

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт цветных металлов и материаловедения
Кафедра композиционных материалов и физико-химии металлургических процессов

АННОТАЦИЯ НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

«Оптические свойства германия и материалов на его основе при повышенных температурах»

22.06.01–технология материалов

05.16.06–порошковая металлургия и композиционные материалы

Научный руководитель д-р хим. наук, профессор  А. Ф. Шиманский

Выпускник  Р. А. Филатов

Красноярск 2018

Актуальность работы.

Производство инфракрасной (ИК) оптики является крупнейшей сферой потребления монокристаллического германия. Основными требованиями к монокристаллическому германию, как оптическому материалу, являются максимальная прозрачность, высокая оптическая однородность и минимальное количество дефектов. В рабочем диапазоне длин волн от 2,5 до 11 мкм при комнатной температуре коэффициент поглощения должен составлять $0,02 - 0,03 \text{ см}^{-1}$.

В качестве легирующей добавки, обеспечивающей заданные оптические свойства германия, традиционно используется Sb. Вместе с тем, легирование сурьмой не исключает нестабильность оптических свойств в широком интервале температуры. При возрастании температуры выше $45 \text{ }^\circ\text{C}$ оптическое пропускание кристаллов германия значительно снижается, соответственно, возрастает коэффициент поглощения α . Например, для кристаллов с УЭС, равным $3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, характеризующихся максимальной температурной стабильностью, при повышении температуры от комнатной до $60 \text{ }^\circ\text{C}$ коэффициент поглощения возрастает от $0,015$ до $0,065 \text{ см}^{-1}$.

Для регулирования свойств монокристаллов германия, как правило, производится легирование, однако, в отношении температурной стабильности оптических характеристик кристаллов данный подход недостаточно развит, имеющиеся в литературе данные носят, как правило, качественный характер. Для решения проблемы получения германия для инфракрасной оптики, работающей при повышенных температурах, требуется целенаправленный выбор легирующих добавок, исследование и разработка постростовых операций, а также формирование ростовых условий, обеспечивающих получение кристаллов германия с плотностью дислокаций не хуже порядка $\sim 10^4 \text{ см}^{-2}$.

В связи с этим тема диссертации, направленная на исследование оптических свойств германия при повышенных температурах является актуальной.

Цель работы – развитие научных основ и разработка технологических процессов получения монокристаллов германия с повышенной температурной стабильностью оптических свойств.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

– изучение влияния легирования на температурную стабильность оптических свойств германия;

- исследование влияния изотермического отжига на поведение растворенного в германии кислорода, дефектообразование с его участием и оптические свойства монокристаллов;

– разработка технологических режимов получения германия для инфракрасной оптики, работающей при повышенных температурах;

Научная новизна.

– Впервые доказано, что при добавлении в расплав германия, наряду с основной легирующей добавкой сурьмой, легирующих добавок кремния в количестве от $0,5 \cdot 10^{20}$ до $1,2 \cdot 10^{20}$ см⁻³ и теллура ($5 \cdot 10^{19}$ см⁻³) возрастает температурная стабильность оптических свойств монокристаллов. Максимальный эффект от легирования наблюдается в кристаллах с удельным электрическим сопротивлением 3 Ом·см, в случае тройного легирования при содержании кремния в количестве 0,15 ат.% с концентрацией теллура порядка $5 \cdot 10^{13}$ см⁻³ коэффициент поглощения на длине волны 10,6 мкм при температуре 60 °С снижается от значения 0,065 до 0,057 см⁻¹;

- установлено, что бинарное легирование германия сурьмой и кремнием в количестве от 0,2 до 0,6 ат.%, также повышает температурную стабильность оптических свойств кристаллов. При увеличении концентрации кремния до 0,6% для кристаллов с удельным электрическим сопротивлением 3 Ом·см коэффициент оптического поглощения при 60°С снижается от 0,065 до 0,057 см⁻¹;

- по результатам изучения влияние отжига в интервале температуры 623–723 К на поведение растворенного кислорода и оптические свойства монокристаллов германия установлено, что после отжига в среде с парциальным

давлением кислорода $P_{O_2} \approx 10^{-3}$ Па уменьшается интенсивность полосы в ИК-спектре германия, отвечающей колебаниям междоузельного кислорода, вследствие образования термодоноров на его основе. Экспериментально доказано, что снижение концентрации атомарного кислорода и образование термодоноров сопровождается повышением температурной стабильности оптических свойств кристаллов.

Практическая значимость.

- Разработаны технологические режимы получения германия для инфракрасной оптики, работающей при повышенных температурах;
- установлены параметры легирования германия и изотермического постростового отжига;
- результаты диссертационной работы внедрены в производственный цикл получения германия для инфракрасной оптики, работающей при повышенных температурах эксплуатации на предприятии АО «ГЕРМАНИЙ», г. Красноярск.

На защиту выносятся:

- Закономерности влияния легирующих добавок на оптические свойства германия при повышенных температурах;
- экспериментальные и расчетные данные по поведению кислорода в германии, как одного из факторов снижения оптического пропускания при повышенных температурах;
- технологические режимы получения германия для инфракрасной оптики, работающей при повышенных температурах.

Апробация работы.

Основные результаты работы доложены XIX Международной научной конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева «Решетневские чтения» (г. Красноярск, 2015), международной конференции студентов, аспирантов и

молодых учёных «Перспектива свободная 2015», IV Sino-Russian ASRTU Symposium on Advanced Materials and Processing Technology (2016 г).

Публикации.

Основное содержание диссертационной работы отражено в 5 статьях в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК и в 9 статьях в сборниках Международных и Всероссийских конференций.

Личный вклад автора заключается в постановке задачи, исследовании закономерностей влияния легирующих добавок на оптические свойства германия при повышенных температурах, исследовании влияния изотермического отжига на поведение растворенного кислорода в германии, разработке технологических режимов получения германия для инфракрасной оптики, работающей при повышенных температурах, проведении экспериментальных исследований оптических свойств кристаллов германия, обобщении экспериментальных данных, определении оптимальных режимов легирования и изотермического отжига германия, подготовке публикаций и заявки на патент в рамках диссертационной работы.