

УДК 621.315.59: 546.681

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОТОУПРУГОЙ ПОСТОЯННОЙ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АНИЗОТРОПИИ ЕГО УПРУГИХ СВОЙСТВ

Д. И. Левинзон, В. П. Колосюк, М. Г. Когдась

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: kogdasMAX@yahoo.com

Разработано устройство и усовершенствован метод для измерения фотоупругой постоянной (C) в арсениде галлия, которые позволили уменьшить погрешность измерения до $\pm 2\%$. Приведены результаты теоретических расчетов и практических измерений фотоупругой постоянной в арсениде галлия (100) диаметром 100 мм, а также рассчитана корреляционная зависимость, которая составила 98,7%. Впервые получена картина распределения фотоупругой постоянной в пластинах GaAs в плоскости (100) с учетом кристаллографических направлений и анизотропии упругих постоянных E и ν . Показано, что фотоупругая постоянная арсенида галлия зависит от кристаллографических направлений. В направлении [001] значение C достигает максимума $1,19 \times 10^{11} \text{ Па}^{-1}$, в направлении [011] минимума $0,64 \times 10^{11} \text{ Па}^{-1}$. Также были рассчитаны значения пьезооптических постоянных $\pi_{11} - \pi_{12} = 3,2 \times 10^{-13} \text{ Па}^{-1}$, $\pi_{44} = 10,9 \times 10^{-13} \text{ Па}^{-1}$.

Ключевые слова: внутренние напряжения, фотоупругая постоянная, пьезооптический коэффициент, анизотропия.

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ФОТОПРУЖНОЇ ПОСТІЙНОЇ АРСЕНІДУ ГАЛІЮ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД АНІЗОТРОПІЇ ЙОГО ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Д. І. Левінзон, В. П. Колосюк, М. Г. Когдась

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: kogdasMAX@yahoo.com

Розроблено пристрій і вдосконалено метод для вимірювання фотопружної постійної (C) в арсеніді галію, які дозволили зменшити похибку вимірювання до $\pm 2\%$. Наведено результати теоретичних розрахунків і практичних вимірювань фотопружної постійної в арсеніді галію (100) діаметром 100 мм, а також розрахована кореляційна залежність, яка склала 98,7%. Вперше отримана картина розподілу фотопружної постійної в пластинах GaAs в площині (100) з урахуванням кристаллографічних напрямків і анизотропії пружних постійних E і ν . Показано, що фотопружна постійна арсеніду галію залежить від кристаллографічних напрямків. У напрямку [001] значення C досягає максимуму $1,19 \times 10^{11} \text{ Па}^{-1}$, в напрямку [011] мінімуму $0,64 \times 10^{11} \text{ Па}^{-1}$, в центрі пластини вона близька за значенням до нуля, що обумовлюється пружними властивостями кристала та низьким температурним градієнтом при вирощуванні. Також були розраховані значення п'єзооптичних постійних $\pi_{11} - \pi_{12} = 3,2 \times 10^{-13} \text{ Па}^{-1}$, $\pi_{44} = 10,9 \times 10^{-13} \text{ Па}^{-1}$.

Ключові слова: внутрішні напруження, фотопружна постійна, п'єзооптичний коефіцієнт, анизотропія

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Арсенид галлия на сегодняшний день является одним из перспективных полупроводниковых материалов. Основными областями применения приборов GaAs являются быстродействующие микросхемы, СВЧ устройства, мобильные телефоны и детали инфракрасной оптики. Каждая из этих сфер использования накладывает свои собственные требования относительно качества кристалла.

В связи с этим особенно актуальной становится проблема повышения структурного совершенства выращиваемых слитков арсенида галлия (снижение плотности дислокаций и уровня внутренних механических напряжений (ВМН) [1].

ВМН возникают вследствие неравномерного распределения температуры по длине и поперечному сечению монокристаллов арсенида галлия в процессе их выращивания. Величина ВМН, помимо радиального перепада температур, зависит от механических характеристик монокристаллов и теплового коэффициента расширения. В свою очередь, радиальный перепад температур возрастает с увеличением диаметра монокристалла.

Изучение возникновения ВМН и ее влияние на параметры приборов на основе GaAs является весьма актуальной задачей, как с точки зрения науки,

так и производства. Решение этой задачи позволяет определить условия для получения слитков с низкими плотностями дислокации, а также создать условия для целенаправленного изменения температурных условий роста [2].

Одним из методов для измерения внутренних напряжений в полупроводниковых материалах является поляризационно-оптический метод [3–6].

Как известно [7], при выращивании слитков арсенида галлия большего диаметра, для приборов ИК оптики, возникают неоднородности пропускания ИК излучения, связанные со структурным совершенством слитка. Неравномерное распределения фотоупругой постоянной по кристаллу влияет на точность измерений внутренних напряжений. Таким образом, определение распределения значений фотоупругой постоянной C является важной технологической и метрологической задачей.

Если для кремния существует большое количество полученных экспериментальных данных пьезооптических коэффициентов и фотоупругой постоянной C , то для арсенида галлия таких данных очень мало. Например, в работе [9] авторы приводят значения C только для основных кристаллографических направлений.

В работе решались следующие задачи:

1. Разработать методику измерения фотоупругой постоянной в пластинах арсенида галлия для определения микроостровков с неравномерным распределением механических напряжений, которые могут обуславливать появление областей с разным оптическим пропусканием в ИК области спектра.

2. Разработать устройство для измерения фотоупругой постоянной в арсениде галлия в зависимости от кристаллографических направлений.

3. Получить распределение фотоупругой постоянной по пластине арсенида галлия с учетом кристаллографических направлений и анизотропии упругих постоянных.

Целью данной работы является измерение фотоупругой постоянной C в арсениде галлия, для определения в плоскости пластины зон с неравномерным распределением механических напряжений.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Как известно из [9], для оптически изотропного материала главные оси эллипсоида показателя преломления в любой точке совпадают с главными осями напряжений в этой точке, и будут равны:

$$\begin{aligned} n_1 - n_2 &= C(\sigma_1 - \sigma_2) \\ n_2 - n_3 &= C(\sigma_2 - \sigma_3), \\ n_3 - n_1 &= C(\sigma_3 - \sigma_1) \end{aligned} \quad (1)$$

где n_1, n_2 и n_3 – главные показатели преломления; σ_1, σ_2 , и σ_3 – главные напряжения; C – фотоупругая постоянная.

Если соотношение (1) и подходит для оптически изотропных материалов, то для арсенида галлия их использовать нельзя, поскольку главные оси эллипсоида показателей преломления отклоняются от осей эллипсоида напряжений в кристалле.

Фотоупругая постоянная меняется в зависимости от направлений в кристалле и главных напряжений. Анизотропный коэффициент оптических напряжений может быть выведен из общего соотношения между тензором напряжений и тензором диэлектрической непроницаемости β (2), который является обратным к тензору диэлектрической проницаемости:

$$\Delta\beta = \pi\sigma, \quad (2)$$

где π – пьезооптический коэффициент, σ – главные напряжения.

Напряжение в тонкой пластине GaAs может быть рассмотрено в виде плоского напряженного состояния. Ориентация главных осей тензора β определяется углом изоклин θ , и главным направлением тензора диэлектрической непроницаемости. При этом матрица 6×6 пьезооптических коэффициентов имеет вид (3):

$$\begin{bmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} & \pi_{12} & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{12} & \pi_{11} & \pi_{12} & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{12} & \pi_{12} & \pi_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pi_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{44} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

При преобразовании из декартовой системы координат, мы получим выражение:

$$\pi_{new} = B_{\sigma} \pi_{old} B_{\sigma}^{-1}, \quad (4)$$

где B_{σ} и B_{σ}^{-1} являются прямой и обратной матрицей 6×6 преобразования координат соответственно.

Если в плоскости (100) принять направление [100] в качестве направления z , то матрица (3) примет вид (5), где α угол между направлением [011] и осью x (рис. 1).

Изучим связь между фотоупругой постоянной C и направлением наблюдения в системе координат XYZ. Когда пучок инфракрасного света проходит через пластину арсенида галлия вдоль оси x , напряжения σ_{xx} , σ_{xy} , и σ_{xz} не вызывают оптического эффекта, и, таким образом, их можно считать равными нулю. При условии использования тонкой пластины напряжения σ_{xz} , σ_{yz} и σ_{zz} , направленные вдоль оси Z , можно считать равными нулю. Окончательно имеем

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44}) + \frac{1}{2}(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})\sin^2 2\alpha & \frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12} - \pi_{44}) - \frac{1}{2}(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})\sin^2 2\alpha & \pi_{12} & 0 & 0 & \frac{1}{2}(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})\sin 4\alpha \\ \frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12} - \pi_{44}) - \frac{1}{2}(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})\sin^2 2\alpha & \frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44}) + \frac{1}{2}(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})\sin^2 2\alpha & \pi_{12} & 0 & 0 & -(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})\sin 4\alpha \\ \pi_{12} & \pi_{12} & \pi_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pi_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{44} & 0 \\ \frac{1}{4}(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})\sin 4\alpha & -\frac{1}{4}(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})\sin 4\alpha & 0 & 0 & 0 & \pi_{44}\sin^2 2\alpha + (\pi_{11} - \pi_{12})\cos^2 2\alpha \end{pmatrix} \quad (5)$$

Таким образом, подставляя (5) в (2) и сравнивая с (1), фотоупругая постоянная C может быть получена в виде

$$C(\alpha) = \frac{n_0^3}{4} \left| (\pi_{11} - \pi_{12} + \pi_{44}) + (\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})\sin^2 2\alpha \right|. \quad (6)$$

Поскольку значение $\pi_{11} - \pi_{12}$ и π_{44} можно считать известными [9], авторами по формуле (6) было рассчитано значения фотоупругой постоянной в GaAs для плоскости (100) в зависимости от угла α , которые приведены на рис. 2.

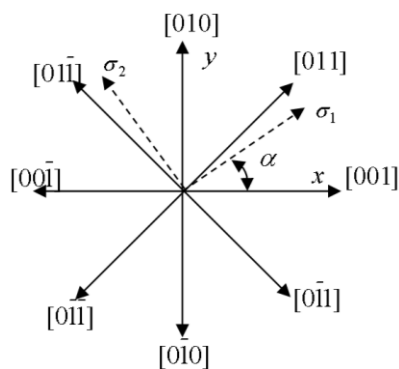


Рисунок 1 – Ориентация главных напряжений в пластине GaAs в плоскости (100)

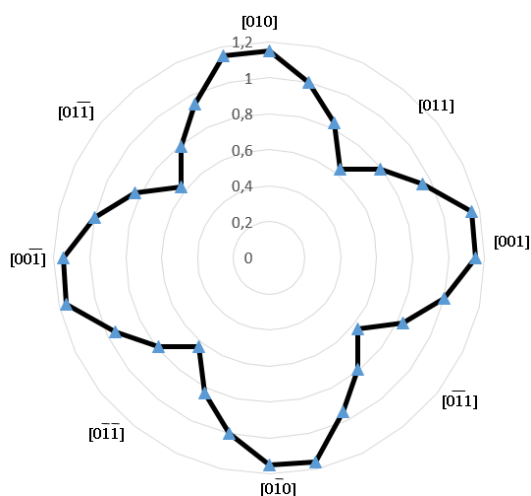


Рисунок 2 – Рассчитанные значения распределения фотоупругой постоянной ($C \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$) в плоскости (100) в пластине GaAs

Как видно из рис. 2 для плоскости (100), фотоупругая постоянная достигает максимума, когда напряжение в пластине будет направлено в кристаллографическом направлении [001] и [010] (7):

$$C_{\max} = \frac{n_0^3}{4} |2(\pi_{11} - \pi_{12})| \quad (7)$$

и минимума, когда напряжение будет приложено в направлении [011] (8):

$$C_{\min} = \frac{n_0^3}{4} |2(\pi_{11} - \pi_{12} + \pi_{44})| \quad (8)$$

Для экспериментального определения фотоупругой постоянной можно применить устройство на четырех линейных опорах, описанное в работе [9]. Схема устройства на четырех линейных опорах, по которому проводилось нагружение показана на рис. 3.

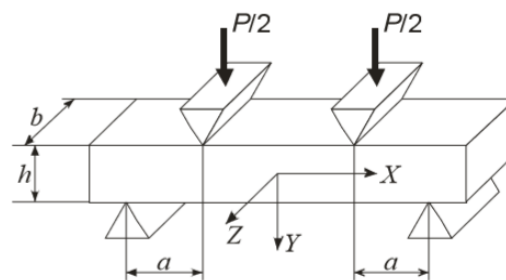


Рисунок 3 – Нагружение образца GaAs с применением устройства на четырех линейных опорах

Напряжение, создаваемое в образце можно определить из выражений

$$\sigma_1 \equiv \sigma_x = \frac{6Pa}{bh^3} y, \quad \sigma_2 \equiv \sigma_y = 0, \quad \sigma_3 \equiv \sigma_z = 0, \quad (9)$$

где P – усилие; h и b – толщина и ширина образца; a – расстояние между плоскостями, где действуют силы.

Такая геометрия означает, что верхняя половина образца сжимается в то время как нижняя расширяется. Стоит отметить, что, согласно формуле. (9), компонента напряжения линейно зависит от координаты. Наклон этой зависимости определяется геометрическими параметрами и силой нагрузки.

Эксперимент. В качестве образцов для измерения фотоупругой постоянной использовался арсенид галлия выращен в ориентации [100], легированный хромом, с концентрацией примесей $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, удельным сопротивлением $10^7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, диаметром 100 мм.

Из центра слитка было вырезано 7 пластин толщиной 5 мм, методом рентгеновской дифракции были определены кристаллографические направления в каждой пластине. Далее из пластин было вырезано образцы размером $10 \times 100 \text{ мм}$ в соответствии с кристаллографическими направлениями (рис. 4), с шагом в 15 градусов (первый образец вырезан из пластины № 1 по направлению [001]).

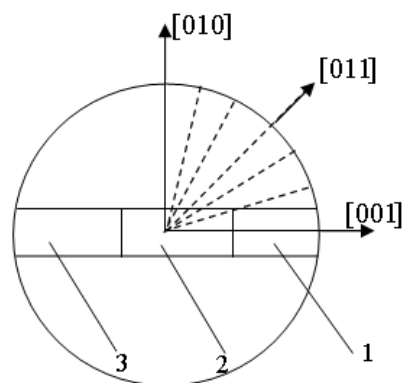


Рисунок 4 – Схема разрезания пластин GaAs

В дальнейшем образцы подвергались двусторонней алмазной полировке до толщины 1,2 мм и разделялись на три равные части по длине.

Для измерения фотоупругой постоянной в пластинах арсенида галлия, с использованием «четырех точечного метода», авторами было разработано устройство структурную схему которого приведена на рис. 5.

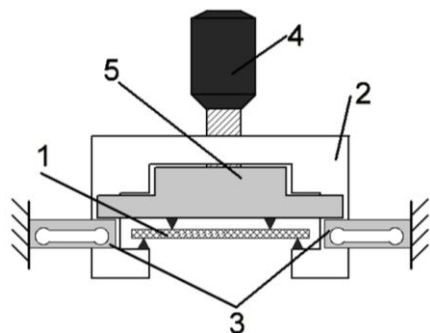


Рисунок 5 – Структурная схема устройства «Пьезо-1» для измерения фотоупругой постоянной (1 – исследуемый образец; 2 – основание; 3 – датчики давления; 4 – микрометрический винт; 5 – нагрузочное устройство)

Для измерения фотоупругой постоянной устройство «Пьезо-1» устанавливается на полярископ (рис. 6) между поляризатором (2) и анализатором (10). На данное устройство устанавливается образец (8) арсенида галлия таким образом, чтобы луч от источника ИК излучения (1) проходил через центр образца. Далее с помощью двигателя (4) и микрометрического винта (5) в образце создается напряжение, которое контролируется датчиками давления (9) (контроль напряжения и управления двигателем происходит с помощью блока (13)).

После создания давления нагрузки образца силой 5×10^3 Па, проводится фотоприемником (11) измерение интенсивности света, проходящего через образец (8), далее сигнал усиливается усилителем (12) и передается для дальнейшей обработки на ПК (14).

Процедура измерения проводилась для всех образцов.

Для расчета разницы главных напряжений можно применить выражение [10]:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{8P}{\pi Cd}, \quad (10)$$

где D – длина пластины, мм; P – усилие, приложенное к образцу, кг; d – толщина образца, мм.

Мы можем также записать

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{\lambda \frac{U_{\sim}}{U_0}}{2\pi Cd}, \quad (11)$$

где λ – длина волны излучения; U_0 – постоянная составляющая, пропорциональная средней интенсивности света; U_{\sim} – напряжение, полученное из фотоприемника.

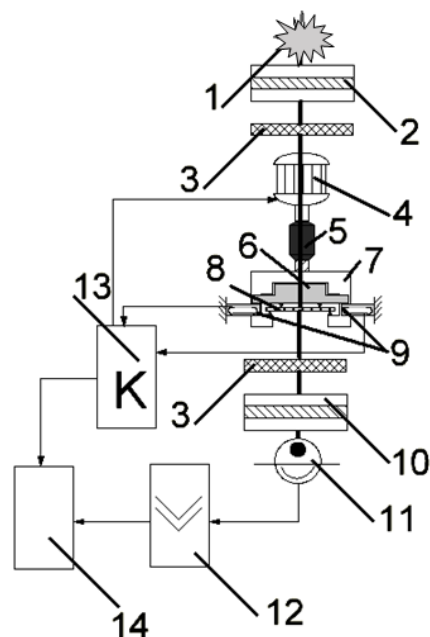


Рисунок 6 – Структурная схема установки измерения фотоупругой постоянной (1 – источник ИК излучения ($\lambda = 1,15$ мкм); 2 – поляризатор; 3 – четверть волновая пластина; 4 – двигатель; 5 – микрометрический винт; 6 – нагрузочное устройство; 7 – основание; 8 – исследуемый образец; 9 – датчики давления; 10 – анализатор; 11 – фотоприемник; 12 – усилитель; 13 – блок управления двигателем и считыванием данных с датчиков; 14 – персональный компьютер (ПК))

Перепирав выражение (11), находим значение фотоупругой постоянной в следующем виде:

$$C = \frac{\lambda \frac{U_{\sim}}{U_0}}{2\pi d(\sigma_1 - \sigma_2)}. \quad (12)$$

После подстановки (10) в (12) получим выражение, которое рассчитывается на ПК:

$$C = \frac{\lambda D \frac{U_{\sim}}{U_0}}{16P}. \quad (13)$$

Результаты измерений фотоупругой постоянной полученные при измерении пластин GaAs приведены в табл. 1, где номер измерения соответствует номеру образца на рис. 4. Там же представлены и значение C рассчитанные по формуле (6), и результаты получены в работе [9].

Таблица 1 – Результаты измерений и расчетов фотоупругой постоянной

№ образца	α		$C, 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$			$C, 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$	$C, 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$
			Измеренное			Расчитанное	[9]
			1	2	3		
1	0	[001]	1,17	0,015	1,16	1,15	1,43
2	15		1,02	0,013	1,02	1	
3	30		0,86	0,012	0,85	0,83	
4	45	[011]	0,65	0,01	0,64	0,63	0,65
5	60		0,8	0,012	0,8	0,79	
6	75		0,9	0,014	0,91	0,95	
7	90	[010]	1,18	0,016	1,19	1,16	

Анализируя полученные экспериментальные данные приведённые в табл. 1 можно сделать вывод что значение фотоупругой постоянной сильно зависит от направления наблюдения и колеблется на краях пластины от $0,65$ до $1,19 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$.

Также из полученных результатов видно, что в центре пластины фотоупругая постоянная близка по значению к нулю, что очевидно обуславливается упругими свойствами кристалла и низким температурным градиентом при выращивании.

Подставив полученные значения фотоупругой постоянной в (7) и (8) получим значения пьезооптического коэффициентов $\pi_{11} - \pi_{12}$ и π_{44} :

$$\begin{aligned} \pi_{11} - \pi_{12} &= 3,2 \times 10^{-13} \text{ Па}^{-1} \\ \pi_{44} &= 10,9 \times 10^{-13} \text{ Па}^{-1} \end{aligned}$$

Сравнительный анализ полученных в данной работе данных (табл. 2) и данных из работы [9] показывает их хорошее согласование.

Таблица 2 – Значения пьезооптического постоянных

	За данными [9], Па^{-1}	Наши данные, Па^{-1}
$\pi_{11} - \pi_{12}$	$3,13 \times 10^{-13}$	$3,2 \times 10^{-13}$
π_{44}	$10,79 \times 10^{-13}$	$10,9 \times 10^{-13}$

Распределение фотоупругой постоянной арсенида галлия по площади пластины в плоскости (100) представлено на рис. 7. Можно видеть, что экспериментальные и рассчитанные данные почти идентичны, что подтверждает корректность предложенного метода измерения фотоупругой постоянной.

Для подтверждения этого вывода авторами было выполнено расчет корреляционной зависимости между экспериментально полученными и рассчитанными значениями фотоупругой постоянной. Полученный коэффициент корреляции равен $0,987$ (рис. 8), что свидетельствует о хорошем совпадении теоретических и экспериментальных данных.

◆ Расчитанное ◆ Измеренное

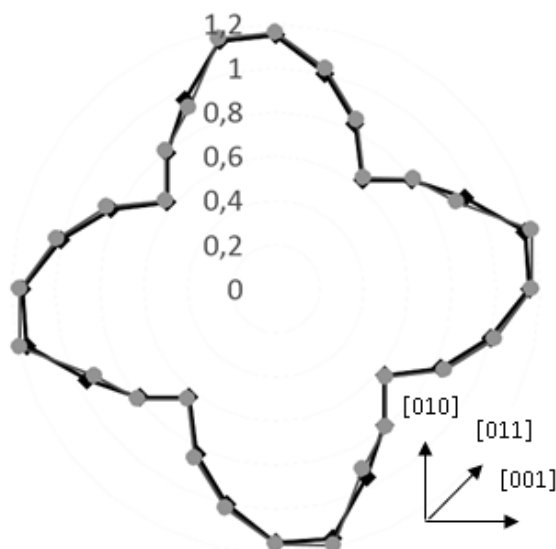


Рисунок 7 – Распределение экспериментальной и рассчитанной фотоупругой постоянной ($C \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$) GaAs в плоскости (100)

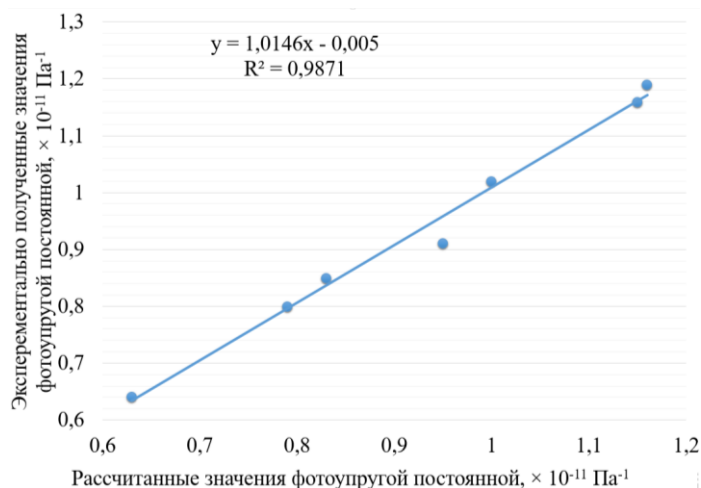


Рисунок 8 – Графік залежності між експериментальними та розрахованими даними фотоеластичної постійної

Как было установлено авторами ранее [11] под действием главных напряжений σ_1 и σ_2 пластина теряет устойчивость в одном из слабых направлений [001], например, в направлении $\langle 001 \rangle$. При этом вследствие высокого значения коэффициента Пуассона при возникновении деформации ε_1 действующее напряжение в перпендикулярном направлении уменьшается, и пластина устойчивость в этом направлении не теряет. При дальнейшем росте напряжения пластине выгодно потерять устойчивость, изогнувшись в другую сторону, т. к. при этом напряжения, возникающие за счет действия коэффициента Пуассона, складываются с приложенными напряжениями, тогда как при изгибе в одну сторону напряжение, возникающее за счет коэффициента Пуассона, вычитается из приложенного напряжения. При этом возникает «антикластический» изгиб.

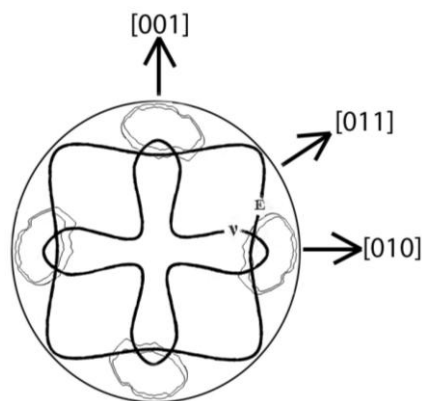


Рисунок 9 – Розподілення внутрішніх напружень та еластичних постійних в площині пластини GaAs (100) ($E_{\max} = 1,21 \cdot 10^{11}$ Па; $E_{\min} = 0,85 \cdot 10^{11}$ Па; $\nu_{\max} = 0,315$, $\nu_{\min} = 0,01$)

Также из результатов работы [11] видно, что линии равных напряжений в плоскости (100) пластин GaAs имеют островковый характер, симметрия которого определяется анизотропией распределения модуля Юнга E и коэффициента Пуассона ν в плос-

кости (100), а также распределением фотоупругой постоянной C в пластине GaAs в плоскости (100).

Распределение внутренних напряжений и упругих постоянных (модуль Юнга (E) и коэффициента Пуассона (ν)) в плоскости (100) представлено на рис. 9.

ВЫВОДЫ. Таким образом, разработанная установка, для измерения фотоупругой постоянной в пластинках GaAs с дискретностью измерений 0,1 мм по площади пластины, а также усовершенствованный метод, который позволил уменьшить относительную погрешность измерений до $\pm 2\%$, позволили впервые получить картину распределений фотоупругой постоянной в пластинках GaAs в плоскости (100) с учетом кристаллографических направлений и анизотропии упругих постоянных E и ν .

ЛИТЕРАТУРА

1. Ling W. J., Wang X. N. and Dang Y. L. Study of Deformation in the Active Region of GaAs/GaAlAs Laser Diodes // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 333–335. – P. 332–335.
2. Martinez O., Sanz L. F., Jimenez J., Martin-Martin A., Gerard B., Gil-Lafon E. Stress distribution mapping of GaAs on Si conformal layers // J. Appl. Phys. – 2007. – Vol. 101 Issue 5. – P. 054901.1–054901.5.
3. Saito Y. and Nakajima S. Improvement of the Furnace Annealing Process to Suppress Slip Generation in Gallium Arsenide // Jpn. J. Appl. Phys. – 2003. – Vol. 42, Part 1, N. 2A. – P. 389–392.
4. Wong S. P., Cheung W. Y., Ke N., Sajan M. R., Guo W. S., Huang L., and Zhao S. Ir photoelasticity study of stress distribution in silicon under thin film structures // Mater. Chem. Phys. – 1997. – Vol. 51, Issue 2. – P. 157–162.
5. Fukuzawa M., Yamada M. Photoelastic characterization of Si wafers by scanning infrared polariscope // Journal of Crystal Growth. – 2001. – Vol. 229, Issues 1–4. – P. 22–25.
6. Wong S. P., Peng H. J., and Zhao S. Analytic solution of stress distribution under a thin film edge in substrates // Appl. Phys. Lett. – 2001. Vol. 79. – 1628 pp.

7. Jurisch M., Eichler St. The development of lec technology for GaAs single crystal growth from laboratory scale to mass production // *Materiały Elektroniczne*, 2003. – T.31, nr 1–2. – P. 7–17.

8. He S., Zheng T. and Danyluk S. Analysis and determination of stress-optic coefficient of thin single crystal silicon samples // *Journal of applied physics*. – 2004. – Vol. 96, number 6. – P. 3103–3109.

9. Peng H. J., Wong S. P., Ho H. P., and Zhao S. Measurement of orientation dependent stress-optic coef-

ficient of GaAs single crystals // *Appl. Phys. Lett.* – 2004. – Vol. 84. –1829 pp.

10. Оксанич А.П., Когдась М.Г. Экспериментальное вычисление фотоупругих постоянных арсенида галлия // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. – 2013. – Вип. 3/2013 (80). – С. 31–34.

11. Когдась М.Г. Исследование зависимости внутренних напряжений в арсениде галлия от кристаллографических направлений и технологических процессов // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. – 2014. – Вип. 3/2014 (86). – С. 172–177.

FEATURES OF DEFINITION OF STRESS-OPTIC COEFFICIENT OF GALLIUM ARSENIDE DEPENDING ON ANISOTROPY OF ITS ELASTIC PROPERTIES

D. Levinzon, V. Kolosyuk, M. Kogdas'

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: kogdasMAX@yahoo.com

Purpose. The study of internal mechanical stresses' emergence and their influence on the instrument parameters based on GaAs is a very urgent task, both in terms of science and production. The solution of the problem allows to specify the conditions for obtaining ingots with low dislocation density, as well as to create conditions for purposeful change of temperature growth conditions. **Methodology.** We used mathematical modelling of the distribution of the stress-optic coefficient in GaAs wafers in the plane (100), with the help of equations relating the refractive indices and the principal stresses. The results of theoretical calculations and practical measurements of stress-optic coefficient in gallium arsenide with a diameter of 100 mm are showed, and the correlation amounting to 98.7% is calculated. **Results.** From the experimental data, we can conclude that the value of the stress-optic coefficient C is highly dependent on the viewing direction, and varies at the edges of the plate from 0.65 to $1,19 \times 10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$. In the center of the plate the stress-optic coefficient value is close to zero, that obviously is caused by the elastic properties of the crystal and a low temperature gradient during growth. Also values of piezooptical constants $\pi_{11} - \pi_{12} = 3,2 \times 10^{-13} \text{ Pa}^{-1}$, $\pi_{44} = 10,9 \times 10^{-13} \text{ Pa}^{-1}$ were calculated. **Originality.** For the first time we have got a picture of the distribution of the stress-optic coefficient in GaAs wafers in the plane (100) in view of crystallographic directions and anisotropy of the elastic constants E and ν . **Practical value.** Our results will help improve the accuracy of determining the distribution and value of internal mechanical stresses in the ingots of GaAs that allows specifying the conditions for obtaining of ingots of higher quality. References 11, tables 2, figures 9.

Key words: internal stress, stress-optic coefficient, piezooptical coefficient, anisotropy

REFERENCES

1. Ling, W.J., Wang, X.N., Dang, Y.L. (2013), "Study of Deformation in the Active Region of GaAs/GaAlAs Laser Diodes", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 333-335, pp. 332–335.

2. Martinez, O., Sanz, L.F., Jimenez, J., Martin-Martin, A., Gerard, B., Gil-Lafon, E. (2007), "Stress distribution mapping of GaAs on Si conformal layers", *J. Appl. Phys.*, vol. 101, iss. 5, pp. 054901.1–054901.5.

3. Saito, Y., Nakajima, S. (2003), "Improvement of the Furnace Annealing Process to Suppress Slip Generation in Gallium Arsenide", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 42, part 1, no. 2A, P. 389.

4. Wong, S.P., Cheung, W.Y., Ke, N., Sajan, M.R., Guo, W.S., Huang, L., and Zhao, S. (1997), "Ir photoelasticity study of stress distribution in silicon under thin film structures", *Mater. Chem. Phys.*, vol. 51, iss. 2, pp. 157–162.

5. Fukuzawa, M., Yamada, M. (2001), "Photoelastic characterization of Si wafers by scanning infrared polariscope", *Journal of Crystal Growth*, vol. 229, iss. 1–4, pp. 22–25.

6. Wong, S.P., Peng, H.J., and Zhao, S. (2001), "Analytic solution of stress distribution under a thin film

edge in substrates", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 79, iss. 10, pp. 1628–1631.

7. Jurisch, M., Eichler, St. (2003), "The development of lec technology for GaAs single crystal growth from laboratory scale to mass production", *Materiały Elektroniczne*, vol. 31, no. 1–2, pp. 7–17.

8. He, S., Zheng, T., Danyluk, S. (2004), "Analysis and determination of stress-optic coefficient of thin single crystal silicon samples", *Journal of Applied Physics*, vol. 96, no. 6, pp. 3103–3109.

9. Peng, H.J., Wong, S.P., Ho, H.P., Zhao S. (2004), "Measurement of orientation dependent stress-optic coefficient of GaAs single crystals", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 84, iss. 11, pp. 1829–1831.

10. Oksanich, A.P., Kogdas', M.G. (2013), "Experimental calculation of photoelastic constants of gallium arsenide", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 3, no. 80, pp. 31–34.

11. Kogdas', M.G. (2014), "Study of internal stresses in gallium arsenide dependency on the crystallographic directions and technological processes", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 3, no. 86, pp. 172–177.

Стаття надійшла 20.01.2016.