

Монокристаллы германия для фотоники

Кропотов Г.И.¹, Роголин В.Е.², Каплунов И.А.³

¹ООО «Тидекс», 194292, Санкт Петербург, ул. Кавалергардская, д. 6

²ИЭЭ РАН, 191186, Санкт Петербург, Дворцовая наб. 18

³ТвГУ, 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33

Германий (Ge) является первым материалом, в котором были обнаружены полупроводниковые свойства. Для этого пришлось разработать технологию очистки сырья от примесей и вырастить качественные монокристаллы, что привело к активному процессу разнообразнейших исследований его физико-химических свойств. Свойства оказались крайне чувствительны к содержанию даже незначительных концентраций примесей, особенно электроактивных. Значительное влияние на эксплуатационные свойства кристаллов, оказывает структурное совершенство. На следующем этапе выявилась, обусловленная практическими применениями, а также экономическими факторами, необходимость получения монокристаллов максимально большого размера. В итоге, в настоящее время существует промышленная технология получения бездислокационных монокристаллов германия. Содержание электроактивных примесей доведено до уровня 10^{-10} см⁻³, и даже менее.

Когда было налажено такое промышленное производство, то выяснилось, что чистый германий n-типа является одним из лучших оптических материалов для ИК области спектра. Он прозрачен в диапазоне 1,8–23 мкм, причем в области 2 – 11 мкм потери на поглощение удалось снизить до уровня $\sim 0.015-0.02$ см⁻¹. Однако в области 11–23 мкм присутствует ряд фоновых полос поглощения, которые резко ограничивают его применение в этом диапазоне; также имеется окно прозрачности в ТГц-диапазоне ($\sim 100-300$ мкм).

Для окон прозрачности атмосферы (диапазоны 3-5 мкм и 8-14 мкм), в послевоенные годы была начата разработка разнообразных оптических устройств, наиболее массовыми из которых являются тепловизионные приборы; однако развитие ИК техники во многом сдерживалось дефицитом прозрачных оптических материалов. В этих диапазонах большая часть прозрачных материалов, это кристаллы, обладающие колоссальными эксплуатационными недостатками. Среди них есть водорастворимые щелочно-галоидные кристаллы, мягкие, пластичные кристаллы группы КРС (на основе ядовитых солей таллия) и др. Оказалось, что по комплексу физико-химических Ge оказался для ряда применений в ИК технике наиболее предпочтительным материалом. Высокая твердость Ge (6.0, по Моосу) позволяет формировать высокоточные оптические детали, хорошо просветляемые даже однослойными покрытиями. Из Ge изготавливают полупрозрачные зеркала, высокоточные эталоны Фабри-Перо, акустооптические элементы и др. Доля разнообразных применений германия в ИК оптике составляет в настоящее время около 25–30% от общего потребления этого материала. Диаметр получаемых монокристаллов вполне приличного качества доведен до величины 500 мм (поликристаллов — до 620 мм).

Сейчас Ge является системообразующим материалом ИК фотоники для окна атмосферы 8-14 мкм. Он используется для изготовления деталей прозрачной оптики тепловизионных приборов. Помимо этого, детали из Ge применяется в большом числе оптических приборов там, где требуются механическая прочность, хорошие теплофизические свойства и климатическая устойчивость. Очень важны применения Ge в нелинейной оптике, в первую очередь в акустооптике. Из Ge изготавливают большое количество разнообразных фотоприемников. Авторами разработана собственная технология выращивания крупногабаритных монокристаллов. Подробно рассмотрены особенности влияния легирующих примесей и температуры на пропускание и рассеяние излучения в ИК спектральном диапазоне, изучены оптические свойства в ТГц области. Исследованы оптические свойства всех изотопов. Рассмотрен впервые обнаруженный авторами изотопический сдвиг полос поглощения в ИК области.