

Отзыв

на диссертацию в виде научного доклада Коха Константина Александровича «Развитие методов синтеза и роста монокристаллов халькогенидов для решения задач в экспериментальной минералогии и получения функциональных кристаллических материалов», представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук в виде научного доклада по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография

Полупроводниковые соединения халькогенидов стали очень привлекательными благодаря своим структурным, оптическим и электрическим свойствам. Одним из представителей этого семейства является селенид галлия GaSe. Этот кристалл был подробно охарактеризован как экспериментально, так и теоретически в течение последних трех десятилетий. GaSe демонстрирует большие возможности в области оптоэлектроники, нелинейно-оптической техники для среднего ИК и терагерцевых приложений.

В литературе описаны четыре основные формы структуры GaSe: это β , ϵ , γ и δ модификации. ϵ и β фазы представляют собой 2H-гексагональные политипы, тогда как модификация γ имеет 3R-тригональную структуру.

Автор сосредоточил свое внимание на кристаллах нецентросимметричной ϵ -модификация, которые демонстрируют оптимальное сочетание параметров для эффективного преобразования: широкий диапазон прозрачности (0,62–20 мкм) и фазовый синхронизм преобразования, высокий порог оптического повреждения (0,03 ГВт/см² для импульсов 10,6 мкм длительностью 125 нс) и высокий коэффициент нелинейного преобразования (54 пм/В для 10,6 мкм). Для квантовой электроники требуются объемные кристаллы ϵ -модификации GaSe высокого оптического качества: с минимальным содержанием дефектов, как протяженных, так и точечных; с высокой прозрачностью в диапазоне прозрачности. Основной проблемой GaSe является слоистость и сильная спайность перпендикулярной (001), а также повышенная пластичность материала с твердостью по шкале Мооса ≈ 0 . Он относится к разряду 2D, двумерным кристаллам.

Константином Александровичем разработан модернизированный метод Бриджмена для выращивания монокристаллов халькогенидов. Представляет интерес метод поиска оптимального состава кристаллов, соответствующего минимальным оптическим потерям и максимальной эффективности нелинейного преобразования для GaSe:Te и GaSe:Al, по ширине и интенсивности фоновых пика 0.59 ТГц и экситонного пика 620 нм в спектрах поглощения, соответственно. Разработан метод анализа политипной структуры GaSe с применением нелинейно-оптического метода (из анализа угловой зависимости эффективности ГВГ CO₂ лазера). Предложен метод оценки однородности кристаллов GaSe, основанный на изучении картин распределения яркости ГВГ в КТР после прохождения луча от YAG:Nd через GaSe. На кристаллах GaSe:S_{2,5}:Al_{0,05} впервые реализована схема генерации ТГц излучения с рекордными значениями дальности регистрации.

Следующий двумерный материал, исследуемый автором- топологические изоляторы с уникальных функциональными свойствами, открытые только в начале XXI века. Эта группа кристаллов обеспечивает новые возможности в области высоких технологий, в частности, в устройствах спинтроники.

Автором впервые получены и охарактеризованы образцы топологических изоляторов Bi₂Te₃, Bi₂Se₃, Sb₂Te₃ со структурой тетрадимита, сохраняющие стойкость к окислению в течение нескольких месяцев. Впервые предложена и реализована методика по созданию материала Bi₂Te₃, в котором электронный p-n тип перехода реализуется в плоскости (0001) за счет естественной сегрегации компонентов при кристаллизации расплава и смены типа точечных дефектов.

Замечания:

1. По тексту (с.23) при обсуждении методов поиска оптимального состава говорится о невозможности применения традиционной абсорбционной спектроскопии из-за малости оптической толщины образцов. Однако, в GaSe экситонное поглощение является очень сильным и как раз приходится работать с очень тонкими пластинами толщиной в сотни микрон, а с другой стороны, использованные методы все таки относятся к традиционной абсорбционной спектроскопии.

2. Удивительно, что при анализе политипной структуры в GaSe (с.24) автор не использовал люминесцентную спектроскопию, которая позволяет легко различать различные политипы ($\epsilon, \beta, \delta, \gamma$), в том числе локально.

3. Непонятно, каким способом была измерена ширина р-п перехода (40нм) и на каких образцах.

4. Не приведены сравнительные характеристики качества кристаллов, выращенных классическим методом и в условиях осциллирующего режима теплового поля.

Актуальность разработок очевидна, это тот случай когда новые кристаллы обеспечивают рывок в развитии приборов нового поколения. Количество публикаций демонстрируют высокий уровень апробации работы и значимость полученных результатов. Автореферат позволяет судить, что диссертация является вполне завершённой научно-квалификационной работой. Диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Константин Александрович Кох заслуживает присуждения искомой учёной степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография

Отзыв составлен 17.06.2022.

Ведущий научный сотрудник

лаборатории роста кристаллов ИГМ СО РАН

доктор технических наук, специальность:

05.27.01 – твердотельная электроника, микроэлектроника и наноэлектроника

05.27.06 – технология полупроводников и материалов электронной техники

630090, г. Новосибирск

пр. ак. Коптюга, 3

ИГМ СО РАН

тел./факс: +7(383)3066388

e-mail: lisa@igm.nsc.ru

Исаенко Л.И. Ивановна

Подпись Л.И. Исаенко заверяю

Ученый секретарь

ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ
ЗАВ. КАНЦЕЛЯРИЕЙ
ШИПОВА Е.Е.
17.06.2022 г.

