

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Борисенко Е.Б. «Фазовые превращения и рекристаллизация галогенидов и халькогенидов металлов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Диссертация Е.Б. Борисенко посвящена актуальной проблеме исследования фазовых и структурных превращений в кристаллах щелочных галоидов, широкозонных полупроводниковых соединений АІІВІ, слоистых полупроводников, в первую очередь, халькогенидов галлия. Все эти материалы современны и востребованы в различных областях оптики, оптоэлектроники: ЩГК, CdTe, ZnTe, Cd-Zn-Te, GaSe, GaS используются в лазерной оптике ИК диапазона, халькогениды кадмия и цинка также используют как материалы детекторов ионизирующих излучений, нелинейные кристаллы с гексагональной решеткой АІІВІ применяют в качестве конвертеров излучения в ИК и ТГц диапазонах, GaTe как материал фотодетекторов, PbTe широко применяют в термоэлектрических приборах, PbF₂ как материал сцинтилляторов, слоистый халькогенид ниобия CrNb₃S₆ обладает ферромагнитными свойствами.

Поэтому исследования фазовых и структурных превращений в этих кристаллах, как при кристаллизации, так и в твердом состоянии, актуальны и обеспечивают научную основу для разработки технологий выращивания и последующих обработок для достижения нужных свойств кристаллов и создания условий их стабильности.

Научная новизна и практическая значимость результатов состоят в том, что на основе впервые проведенных исследований первичной статической рекристаллизации при комнатной температуре после холодной пластической деформации кристаллов KCl и KCl:Sr были предложены условия деформирования, температуры и скорости деформации, концентрация легирующей добавки, которые обеспечили заметное повышение механических характеристик, без потери оптической прозрачности, и стабильность упрочненной матрицы благодаря старению, в ходе которого, частицы фазы KCl·2SrCl₂, выделившиеся при распаде твердого раствора, выпадали по границам зерен, препятствуя развитию рекристаллизации.

Основываясь на проведенных в работе исследованиях фазовых превращений при прессовании нанопорошков CdTe, Cd_{1-x}Zn_xTe, ZnSe_{1-x}Te_x, автор предложил режимы холодного прессования для получения плотной (плотностью 95% расчетной плотности) однофазной керамики, состоящей из кубической фазы со средним размером зерна 8 мкм, что обеспечивает оптическую изотропность и сравнимое с монокристаллами пропускание в ИК диапазоне. В случаях керамик тройных соединений, когда приложенных давлений 400-650 МПа было недостаточно для полного превращения в кубическую фазу, были разработаны режимы последеформационного отжига, приводящего к фазовой и структурной гомогенизации образцов. Исследование свойств полученных керамик

показало перспективность их использования в качестве материалов детекторов ионизирующих излучений.

Кристаллы $CdZn_{1-x}Te_x$ были выращены методом движущегося нагревателя с зоной обогащенной Te в наземных условиях и в условиях микрогравитации. Исследования показали, что в кристаллах, выращенных на борту космического аппарата, более однородное распределение компонентов вдоль оси роста и радиальном направлении, выделившиеся из твердого раствора частицы теллура распределяются с одинаковой плотностью в обоих случаях, но размеры частиц в кристаллах из космоса втрое меньше. Измерения удельного электросопротивления показали, что в кристаллах, выращенных на борту спутника Фотон-4М, оно вдвое выше, чем в наземных составляет 10^9 Ом·см и при этом его величина по длине слитка практически одинакова, тогда как в наземных кристаллах могут наблюдаться отличия электросопротивления в разных частях слитка в 10 раз. Полученные результаты показали перспективность выращивания материалов CZT детекторной чистоты в условиях микрогравитации.

Исследованы микроструктура и свойства слоистых кристаллов халькогенидов галлия. Экспериментально показано, что при выращивании из расплава методом вертикальной зонной плавки под давлением аргона возможен нормальный послойный рост кристаллов GaSe или дендритный рост. Впервые исследован дендритный рост в кристаллах халькогенидов галлия GaSe и GaTe. Впервые получен из расплава крупногабаритный кристалл GaTe с гексагональной решеткой и впервые методом рентгеноструктурного анализа исследованы стадии полиморфного превращения из гексагональной в моноклинную модификацию. Установлена инвариантная плоскость превращения. Предложены условия выращивания для получения монокристаллов $GaSe_{1-x}S_x$, представляющих собой непрерывный ряд твердых растворов во всем диапазоне концентраций. Кристаллы с одинаковой кристаллической решеткой и разными значениями ширины запрещенной зоны могут быть использованы в гетероструктурах. Разработана методика выращивания из расплава кристаллов GaSe:Er, позволившая в 2.5 раза повысить растворимость эрбия в GaSe, что, как известно, повышает эффективность преобразователей частоты в ИК диапазоне.

Впервые методом газового транспорта получен однофазный полупроводник $CrNb_3S_6$, обладающий ферромагнитными свойствами. Впервые методом рентгенофазового анализа установлены межплоскостные расстояния и определены параметры решетки. Для измерения температуры Кюри впервые для этих кристаллов применен метод ВЧ потерь в переменном магнитном поле, позволивший с точностью до 1 градуса измерить $T_c = 115K$.

Достоверность и объективность полученных результатов подтверждена их апробацией на 43 международных конференциях в России и за рубежом, публикацией 30 статей и 1 монографии с соавторами по теме диссертации в журналах, входящих в перечень ВАК и Web of Science, тринадцатью патентами на изобретения полученными по теме диссертации с участием автора, отчетами о выполнении проектов НИР и ОКР. Экспериментальные результаты воспроизводимы и выводы по ним достоверны, результаты работы могут быть практически использованы, о чем свидетельствуют также Приложения к диссертации, в которых содержатся акты и протоколы испытаний опытных

образцов, а также копии свидетельств и дипломов, полученных на международных и национальных выставках.

В целом по автореферату можно сделать заключение, что диссертация представляет собой профессионально грамотное завершённое научное исследование, которое вносит весомый вклад в разработку научных подходов, средств и методов получения и обработки моно- и поликристаллов щелочных галоидов, двойных и тройных соединений халькогенидов цинка и кадмия, а также халькогенидов галлия, обладающих улучшенными свойствами для практических применений в оптике и в качестве детекторов излучений. Благодаря проведенным исследованиям фазовых и микроструктурных превращений удается обеспечить стабильность достигнутых свойств кристаллов в процессе хранения и эксплуатации. Это определяет их более высокую эффективность по сравнению с известными аналогами в различных традиционных областях применения.

Автореферат позволяет заключить, что по масштабам решаемых задач, научной новизне и практической значимости представленная диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении научных степеней», а ее автор Борисенко Елена Борисовна заслуживает присуждения степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Морозов Сергей Владимирович

Доктор физ.-мат. наук

Специальность 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах


Главный научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук.

Телефон: +7(49652) 440-94

e-mail: morozov@iptm.ru

30.08.2021


 / С.В. Морозов /

Подпись С.В. Морозова заверяю

Директор ИПТМ РАН

д.физ.-мат.н.

31.08.2021

 / Д.В. Рожитсин /
