**Влияние магнитного поля на оптическое пропускание монокристаллов**

**германия и кремния**

***Егорова К.А1, Мариничева К.А.2, Ракунов П.А.3****1студент магистратуры, 2аспирант, 3аспирант*

*1,2,3Тверской государственный университет,*

*физико-технический факультет, Тверь, Россия*   
*E-mail:* *gugutsidze123456@mail.ru*

Монокристаллы германия (Ge) и кремния (Si) - полупроводниковые функциональные материалы, имеющие широкое применение в устройствах микроэлектроники, оптоэлектроники, твердотельной электроники, фотопреобразователях, ИК-оптики и оптики ТГц-диапазона (~100–300 мкм). Кристаллический германий является одним из основных материалов для среднего и дальнего ИК-диапазонов длин волн. Доля его применения в фотонике составляет около 25–30% от общего потребления этого материала [1]. В области длин волн (λ) 3–5 мкм используют преимущественно оптику из кристаллов кремния (Si), который значительно более доступен, а в диапазоне 8–14 мкм (где Si обладает высоким поглощением) активно применяют элементы из Ge. Оптические свойства монокристаллов как германия, так и кремния, определяются легирующей примесью, дефектностью структуры и характеристиками поверхности. Известно, что тепловые воздействия, а именно нагрев монокристаллов Ge до температур 50oC и выше, способствуют уменьшению коэффициента оптического пропускания (Т), изменению геометрии поверхности, что приводит к увеличению диффузного отражения [2]. Экспериментально установлено, что воздействие магнитного поля (МП) на полупроводник приводит к изменениям структурного совершенства решетки и электрофизических характеристик, что обусловлено возникновением в полупроводнике под действием МП кластеров френкелевских дефектов с аномально низкой энергией образования [3-5]. На сегодняшний день значительное количество публикаций посвящено влиянию магнитного поля на структуру, поверхность и свойства как упорядоченных магнетиков, так и магнито-неупорядоченных веществ.

Цель работы - исследование влияния постоянного магнитного поля на характеристики поверхности монокристаллов германия и кремния, а также оптические свойства этих материалов.

Исследования проводились на монокристаллах германия (удел. сопротивление = 20 Ом⋅см; n–тип) и кремния (= 380 Ом⋅см; n–тип). Обработка поверхности осуществлялась по стандартной оптической технологии. Оценка параметров полученных поверхностей проводилась на оптическом профилометре NanoMap 1000WLI, полученные данные обрабатывались в специальной программе Gwiddion. В качестве источника магнитного поля использована система из постоянных магнитов NdFeB, разработанная по принципу дипольной структуры Хальбаха, позволяющая получить внутри цилиндрической полости высокооднородное магнитное поле. Время воздействия магнитного поля с индукцией 1,85Тл составляло 300 секунд. Оптическое пропускание кристаллов было исследовано на ИК-фурье спектрометре в диапазоне 1,3-20 мкм. Протокол испытаний включал измерения параметров шероховатости и коэффициента оптического пропускания монокриcталлов Ge и Si до воздействия знакопеременного магнитного поля и после, в течение 24 часов, 72 часов, 7 суток, 14 суток, 25 суток.

Анализ исследуемых поверхностей монокристаллов позволяет сделать следующие выводы: в течение 24-48 часов после воздействия магнитного поля наблюдается уменьшение параметров шероховатости (Ra, Rz, Rq), которое сохраняется практически 7-10 суток, меняется рельеф и геометрия поверхности (рис.1). Затем с течением времени наблюдается постепенное увеличение параметров шероховатости до исходных значений (25 сутки).



|  |  |
| --- | --- |
| ***а*** | ***б*** |

***Рис.1****. 2D пр*офиль поверхности монокристалла кремния до воздействия магнитного поля (а) и после (72 часа) (б).

Проведенные измерения оптического пропускания монокристаллов германия и кремния продемонстрировали изменения коэффициента Т (табл.1). Кристаллы германия, и кремния претерпевают изменения поверхностных характеристик и оптических свойств, обусловленные перестройкой исходной дефектной структуры, образованием дефектно-примесных комплексов, стимулированные воздействием знакопеременного магнитного поля. Подобные дефектные комплексы были выявлены методом плазмо-химического травления в работе [5].

Табл.1. Значения коэффициента оптического пропускания Т.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Исходный | 24 часа после МП | 72 часа после МП | 7 суток | 25 суток |
| Ge  Т, % | 49,4 | 51,2 | 50,8 | 48,0 | 49,0 |
| Si  Т, % | 56,2 | 57,0 | 56,0 | 55,0 | 55,5 |

*Работа выполнена в рамках государственного задания по научной деятельности № 0817-2023-0006 с использованием ресурсов Центра коллективного пользования Тверского государственного университета*

**Литература**

1. Каплунов И. А., Рогалин В. Е. // Фотоника. 2019. Т. 13. № 1. С.88-106.
2. Иванова А.И.,и др. // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов». 2021. Вып.13. С.177-186.
3. Давыдов В. Н., Лоскутова Е. А., Найден Е. П. //Физика и техника полупроводников.1989. Т. 23. Вып. 9. С. 1596–1600
4. Макара В.А., Васильев, М.А., Стебленко Л.П. и др*.* // Физика и техника полупроводников. 2008. Т. 42. №. 9. С. 1061.
5. Гречкина М.В., Бормонтов Е.Н*. //* Конденсированные среды и межфазные границы*.* 2017. Т. 19. №. 1. С. 133-139.