



Арсенид галлия (GaAs)

Арсенид галлия является полупроводниковым материалом из класса соединений A^{III} B^V и представляет собой тёмносерый кристалл, обладающий металлическим блеском. Материал находит свое применение в инфракрасной оптике, а также в опто- и микроэлектронике.

Часто используются кристаллы арсенида галлия с примесями, которые, будучи введенными в кристаллическую решетку, могут занимать места как галлия, так и мышьяка, образуя растворы замещения, а также могут внедряться в решетку парами, замещая соседние разные атомы, либо входить в междоузлие. Свойства кристалла с примесями сильно зависят от взаимодействия примесей с собственными дефектами кристалла. Для изготовления инжекционных лазеров, светодиодов, фотокатодов и СВЧ-генераторов кристаллы сильно легируются кремнием. Для микроэлектроники применяется в основном нелегированный полуизолирующий GaAs. [1]

Технологии выращивания арсенида галлия различны. Кристаллы изготавливаются методом Чохральского, зонной плавки, а также вертикально и горизонтально направленной кристаллизации.

Стоит заметить, что в оптике используется исключительно нелегированный полуизолирующий GaAs. При использовании маломощных CO₂-лазеров с длиной волны 9.6-10.6 микрона арсенид галлия является альтернативой селениду цинка и может применяться для изготовления линз и светодетекторов. Также, за счёт своих нелинейных свойств, кристаллы арсенида галлия могут применяться в терагерцовой фотонике для генерации ТГц излучения.

Физические и химические свойства GaAs

Плотность @ 300 К, г/см ³	5.32
Количество атомов в 1 см ³	2.21 · 10 ²²
Постоянная решетки, нм	0.56534
Твердость (по Моссу)	4.5
Модуль Юнга (E), ГПа	82.68
Модуль объемной деформации, ГПа	75.5
Коэффициент Пуассона	0.31
Кристаллическая структура	Цинковой обманки
Химическая стабильность	не растворим в воде
Атомная масса	144.63

Термические свойства GaAs

Температура плавления, К	1511
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)	55
Коэффициент теплового расширения, К ⁻¹	5.9 · 10 ⁻⁶
Удельная теплоемкость при 273К, кал/(г·К)	0.076
Коэффициент тепловой диффузии, см ² /с	0.44
Температура Дебая, К	360

Электронные свойства GaAs

Диэлектрическая постоянная при 300К	10.88
Работа выхода, эВ	4.7
Время жизни неосновных носителей, с	10
Дрейфовая подвижность электронов см ² /(В·с)	8500
Дрейфовая подвижность дырок см ² /(В·с)	400
Эффективная масса электронов m*/m ₀	0.068m ₀
Ширина запрещенной зоны при 300К, эВ	1.43
Собственная концентрация носителей заряда, см ⁻³	1.1 · 10 ⁻⁷
Сродство к электрону, эВ	4.07

Оптические свойства GaAs

Нелегированный полуизолирующий GaAs обладает хорошим пропусканием в среднем ИК диапазоне на длинах волн от 1 до 15 мкм, а также в терагерцовом диапазоне частот (λ = 100-3000 мкм).

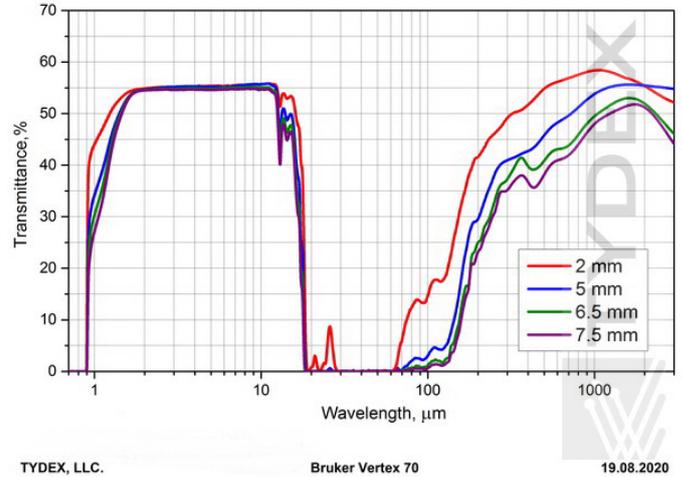


Рис. 1. Спектры пропускания арсенида галлия толщиной 2.0, 5.0, 6.5 и 7.5 мм.

Иногда, например, в лазерных дальномерах, окна из арсенида галлия используются на длинах волн 1.064 и 1.55 микрона. В таких случаях требуется максимально возможное пропускание окон в диапазоне от 1 до 2 микрон, которое, при заданной толщине окна, определяется исключительно технологией выращивания кристалла. Наша компания использует кристаллы арсенида галлия с максимально возможным пропусканием в данной области. Коэффициенты поглощения и подробные спектры пропускания излучения в этом диапазоне могут быть предоставлены по требованию.

Также заметим, что пологая форма спектра на рис.1 в диапазоне 0.9-2.5 микрона отличает арсенид галлия от, например, германия и кремния (см. рис. 2), и обусловлена возбуждением глубоких примесей, всегда образующихся в кристалле GaAs в процессе его выращивания и доведения до полуизолирующего состояния.

Также в кристалле арсенида галлия может проявляться линейный электрооптический эффект (эффект Погкельса), который заключается в изменении показателя преломления под действием внешнего электрического поля. При приложении внешнего электрического поля кристалл становится оптически анизотропным, что проявляется в изменении показателя преломления для световой волны, поляризованной параллельно внешнему электрическому полю.

$$\text{Изменение показателя преломления } \Delta n: \Delta n = r \cdot n_0^3 \cdot \frac{E_{\text{ВН}}}{2}$$

где r - тензор линейного электрооптического эффекта, n_0 - показатель преломления вещества без электрического поля, $E_{\text{ВН}}$ - напряженность внешнего электрического поля.

Так как арсенид галлия относится к кубическим кристаллам, отличными от нуля являются следующие компоненты тензора r_{ij} : $r_{41} = r_{52} = r_{63} = r$. Ниже представлена таблица со значениями коэффициентов линейного электрооптического эффекта для GaAs. Надстрочным индексом T или S обозначаются низко- (от нуля до звуковых частот) и высокочастотные коэффициенты, соответственно. [2]



Арсенид галлия (GaAs)

λ, микроны	Обозначение коэффициента	Значение коэффициента
0.9	r_{41}^S	1.2 ± 0.05
1.08	r_{41}^S	1.2 ± 0.05
1.15	r_{41}^T	1.43 ± 0.05
3.39	r_{41}^T	1.24 ± 0.04
3.39	r_{41}^S	1.5 ± 0.1
4	r_{41}^T	1.1 ± 0.1
10.6	r_{41}^T	1.6 ± 0.1
10.6	r_{41}^S	1.5 ± 0.1
12	r_{41}^T	1.1 ± 0.1

Дисперсия показателя преломления для ИК диапазона длин волн [3]:

λ, микроны	n	λ, микроны	n	λ, микроны	n
1.127	3.455	8	3.315	15	2.730
1.15	3.444	9	3.250	17	2.590
2.39	3.326	10	3.309	18	2.410
2.87	3.330	11	3.040	21.9	2.120
5.1	3.300	13	2.970	23	3.182
6	3.320	13.7	2.890	25	3.133
7	3.318	14.5	2.820		

Также на основании результатов собственных измерений методом терагерцовой спектроскопии во временной области нами была рассчитана дисперсия показателя преломления для терагерцового диапазона частот:

λ, микроны	n	λ, микроны	n	λ, микроны	n
110	3.693	700	3.660	1500	3.661
200	3.668	800	3.661	1600	3.661
300	3.662	900	3.661	1800	3.660
400	3.661	1000	3.662	2000	3.661
500	3.660	1200	3.661	2500	3.663
600	3.660	1300	3.661	3000	3.655

Сравнение с германием и кремнием

На рисунке 2 представлены спектры пропускания образцов оптического (нелегированного, полуизолирующего) арсенида галлия, оптического (высокоомного, почти собственного) германия и высокоомного (с удельным сопротивлением более 10 КОмхсм) кремния. Спектры от начала диапазона пропускания вблизи 1-2 и до 2500 микрометров приводятся для наглядности и должны облегчить выбор наиболее подходящего материала для ваших нужд.

Арсенид галлия используется нами для изготовления окон, линз и призм, применяющихся в пропускающей оптике для ИК и ТГц диапазонов частот. Также мы изготавливаем и компоненты нелинейной оптики из данного материала.

Обращаем ваше внимание на то, что мы не поставляем арсенид галлия в необработанном виде, а только готовые, полированные компоненты.

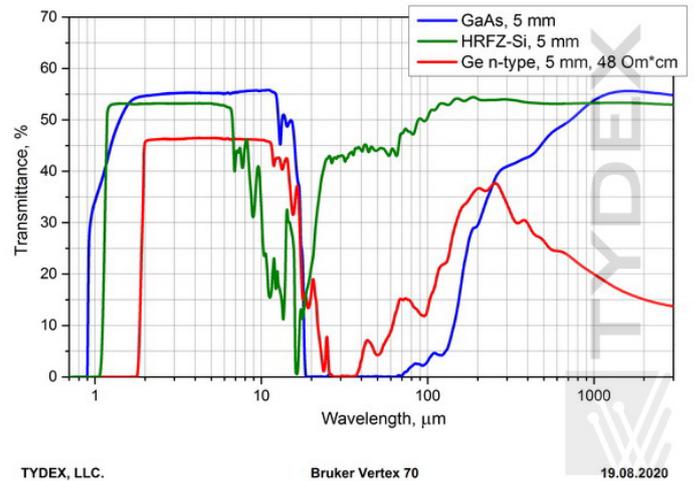


Рис. 2. Спектры пропускания арсенида галлия, кремния и германия.

Список литературы:

1. А. Магунов, Б. Лапинов Экспериментальное определение температурной зависимости показателя преломления полупроводниковых материалов, Фотоника, No 5 / 59 / 2016.
2. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах, Москва: Издательство «Мир», 1987
3. Серафин Б., Беннетт Х. Оптические параметры ряда соединений AIII BV // Оптические свойства полупроводников (полупроводниковые соединения типа A(III)B(V). Под ред. Р. Уиллардсона и А. Бира. Москва: Издательство «Мир», с.445-486
4. Шалимова К. В. Физика полупроводников: Учебник. 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2010