

УДК 621.315.592

ПРИМЕНЕНИЕ, ПОЛУЧЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕГО АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

А. П. Оксанич, М. С. Андросюк, В. А. Тербан

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: oksanich@kdu.edu.ua

Для промышленного изготовления электрических и оптических элементов из GaAs предъявляются требования по удельному сопротивлению, однородности, совершенству структуры, отсутствию включений. Для достижения предъявляемых требований авторами были разработаны методы определения оптической однородности полуизолирующего GaAs с различными электрическими свойствами, и проведена оценка оптической однородности экспериментальных образцов. На основе полученных экспериментальных данных была определена зависимость величины коэффициента поглощения от удельного сопротивления, концентрации легирующей примеси, плотности дислокаций для исследуемых образцов. Исследовано влияние легирующих примесей на удельное сопротивление кристаллов GaAs. Разработана конструкция теплового узла, позволяющая выращивать монокристаллы полуизолирующего GaAs, легированного Cr с плотностью дислокаций $<10^4 \text{ см}^{-2}$.

Ключевые слова: монокристаллический арсенид галлия, коэффициент поглощения, плотности дислокаций, окна лазеров, удельное сопротивление.

ЗАСТОСУВАННЯ, ОТРИМАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВІЗОЛЮЮЧОГО АРСЕНІДУ ГАЛІЮ

А. П. Оксанич, М. С. Андросюк, В. А. Тербан

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: oksanich@kdu.edu.ua

Для промислового виготовлення електричних та оптичних елементів із GaAs висуваються вимоги до питомого опору, однорідності, досконалості структури, відсутності включень. Для досягнення поставлених цілей авторами було розроблено методи визначення оптичної однорідності напівізолюючого GaAs із різними електричними властивостями, і проведено оцінку оптичної однорідності експериментальних зразків. На основі отриманих експериментальних даних була визначена залежність величини коефіцієнту поглинання від питомого опору, концентрація легирующей домішки, щільності дислокацій для досліджуваних зразків. Досліджено вплив легируючих домішок на питомий опір кристалів GaAs. Розроблено конструкцію теплового вузла, який дозволяє вирощувати монокристали напівізолюючого GaAs, легованого Cr із щільністю дислокацій $< 10^4 \text{ см}^{-2}$.

Ключові слова: монокристалічний арсенид галію, коефіцієнт поглинання, щільність дислокацій, вікна лазерів, питомий опір.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Среди всех известных полупроводниковых соединений ведущее место в настоящее время принадлежит соединения A_3B_5 и, в первую очередь, GaAs. Благодаря уникальному сочетанию свойств – большая ширина запрещенной зоны, высокая подвижность носителей заряда, возможность прямых межзонных переходов, стойкость к радиоактивным излучениям и т.д. – арсенид галлия нашел широкое применение в электронике, электротехнике, радиотехнике.

Полуизолирующий GaAs – это материал, обладающий электрооптическим эффектом. При отсутствии поля такой кристалл является оптически изотропным. Под воздействием электрического поля кристалл становится двоякопреломляющим. Приращенная показателя преломления пропорциональны приложенному полю, потому полуизолирующий GaAs можно использовать для модуляции интенсивности, фазы или поляризации светового луча, проходящего через кристалл. При изготовлении газовых лазеров большое значение имеет качество окон и поляризованного излучение. Они должны поглощать минимальное количество энергии луча.

Для промышленного изготовления электрических и оптических элементов из GaAs необходимо не только максимальное удельное сопротивление,

но и высокое совершенство структуры кристаллов. Внутренние напряжения и деформации могут привести к остаточному двойному лучепреломлению и, следовательно, вызвать деполаризацию оптического луча, что приведет к снижению выходной мощности источника излучения [1, 2].

Оптические элементы из полуизолирующего GaAs не должны также оказывать влияние на волновой фронт происходящего излучения (изменение расходимости пучка, явление интерференции и т.д.)

Такое влияние могут оказывать как включения в объеме материала (имеющие размеры соизмеримые с λ), так и несовершенства на поверхности оптических элементов (окон, поляризаторов).

Таким образом для окон мощных CO_2 -лазеров необходимы кристаллы больших диаметров, а для модуляторов – больших длин. Это ставит перед технологами задачу по разработке высококачественных полуизолирующих кристаллов GaAs, удовлетворяющих перечисленным требованиям по удельному сопротивлению, однородности, совершенству структуры, отсутствию включений и т.д. [3–5].

Поэтому целью настоящей работы является разработка теплового узла для выращивания полуизолирующего GaAs с оптически качественными характеристиками и исследование этих характеристик.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ІССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования свойств полуизолирующего арсенида галлия были определены его оптические и электрические параметры. С помощью прецизионной калориметрии измеряли коэффициент поглощения на образце арсенида галлия с удельным сопротивлением $3 \cdot 10^8$ Ом·см. Через образец длиной 5 см с полированными и просветлёнными торцами пропускали линейно-поляризованный луч CO_2 -лазера мощностью 50 Вт. Полученная величина составляла $0,012 \pm 0,002$ см⁻¹. Это значение хорошо согласуется с величиной коэффициента поглощения $0,02 \pm 0,003$ см⁻¹, полученной на образцах арсенида галлия, легированных хромом ($\rho \sim 4 \cdot 10^7$ Ом·см) в луче мощностью 50 Вт. Теоретическое значение величины коэффициента поглощения, рассчитанное авторами составляет $0,03$ см⁻¹ и обусловлено процессами, происходящими при взаимодействии лазерного излучения с кристаллической решеткой арсенида галлия.

В большинстве случаев полуизолирующий GaAs получают либо преднамеренной компенсацией остаточной донорной примеси в низкоомном GaAs путем введения мелких акцепторов (Zn, Cd), либо введением примесей, образующих более глубокие акцепторные уровни.

Однако оба способа имеют существенные недостатки. Так, введение мелких акцепторов уменьшает вероятность получения полуизолирующего GaAs, т.к. пределы легирования очень ограничены; кроме того, становится почти невозможным учесть концентрацию «фоновых» доноров в исходном материале, подлежащих компенсации во время процесса кристаллизации.

Легирование GaAs примесями, образующими глубокие урени (Cr, Fe, Mn), позволяет получить более высокие значения удельного сопротивления.

Наши исследования показали, что при легировании Cr удельное сопротивление кристаллов GaAs составляет 10^6 – 10^8 Ом·см при элементарном содержании Cr в кристалле $(4\text{--}6) \cdot 10^{16}$ см⁻³. Однако, получение кристаллов с такими значениями удельного сопротивления нестабильно вследствие непостоянства фона остаточных донорных примесей.

С целью стабилизации фона донорных примесей целесообразно вводить в расплав параллельно с глубоким акцептором (в нашем случае Cr) и мелкий донор (например, Sn). Это обеспечивает получение кристаллов со стабильно высоким значением удельного сопротивления, но для компенсации искусственного создания донорного фона приходится увеличивать содержание вводимого Cr до $(5\text{--}8) \cdot 10^{15}$ см⁻³ (в кристалле). Однако приборы, изготавливаемые на таком материале, имеют линейные характеристики, большие утечки через поверхностный слой, что обусловлено несвязанными мелкими донорными и акцепторными состояниями. Существенным недостатком получения таким способом полуизолирующих монокристаллов является также наличие большой концентрации Cr ($\geq 5 \cdot 10^{16}$ см⁻³), что затрудняет использование такого материала для ионной имплантации при изготовлении СВЧ-приборов. Поэтому была рассмотрена возможность одновремен-

ного введения Cr и O₂ в расплав GaAs. Из литературных данных известно [4], что присутствие O₂ в GaAs одновременно с Cr позволяет снизить концентрацию вводимого Cr до $5 \cdot 10^{15}$ – $5 \cdot 10^{16}$ см⁻³, созданное при этом удельное сопротивление на уровне 10^6 – 10^8 Ом·см, при условии, что

$$N_a > N_d \text{ и } N_{dd} > N_a,$$

где N_a – концентрация мелкого акцептора; N_d – концентрация мелкого донора; N_{dd} – концентрация глубокого донора, а некомпенсированные избыточные глубокие доноры должны обеспечить высокое удельное сопротивление.

Поведение O₂ в GaAs имеет сложный характер. Во-первых, кислород влияет на электрическую активность Si в расплаве GaAs и уменьшает взаимодействие расплава с кварцем, т.е. снижает содержание Si до концентрации $N_a - N_d > O_2$; во-вторых, O₂ образует глубокие энергетические уровни, располагающиеся практически посередине запрещенной зоны, что обеспечивает условие $N_{dd} - N_a = N_d$.

Поэтому, чтобы снизить концентрацию Cr в полуизолирующем GaAs, сохраняется удельное сопротивление материала на уровне 10^6 – 10^8 Ом·см, нами был использован метод легирования GaAs хромом и кислородом совместным введением их в расплав в виде Cr₂O₃.

Легирование осуществляли двумя способами: либо непосредственным введением в расплав порошкообразной окиси хрома, либо предварительным сплавлением V₂O₃ с Cr₂O₃ и последующим легированием расплава из флюса. От второго способа пришлось отказаться, т.к. получаемый после сплавления с Cr₂O₃ борный ангидрид был почти непрозрачным, что резко ухудшало видимость и затрудняло монокристаллический рост. Поэтому в дальнейшем Cr₂O₃ в виде порошка помещали в тигель вместе с загрузкой исходного GaAs. Количество Cr₂O₃ составило 0,03 вес.%. Легирование Cr₂O₃ позволило снизить содержание Cr в кристаллах до $(1\text{--}3) \cdot 10^{16}$ см⁻³ при сохранении удельного сопротивления на уровне 10^6 – 10^8 Ом·см.

Выращивание монокристаллов полуизолирующего GaAs диаметром 75 мм проводилось на установке типа «Арсенид» из кварцевых тиглей диаметром 153 мм при загрузке GaAs 4 кг.

Конструкция теплового узла представлена на рис. 1. Основное отличие используемого теплового узла заключается в том, что вместо односекционного фонового нагревателя использовался двухсекционный фоновый нагреватель. В ходе проведения экспериментов по выращиванию монокристаллов полуизолирующего GaAs не обнаружено никаких особенностей в процессе кристаллизации по сравнению с выращиванием монокристаллов GaAs, легированных теллуром. Кристаллы выращивают со скоростью подъема заправки 0,25 мм/мин, скорости вращения заправки и тигля 10 и 3 об/мин соответственно.

Кристаллы GaAs, предназначенные для использования в качестве элементов ИК-оптики: различные модуляторы, окна лазеров, поляризаторы ИК-

излучения должны быть прозрачными и оптически однородными в рабочем диапазоне длин волн.

Рассмотрим свойства выращенных нами кристаллов в соответствии с этими требованиями.

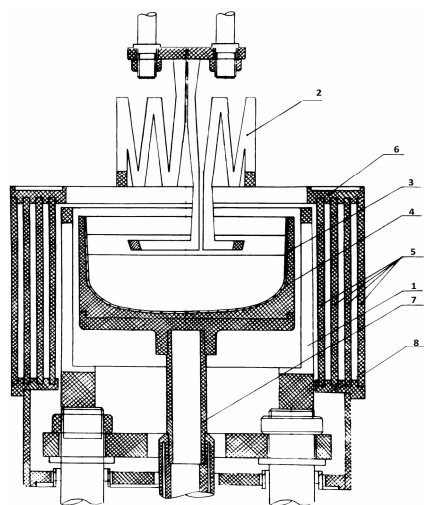


Рисунок 1 – Конструкция теплового узла, применяемого при получении монокристаллов GaAs диаметром 75 мм: 1 – основной нагреватель; 2 – фоновый нагреватель; 3 – кварцевый тигель; 4 – подставка под тигель; 5 – экран; 6 – верхняя крышка; 7 – ножка; 8 – подставка под экран

Оптическое поглощение, прозрачность материала можно охарактеризовать величиной его коэффициента поглощения α . Для полуизолирующего GaAs величина $\alpha_{10,6}$ колеблется от 0,012 до 0,03 см^{-1} .

Коэффициент поглощения выращенных нами кристаллов определяли по скорости нагрева образца при прохождении через него излучения CO_2 -лазера мощностью 50 Вт в непрерывном режиме с $\lambda=10,6$ мкм. Схема установки приведена на рис. 2.

Излучение газового лазера (1), пройдя две ограничивающие диафрагмы (2), попадает на образец GaAs (3), помещенный в термостат (4). Температура образца измеряется термопарой (5), а пришедшая через образец мощность – измерителем мощности (6).

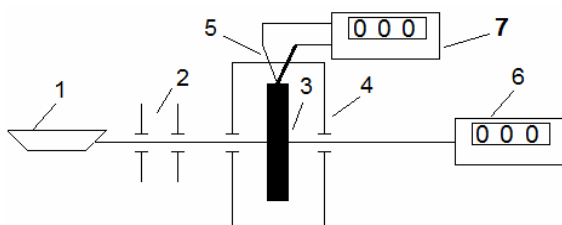


Рисунок 2 – Схема установки, используемой для измерения коэффициента поглощения $\alpha_{10,6}$: 1 – лазер на CO_2 с $\lambda=10,6$ мкм; 2 – ограничивающие диафрагмы; 3 – испытуемый образец; 4 – термостат; 5 – термопара; 6 – измеритель мощности; 7 – цифровой вольтметр

Мощность поглощаемая образцом

$$P_{\text{погл}} = \left[\frac{cm\Delta T}{\tau} \right], \text{ где } c - \text{теплоемкость GaAs, равная}$$

0,08 кал/г·град, m – масса образца, τ – время воздействия излучения.

Коэффициент поглощения определяется из соотношения:

$$\alpha_{10,6} = \frac{1}{l} \cdot \frac{P_{\text{погл}}}{P_{\text{пад}}}$$

в котором l – длина траектории излучения в образце, $P_{\text{пад}}$ – падающая мощность.

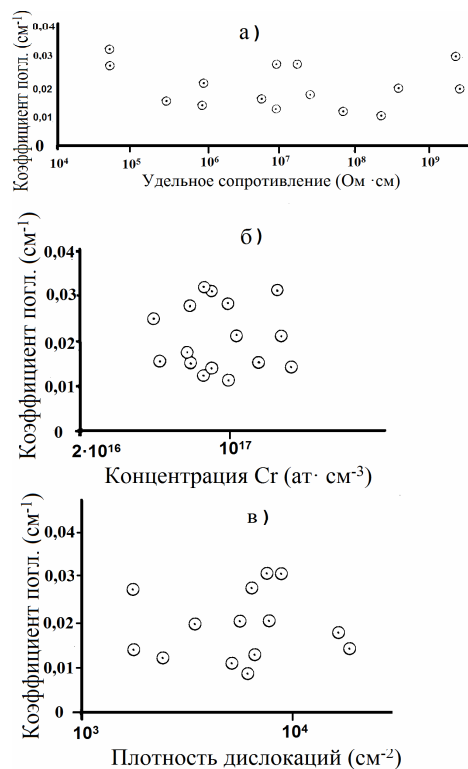


Рисунок 3 – Зависимость величины коэффициента поглощения (α) на длине волны 10,6 мкм от удельного сопротивления (а), концентрации (б), плотности дислокаций (в)

В табл. 1 представлены параметры исследованных образцов. Для оценки влияния различных параметров на величину α были выбраны образцы с различным удельным сопротивлением, концентрацией глубокой легирующей примеси, плотностью дислокаций.

На рис. 3 приведены величины коэффициентов поглощения исследованных образцов в зависимости от удельного сопротивления (а), концентрации глубокой примеси (б) и плотности дислокаций (в). В исследованном диапазоне изменения этих свойств ($\rho > 10^4$ Ом·см; концентрации примеси $< 2 \cdot 10^7$ ат·см⁻³ и плотности дислокаций $< 2 \cdot 10^4$ см⁻²) не удалось обнаружить их заметное влияние на оптическое поглощение образцов.

Наблюдаемый разброс величины α и относительно высокое значение ($\sim 0,03$ см⁻¹) объясняются, по-видимому, недостаточно хорошей подготовкой поверхности исследованных образцов. Поверхность была химически полирована. Исследования, проведенные нами на пластинах полуизолирующего GaAs

с оптически полированными поверхностями, показали, что коэффициент поглощения $\alpha_{10,6}$ лежит в диапазоне $(0,8-1,5) \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$. Пластины были изготовлены из кристаллов представленных в табл. 2 и были предназначены для окон лазеров на CO_2 . Та-

ким образом, полученные нами кристаллы обладают прозрачностью, соизмеримой или лучшей по сравнению со свойствами полуизолирующего GaAs по опубликованным данным.

Таблица 1 – Параметры исследованных образцов арсенида галлия, легированного хромом

№ п/п	№ образцов	Удельное сопротивление (Ом·см)	Концентрация хрома ($\text{ат}\cdot\text{см}^{-3}$)	Плотность дислокаций (см^{-2})	Коэффициент поглощения (см^{-1})	Ориентация
1.	4-162-10	$2,2 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^{17}$	$9,0 \cdot 10^3$	0,031	(111)
2.	4-163-7	$7,0 \cdot 10^7$	$7,6 \cdot 10^{16}$	$5,3 \cdot 10^3$	0,012	(111)
3.	4-163-10	$2,4 \cdot 10^8$	$1,0 \cdot 10^{17}$	$5,8 \cdot 10^3$	0,011	(111)
4.	4-162-6	$3,0 \cdot 10^9$	$8,0 \cdot 10^{16}$	$8,0 \cdot 10^3$	0,031	(111)
5.	4-162-8	$2,2 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{17}$	$8,0 \cdot 10^3$	0,021	(111)
6.	4-29-16	$9,6 \cdot 10^6$	$8,3 \cdot 10^{16}$	$6,6 \cdot 10^3$	0,013	(111)
7.	4-29-8	$9,6 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^{16}$	$6,7 \cdot 10^4$	0,028	(111)
8.	АГХО-8-12	$2,9 \cdot 10^5$	$4,7 \cdot 10^{16}$	$1,8 \cdot 10^4$	0,016	(111)
9.	АГХО-8-15	$2,7 \cdot 10^7$	$6,4 \cdot 10^{16}$	$1,7 \cdot 10^3$	0,018	(111)
10.	4-163-13	$9,0 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^{17}$	$5,8 \cdot 10^3$	0,021	(111)

Таблица 2 – Свойства выращенных монокристаллов GaAs, легированных хромом и оловом

№ п/п	№ опытов	Уд. сопротивление (Ом·см)		№ п/п	№ опытов	Уд. сопротивление (Ом·см)	
		начало	конец			начало	конец
1	4-603	$9,0 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^8$	9	4-239	$2,9 \cdot 10^8$	$6,3 \cdot 10^8$
2	4-609	$3,5 \cdot 10^8$	$3,8 \cdot 10^8$	10	4-235	$2,5 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^5$
3	4-623	$2,1 \cdot 10^8$	$2,3 \cdot 10^8$	11	4-242	$3,3 \cdot 10^8$	$6,2 \cdot 10^8$
4	4-43	$2,2 \cdot 10^8$	$4,0 \cdot 10^8$	12	4-246	$3,5 \cdot 10^8$	$8,8 \cdot 10^8$
5	4-44	$2,4 \cdot 10^8$	$9,6 \cdot 10^8$	13	4-251	$6,0 \cdot 10^8$	$4,8 \cdot 10^8$
6	4-52	$3,4 \cdot 10^8$	$6,1 \cdot 10^8$	14	4-283	$6,3 \cdot 10^8$	$6,8 \cdot 10^8$
7	4-150	$4,7 \cdot 10^6$	$4,4 \cdot 10^8$	15	4-257	$9,6 \cdot 10^8$	$7,7 \cdot 10^8$
8	4-88	$4,0 \cdot 10^8$	$1,0 \cdot 10^9$	16	4-354	$6,5 \cdot 10^8$	-

Совершенный монокристалл арсенида галлия является оптически изотропной средой, и эффект двойного лучепреломления в нем может возникать только при наложении электрического поля (эффект Керра). Этот эффект используется при изготовлении на основе полуизолирующего GaAs электрооптических модуляторов ИК-излучения. Однако двойное лучепреломление может возникнуть в кристаллах и без наложения электрического поля, если последние обладают внутренними напряжениями, неоднородностью электрических свойств, выделениями или включениями вторых фаз в объеме. Наличие таких дефектов может привести к оптической анизотропии и к вращению плоскости поляризации излучения, поэтому нами были определены зависимости оптической однородности арсенида галлия.

Образцы для исследований оптической однородности материала представляли собой плоскопараллельные пластины размером $2 \times 20 \times 65$ мм, вырезанные из кристаллов GaAs. Поверхность пластин подвергали оптической полировке.

Для оценки оптической однородности GaAs использовали два метода. Первый метод был основан на сканировании пучка излучения с длиной волны 1,1 мкм вдоль поверхности пластин с целью обнаружения возможных локальных неоднородностей в материале. В качестве приемника ИК-излучения использовали микрофотометр. Принципиальная схема используемой установки приведена на рис. 4. Погрешность измерения составляла 0,1 %. Диаметр пучка излучения, сфокусированного на поверхности пластины, составлял ≈ 10 мкм, поэтому разрешение метода определялось толщиной пластины (2 мм).

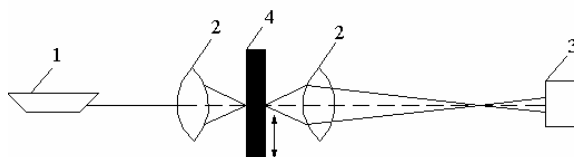


Рисунок 4 – Схема установки, используемой для оценки локальной неоднородности пластин GaAs:
1 – лазер CO_2 с $\lambda=1,1 \text{ мкм}$; 2 – объективы;
3 – фотоприемник; 4 – исследуемый образец

На рис. 5 представлена типичная зависимость относительного оптического пропускания исследованных образцов по длине пластин. Видно, что прозрачность по длине пластин изменяется приблизительно в два раза, т.е. пластины оказались оптически неоднородными на длине излучения 1,1 мкм. По-видимому, этот эффект связан с сегрегацией хрома по длине кристаллов, т.к. пластины вырезали вдоль кристаллов.

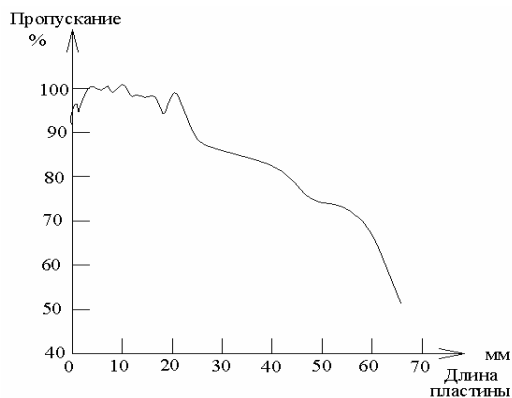


Рисунок 5 – Относительное оптическое пропускание пластины GaAs на длине волны 1,1 мкм по длине образца

Однако, пластины – оптически неоднородные на длине волны 1,1 мкм, могут быть однородными в более длинноволновой области спектра и, в частности, на длине волны 10,6 мкм.

Для оценки оптической однородности пластин в этой области излучения использовали второй метод: снимали спектры пропускания в диапазоне длин волн от 2,5 до 15,0 мкм. Для этого использовали спектрофотометр ФСМ-1201.

Погрешность измерений составляла $\approx 2\%$. Диаметр пучка излучения составлял ≈ 5 мм. Результаты измерений приведены на рис. 6, где представлены типичные спектры пропускания исследованных образцов.

Для того, чтобы обнаружить влияние эффекта сегрегации примесей по длине пластин, спектры снимали в начале и конце каждой пластины (цифры 1 и 2, соответственно). Видна полная идентичность обоих спектров, т.е. в диапазоне длин волн от 2,5 до 15,0 мкм пластины из полуизолирующего арсенида галлия являются оптически однородными. Для оценки влияния обработки поверхности пластин на оптическое пропускание был снят спектр пропускания пластины полуизолирующего GaAs, обе поверхности которой были прошлифованы на порошке М-5 (кривая 3 на рис. 6). Как и следовало ожидать, прозрачность шлифованных пластин существенно ниже прозрачности полированных.

Еще один метод, который мы использовали для определения оптической однородности выращенных монокристаллов, – это определение величины остаточного потока поляризованного света после прохождения его через кристалл и скрещенный анализатор.

Оптически неоднородные кристаллы меняют поляризацию излучения, что приводит к значительной величине остаточного потока. Использование этого метода позволяет оценить интегральную величину неоднородности. Измерения проводили на образцах размерами $3 \times 3 \times 100$ мм, вырезанных из кристаллов полуизолирующего GaAs.

Измерения, проведенные на большом количестве образцов (>30 шт.) показали, что величина остаточного светового потока колеблется в пределах 1–5%. Причем такие колебания наблюдались даже в образцах, вырезанных из одного кристалла.

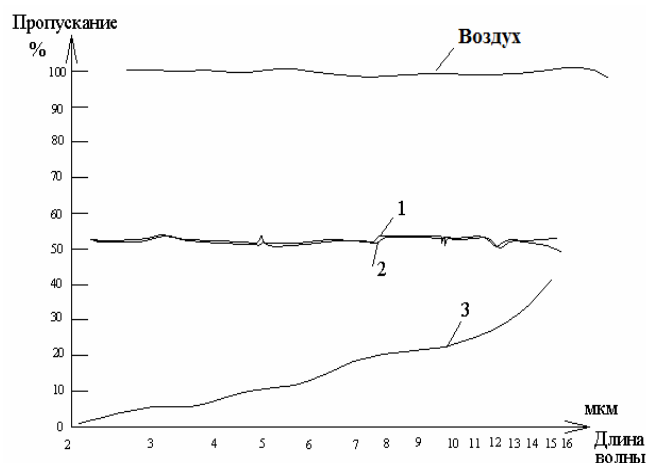


Рисунок 6 – Спектр пропускания пластин GaAs: 1, 2 – спектр снят на двух противоположных концах полированной пластины; 3 – спектр снят на шлифованной поверхности

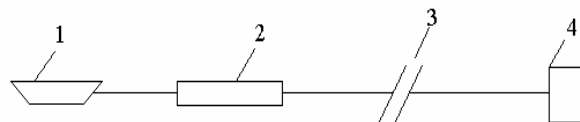


Рисунок 7 – Схема установки, используемой для оценки оптической неоднородности кристаллов GaAs: 1 – лазер CO₂ с $\lambda=1,1$ мкм; 2 – кристалл GaAs; 3 – анализатор; 4 – приемник ИК-излучения

Принципиальная схема используемой установки представлена на рис. 7. Плоскополяризованный свет от CO₂-лазера (1) направляли вдоль оси образца (2), торцы которого оптически полировали и просветляли. Выходящий из кристалла луч попадал в анализатор (3), ось пропускания которого была перпендикулярна направлению поляризации падающего света.

В качестве анализатора использовали две оптически полированные пластины высокоомного германия, установленные под углом Брюстера к оси образца.

Из-за высокого значения показателя преломления германия ($n=4$) две пластины позволяли получить степень поляризации 99%. С помощью приемника инфракрасного излучения (4) регистрировали остаточный световой поток.

Для использования полуизолирующего GaAs в качестве электрооптических модуляторов желательно, чтобы величина остаточного светового потока была минимальной. При этом считается допустимой величина остаточного потока $\leq 5\%$ от максимальной интенсивности падающего излучения при длине модулятора 100 мм.

Для исследования возможной причины такой неоднородности провели следующий эксперимент: пластину GaAs длиной 65 мм и шириной 10 мм вырезанную вдоль кристалла, удельное сопротивление которого в начале и конце составляло $3,5 \cdot 10^8$ и $8,8 \cdot 10^8$ Ом·см, соответственно, разрезали на восемь частей. В каждой из них измерили удельное сопро-

тивление и коэффициент Холла. Результаты измерения приведены в табл. 3 и на рис. 8.

Таблица 3 – Распределение электрических свойств вдоль полуизолирующей пластины арсенида галлия

Порядковый номер образца	Электрические свойства (300 К)		
	(см ⁻³)	(Ом·см)	(см ² ·В ⁻¹ ·с ⁻¹)
1	—	—	—
2	5,2·10 ⁶	7,0·10 ⁸	1,8·10 ³
3	7,0·10 ⁶	4,4·10 ⁸	2,0·10 ³
4	9,1·10 ⁶	2,8·10 ⁸	2,5·10 ³
5	—	—	—
6	3,8·10 ⁶	5,2·10 ⁸	3,5·10 ³
7	5,4·10 ⁶	4,1·10 ⁸	2,9·10 ³
8	2,8·10 ⁶	6,6·10 ⁸	3,4·10 ³

Из рассмотренных данных следует, что пластина является электрически неоднородной, причем удельное сопротивление изменяется приблизительно в 2,5 раза. Характерным является тот факт, что изменение величины ρ не является монотонным, как это должно следовать из эффекта сегрегации хрома и олова по длине слитка.

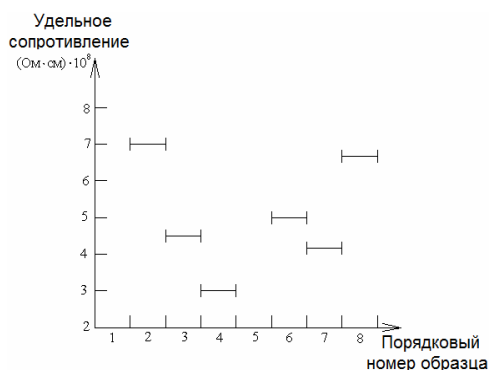


Рисунок 8 – Распределение удельного сопротивления по длине пластины GaAs

Возможными причинами наблюдаемой электрической неоднородности являются, по-видимому, процессы, которые приводят к изменению донорного "фона" в кристаллах, т.е. к изменению степени компенсации материала.

Это могут быть как процессы, происходящие на фронте кристаллизации, связанные с неоднородным распределением примесей, по длине и сечению слитков, так и процессы, происходящие при охлаждении кристаллов от температуры выращивания, связанные с различного рода взаимодействиями, например, примесей с дефектами структуры и т.д.

ВЫВОДЫ. 1. Разработана конструкция теплового узла, позволяющая выращивать монокристаллы полуизолирующего GaAs, легированного Cr с плотностью дислокаций $<10^4$ см⁻².

2. Разработаны методы определения оптической однородности полуизолирующего GaAs с различными электрическими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курик М.В. О точности определения коэффициента поглощения полупроводников // Оптика и спектр. – 1965. – Т. 19, № 6. – С. 964–967.
2. Карлов И.В., Сисакян Е.В. Оптические материалы для CO₂-лазеров // Изв. АН СССР. Сер. физ. – 1980. – Т. 44, № 8. – С. 1631–1638.
3. Чудаков В.С., Праве Г.Г., Янусова Л.Г. Фотоупругий метод исследования слабого оптического поглощения в кристаллах при параллельном прохождении лучей // Кристаллография. – 1987. – Т. 31, № 6. – С. 1445–1448.
4. Мильвидский М.Г., Освенский В.Б., А.Г. Мильвидская. Критические напряжения для формирования дислокаций в кристаллах III–V группы соединений // Кристаллография. – 1990. – Т. 35. – С. 1182.
5. Jordan A.S., Caruso R., VonNeida A. R., Nielsen J. W. (1980) "A comparative study of thermal stress induced dislocation generation in pulled GaAs, InP, and Si crystals", *Journal of Applied Physics*, no. 52 (5), pp. 3331–3326.

SEMINSULATING GALLIUM ARSENIDE, APPLICABILITY, OBTAINMENT AND DEFINITIONS OF OPTICAL CHARACTERISTICS

A. Oksanych, M. Androsiuk, V. Terban

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: oksanich@kdu.edu.ua

For industrial manufacturing of electrical and optical elements of GaAs some requirements have been presented concerning the specific resistance, uniformity, structure perfection, and absence of inclusions. In order to achieve these requirements the methods of determination of the semi-insulating GaAs optical homogeneity with different electric properties have been developed by the authors. It has been carried out the estimation of optical homogeneity in experimental samples. According to the obtained experimental data it has been defined the dependence of absorption coefficient value on specific resistance, doping concentration, and dislocation density for studied samples. The influence of dopants on the resistance of GaAs crystals has been studied. The scheme of the thermal unit that makes it possible to grow crystals of semi-insulating GaAs doped with Cr having dislocation density $<10^4$ cm⁻² has been designed.

Key words: single-crystal gallium arsenide, absorption coefficient, density of dislocations, window-level lasers, specific resistance.

REFERENCES

1. Kurik, M.B. (1965), "On the accuracy of determining the absorption coefficient of semiconductors", *Optics and range*, no. 19 (6), pp. 964–967.
2. Charles, I.V., Sissakian, E.V. (1980), "Optical materials are for CO₂ lasers", *Math. USSR. Ser. Nat.*, no. 44 (8), pp. 1631–1638.
3. Chudakov, V.S., Prave, G.G., Ynusova, L.G. (1987), "Photoelastic method for studying the weak optical absorption in crystals with parallel rays passing", *Crystallography*, no. 31 (6), pp. 1445–1448.
4. Melvidski, M.G., Osvenski, V.B., Melvidski, A.G. (1990), "Critical stress for the formation of dislocations in crystals of group III-V compounds", *Crystallography*, no. 35, p. 1182.
5. Jordan, A.S., Caruso, R., VonNeida, A.R., Nielsen, J.W. (1980), "A comparative study of thermal stress induced dislocation generation in pulled GaAs, InP, and Si crystals", *Journal of Applied Physics*, no. 52 (5), pp. 3331–3326.

Стаття надійшла 27.01.2014.