](#)

[Figure 22](#)

[Scheme 7](#)

[Figure 23](#)

[Figure 24](#)

[Figure 25](#)

[Figure 26](#)

[Scheme 1](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Scheme 2](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Figure 13](#)

[Scheme 3](#)

[Figure 14](#)

[Figure 15](#)

[Figure 16](#)

[Figure 17](#)

[Figure 18](#)

[Figure 19](#)

[Figure 20](#)

[Figure 21](#)

[Scheme 4](#)

[Figure 22](#)

[Figure 23](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 10](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Figure 13](#)

[Figure 14](#)

[Figure 15](#)

[Figure 16](#)

[Figure 17](#)

[Figure 18](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Figure 13](#)

[Figure 14](#)

[Figure 15](#)

[Figure 16](#)

[Figure 17](#)

[Figure 18](#)

[Figure 19](#)

[Figure 20](#)

[Figure 21](#)

[Figure 22](#)

[Figure 23](#)

[Figure 24](#)

[Figure 25](#)

[Figure 26](#)

[Figure 27](#)

[Figure 28](#)

[Figure 29](#)

[Figure 30](#)

[Figure 31](#)

[Figure 32](#)

[Figure 33](#)

[Figure 34](#)

[Figure 35](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Figure 13](#)

[Figure 14](#)

[Figure 15](#)

[Figure 16](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Figure 13](#)

[Figure 14](#)

[Scheme 1](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Figure 13](#)

[Figure 14](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Scheme 1](#)

[Figure 12](#)

[Figure 13](#)

[Scheme 2](#)

[Figure 14](#)

[Figure 15](#)

[Figure 16](#)

[Figure 17](#)

[Figure 18](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 1](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Scheme 1](#)

[Scheme 2](#)

[Scheme 3](#)

[Scheme 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 4](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Scheme 1](#)

[Scheme 2](#)

[Figure 1](#)

[Scheme 3](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Scheme 4](#)

[Scheme 5](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 7](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Figure 13](#)

[Figure 14](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Scheme 1](#)

[Figure 3](#)

[Scheme 2](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Figure 13](#)

[Figure 14](#)

[Figure 15](#)

[Figure 16](#)

[Figure 17](#)

[Figure 18](#)

[Figure 19](#)

[Figure 20](#)

[Figure 21](#)

[Figure 22](#)

[Figure 23](#)

[Figure 24](#)

[Figure 25](#)

[Figure 26](#)

[Figure 27](#)

[Figure 28](#)

[Figure 29](#)

[Figure 30](#)

[Figure 31](#)

[Scheme 3](#)

[Figure 32](#)

[Figure 33](#)

[Scheme 4](#)

[Figure 34](#)

[Scheme 5](#)

[Figure 35](#)

[Scheme 6](#)

[Figure 36](#)

[Figure 37](#)

[Figure 38](#)

[Figure 39](#)

[Figure 40](#)

[Figure 41](#)

[Scheme 7](#)

[Scheme 8](#)

[Figure 42](#)

[Figure 43](#)

[Scheme 9](#)

[Figure 44](#)

[Figure 45](#)

[Figure 46](#)

[Figure 47](#)

[Figure 48](#)

[Figure 49](#)

[Figure 50](#)

[Figure 51](#)

[Figure 52](#)

[Figure 53](#)

[Figure 54](#)

[Scheme 10](#)

[Figure 55](#)

[Figure 56](#)

[Figure 57](#)

[Figure 58](#)

[Scheme 11](#)

[Figure 59](#)

[Scheme 12](#)

[Figure 60](#)

[Figure 61](#)

[Figure 62](#)

[Figure 63](#)

[Scheme 13](#)

[Figure 64](#)

[Figure 65](#)

[Figure 66](#)

[Figure 67](#)

[Figure 68](#)

[Figure 69](#)

[Figure 70](#)

[Figure 71](#)

[Figure 72](#)

[Figure 73](#)

[Figure 74](#)

[Scheme 14](#)

[Figure 75](#)

[Figure 76](#)

[Figure 77](#)

[Figure 78](#)

[Figure 79](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

[Figure 4](#)

[Figure 5](#)

[Figure 6](#)

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Figure 9](#)

[Figure 10](#)

[Figure 11](#)

[Figure 12](#)

[Figure 13](#)

[Figure 14](#)

[Figure 15](#)

[Figure 16](#)

[Figure 17](#)

[Figure 18](#)

[Figure 19](#)

[Figure 20](#)

[Figure 21](#)

[Figure 22](#)

[Figure 23](#)

[Figure 24](#)

[Figure 25](#)

List of Tables

[Table 1](#)

[Table 2](#)

[Table 3](#)

[Table 4](#)

[Table 1](#)

[Table 1](#)

[Table 2](#)

[Table 3](#)

[Table 1](#)

[Table 2](#)

[Table 3](#)

[Table 4](#)

[Table 5](#)

[Table 1](#)

[Table 2](#)

[Table 3](#)

[Table 1](#)

[Table 2](#)

[Table 3](#)

[Table 1](#)

[Table 2](#)

[Table 1](#)

[Table 3](#)

[Table 1](#)

[Table 1](#)

[Table 1](#)

[Table 2](#)

[Table 1](#)

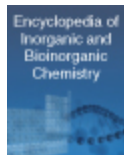
[Table 2](#)

[Table 3](#)

[Table 1](#)

[Table 1](#)

EIBC Books



Application of Physical Methods to Inorganic and Bioinorganic Chemistry

Edited by Robert A. Scott and Charles M. Lukehart

ISBN 978-0-470-03217-6

Nanomaterials: Inorganic and Bioinorganic Perspectives

Edited by Charles M. Lukehart and Robert A. Scott

ISBN 978-0-470-51644-7

Computational Inorganic and Bioinorganic Chemistry

Edited by Edward I. Solomon, R. Bruce King and Robert A. Scott

ISBN 978-0-470-69997-3

Radionuclides in the Environment

Edited by David A. Atwood

ISBN 978-0-470-71434-8

Energy Production and Storage: Inorganic Chemical Strategies for a Warming World

Edited by Robert H. Crabtree

ISBN 978-0-470-74986-9

The Rare Earth Elements: Fundamentals and Applications

Edited by David A. Atwood

ISBN 978-1-119-95097-4

Metals in Cells

Edited by Valeria Culotta and Robert A. Scott

ISBN 978-1-119-95323-4

Metal-Organic Framework Materials

Edited by Leonard R. MacGillivray and Charles M. Lukehart

ISBN 978-1-119-95289-3

Forthcoming

The Lightest Metals: Science and Technology from Lithium to Calcium

Edited by Timothy P. Hanusa

ISBN 978-1-11870328-1

Sustainable Inorganic Chemistry

Edited by David A. Atwood

ISBN 978-1-11870342-7

Encyclopedia of Inorganic and Bioinorganic Chemistry

The Encyclopedia of Inorganic and Bioinorganic Chemistry (EIBC) was created as an online reference in 2012 by merging the Encyclopedia of Inorganic Chemistry and the Handbook of Metalloproteins. The resulting combination proves to be the defining reference work in the field of inorganic and bioinorganic chemistry. The online edition is regularly updated and expanded. For information see:

www.wileyonlinelibrary.com/ref/eibc

METAL-ORGANIC FRAMEWORK MATERIALS

Editors

Leonard R. MacGillivray

University of Iowa, Iowa City, IA, USA

Charles M. Lukehart

Vanderbilt University, Nashville, TN, USA

WILEY

This edition first published 2014

© 2014 John Wiley & Sons Ltd

Registered office

John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom

For details of our global editorial offices, for customer services and for information about how to apply for permission to reuse the copyright material in this book please see our website at www.wiley.com.

The right of the authors to be identified as the authors of this work has been asserted in accordance with the Copyright, Designs and Patents Act 1988.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, except as permitted by the UK Copyright, Designs and Patents Act 1988, without the prior permission of the publisher.

Wiley also publishes its books in a variety of electronic formats. Some content that appears in print may not be available in electronic books.

Designations used by companies to distinguish their products are often claimed as trademarks. All brand names and product names used in this book are trade names, service marks, trademarks or registered trademarks of their respective owners. The publisher is not associated with any product or vendor mentioned in this book. This publication is designed to provide accurate and authoritative information in regard to the subject matter covered. It is sold on the understanding that the publisher is not engaged in rendering professional services. If professional advice or other expert assistance is required, the services of a competent professional should be sought.

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

Metal-organic framework materials / editors, Leonard R. MacGillivray, Charles M. Lukehart.

pages cm

Includes bibliographical references and index.

ISBN 978-1-119-95289-3 (cloth)

1. Nanocomposites (Materials) 2. Organometallic compounds. 3. Metallic composites. 4. Polymeric composites. I. MacGillivray, Leonard R., editor. II. Lukehart, Charles M., 1946- editor.

TA418.9.N35M5245 2014

620.1'18-dc23

2014027085

A catalogue record for this book is available from the British Library.

ISBN-13: 978-1-119-95289-3

Set in 10/12pt TimesNewRomanMTStd by Laserwords (Private) Limited,
Chennai, India

Printed and bound in Singapore by Markono Print Media Pte Ltd.

Encyclopedia of Inorganic and Bioinorganic Chemistry

Editorial Board

Editor-in-Chief

Robert A. Scott

University of Georgia, Athens, GA, USA

Section Editors

David A. Atwood

University of Kentucky, Lexington, KY, USA

Timothy P. Hanusa

Vanderbilt University, Nashville, TN, USA

Charles M. Lukehart

Vanderbilt University, Nashville, TN, USA

Albrecht Messerschmidt

Max-Planck-Institute für Biochemie, Martinsried, Germany

Robert A. Scott

University of Georgia, Athens, GA, USA

Editors-in-Chief Emeritus & Senior Advisors

Robert H. Crabtree

Yale University, New Haven, CT, USA

R. Bruce King

University of Georgia, Athens, GA, USA