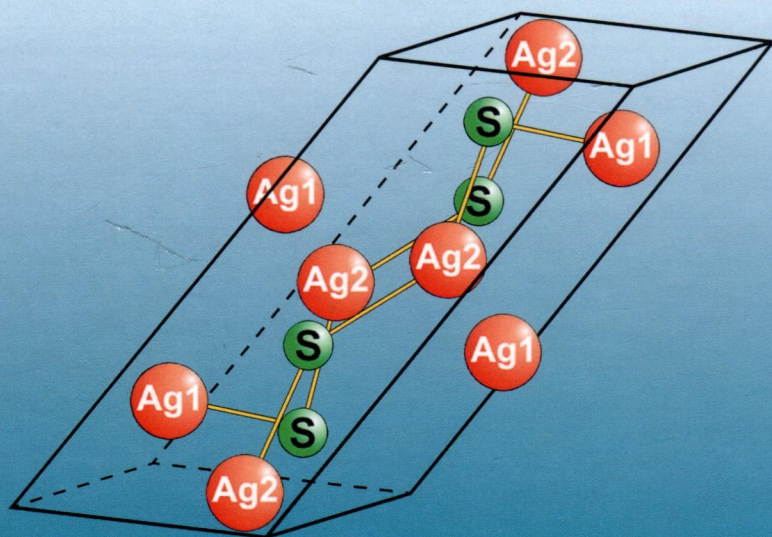


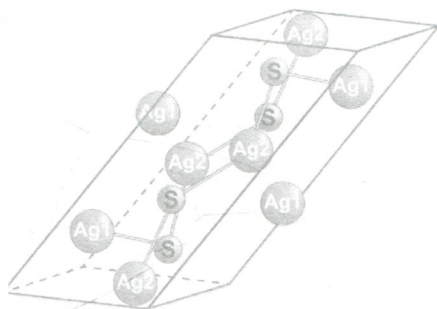
С. И. САДОВНИКОВ
А. И. ГУСЕВ
А. А. РЕМПЕЛЬ

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ СУЛЬФИДОВ СВИНЦА, КАДМИЯ И СЕРЕБРА



С. И. САДОВНИКОВ
А. И. ГУСЕВ
А. А. РЕМПЕЛЬ

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ СУЛЬФИДОВ СВИНЦА, КАДМИЯ И СЕРЕБРА



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2018

УДК 661.852.3/7+
661.848.511+
549.32:661.857
ББК 22.37, 24.5
С 14



*Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных
исследований по проекту 18-13-00009,
не подлежит продаже*

Садовников С.И., Гусев А.И., Ремпель А.А. **Полупроводниковые наноструктуры сульфидов свинца, кадмия и серебра.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. — 432 с. + 32 с. цветной вклейки. — ISBN 978-5-9221-1807-1.

В монографии изложено современное состояние фундаментальных исследований полупроводниковых наноструктурированных сульфидов свинца, кадмия и серебра, являющихся одними из наиболее востребованных халькогенидных соединений для современной электроники и биомедицинского применения. Обсуждены методы синтеза различных видов сульфидных наноструктур (стабильные коллоидные растворы, нанопорошки, квантовые точки, наночастицы с защитной оболочкой, гетеронаноструктуры). Особое внимание уделено гидрoхимическому осаждению как универсальному методу синтеза всех видов сульфидных наноструктур. Рассмотрены основные методы размерной аттестации наноструктурированных веществ и материалов.

Для научных работников и специалистов в области физики и химии твердого тела, кристаллохимии, физического материаловедения, синтеза, структуры и свойств полупроводниковых сульфидных наноструктур, нестехиометрии твердого тела, нанокристаллического состояния веществ и материалов, а также для аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

© ФИЗМАТЛИТ, 2018

© С. И. Садовников, А. И. Гусев,
А. А. Ремпель, 2018

ISBN 978-5-9221-1807-1

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список основных обозначений	6
Предисловие	8
Литература к предисловию	11
Глава 1. Размерная аттестация наноструктурированных материалов	13
1.1. Концепция наноструктурированного материала	14
1.2. Методы определения размеров малых частиц	17
1.2.1. Электронная микроскопия	19
1.2.2. Рентгено-дифракционный метод	21
1.2.3. Седиментация, фотонная корреляционная спектроскопия, газовая адсорбция и газовая фильтрация	35
Литература к главе 1	39
Глава 2. Наноструктурированный сульфид свинца PbS	43
2.1. Методы получения наноструктурированного сульфида свинца: от коллоидных систем до тонких пленок	45
2.1.1. Коллоидные растворы наночастиц PbS	46
2.1.2. Анализ условий образования сульфида свинца в водных растворах	48
2.1.3. Осаждение нанопорошков PbS	60
2.1.4. Осаждение сульфида свинца с разной морфологией частиц	72
2.1.5. Квантовые точки PbS	75
2.1.6. Наноструктурированные пленки сульфида свинца	79
2.2. Кристаллическая структура наночастиц, нанопорошков и нано- пленок PbS	83
2.2.1. Кристаллическая структура нанопорошков и квантовых точек	86
2.2.2. Кристаллическая структура нанопленок	87
2.2.3. Корреляции атомов серы S в нанопленках PbS	96
2.3. Свойства наноструктурированного сульфида свинца	103
2.3.1. Оптические свойства и ширина запрещенной зоны	103
2.3.2. Термические свойства	116
2.3.3. Стабильность наноструктурированного сульфида свинца	126
2.4. Применение наноструктурированного сульфида свинца	132
Литература к главе 2	135

Глава 3. Наноструктурированный сульфид кадмия CdS	149
3.1. Химическое осаждение наноструктурированного сульфида кадмия CdS	152
3.1.1. Образование водных коллоидных растворов CdS	154
3.1.2. Образование наночастиц CdS	164
3.1.3. Осаждение пленок CdS на подложку	168
3.2. Синтез наночастиц CdS в стекле	173
3.3. Особенности кристаллической структуры наночастиц CdS	180
3.3.1. Непериодичность в сульфидных наночастицах с плотноупакованными структурами	180
3.3.2. Визуализация среднего дальнего порядка в неперидической структуре наночастицы CdS	189
3.4. Оптические свойства наноструктурированного CdS	197
3.5. Фотокаталитическая активность гибридных наноструктур на основе CdS	207
Литература к главе 3	209
Глава 4. Наноструктурированный сульфид серебра Ag₂S	220
4.1. Методы синтеза наноструктурированного сульфида серебра Ag ₂ S	225
4.1.1. Синтез с помощью разложения молекулярных прекурсоров	228
4.1.2. Синтез наноструктурированного сульфида серебра с разной морфологией	231
4.1.3. Синтез нановолокон Ag ₂ S	236
4.1.4. Биотехнологические и другие методы получения наночастиц и квантовых точек Ag ₂ S	238
4.2. Кристаллическая структура крупнокристаллического и наноструктурированного сульфида серебра Ag ₂ S	243
4.2.1. Искусственный крупнокристаллический сульфид серебра α-Ag ₂ S	244
4.2.2. Кристаллическая структура и нестехиометрия наноструктурированного сульфида серебра α-Ag ₂ S	248
4.3. Время жизни позитронов в наноструктурированном сульфиде серебра	251
4.4. <i>In situ</i> высокотемпературное исследование фазового превращения «акантит α-Ag ₂ S – аргентит β-Ag ₂ S»	258
4.5. Термическое расширение акантита α-Ag ₂ S, аргентита β-Ag ₂ S и фазы γ-Ag ₂ S	268
4.5.1. Термическое расширение акантита α-Ag ₂ S	270
4.5.2. Термическое расширение аргентита β-Ag ₂ S	276
4.5.3. Дилатометрические измерения термического расширения сульфида серебра	282
4.6. Термическая стабильность размера и фазового состава частиц сульфида серебра	286

4.7. Теплоемкость нанокристаллического и крупнокристаллического сульфида серебра	297
4.8. Универсальный метод синтеза различных видов наноструктурированного сульфида серебра	302
4.8.1. «Зеленый» синтез наноструктурированного Ag_2S без вредных веществ	304
4.8.2. Крупнокристаллические порошки Ag_2S	306
4.8.3. Осажденные нанопорошки Ag_2S	310
4.8.4. Коллоидные растворы квантовых точек Ag_2S	317
4.8.5. Наночастицы ядро-оболочка $\text{Ag}_2\text{S}@C$	330
4.8.6. Сравнение методов синтеза наноструктурированного сульфида серебра	337
4.9. Гетеронаноструктуры $\text{Ag}_2\text{S}/\text{Ag}$	340
4.9.1. Гетеронаноструктуры $\text{Ag}_2\text{S}/\text{Ag}$, полученные гидрохимическим осаждением	350
4.9.2. Катализ на гетеронаноструктуре $\text{Ag}_2\text{S}/\text{Ag}$	360
4.10. Звездообразные частицы серебра	373
4.10.1. Образование звездообразных частиц серебра	374
4.10.2. Микроструктура звездообразных частиц серебра	379
4.11. Гидрохимическое осаждение: преимущества и проблемы	395
Литература к главе 4	398
Приложение	418
Именной указатель	425
Предметный указатель	426