

УДК 546.681.3.191

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ КРИСТАЛЛОВ НА КРАЕВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В НЕЛЕГИРОВАННОМ АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

А.Д. Штанько

Кандидат физико-математических наук
Кафедра автоматизации и электрооборудования*
Контактный тел.(0552) 26-31-18
E-mail: lmb965@gmail.com

М.Б. Литвинова

Кандидат физико-математических наук, доцент
Кафедра физико-математических дисциплин*
Контактный тел.(0552) 49-59-89
E-mail: lmb965@gmail.com
*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Херсонский филиал пр. Ушакова, 44, г. Херсон, Украина, 73022

Встановлено розміри поверхні зразків, одержаних із кристалів нелегированого арсеніду галію, при яких впливом механічних напружень на положення максимуму крайового випромінювання при 77 К за умов надлишку як галію, так і миш'яку можна нехтувати

Ключові слова: арсенід галію, крайове випромінювання, механічні напруження

Определены размеры поверхности образцов, вырезанных из кристаллов нелегированного арсенида галлия, при которых влиянием механических напряжений на положение максимума краевого излучения при 77 К в условиях избытка как галлия, так и мышьяка можно пренебречь

Ключевые слова: арсенид галлия, крайовое излучение, механические напряжения

The sizes of surface of the samples, which were cut out from undoped GaAs crystals with surplus of gallium and with surplus of arsenic, when influence of mechanical stress on energy position of the maximum of the edge radiation band at 77 K can be neglected are determined

Keywords: gallium arsenide, single-crystal, edge band, mechanical stress

1. Введение

Нелегированный арсенид галлия - одно из востребованных полупроводниковых соединений для создания элементов высокочастотной интегральной микроэлектроники и детекторов ионизирующего излучения. Энергетическое положение краевой полосы излучения ($h\nu_m$) в GaAs (вставка на рис. 1) часто используется для контроля качества таких структур. В специально не легированном материале при температуре 77 К установлена однозначная связь между значением $h\nu_m$ и концентрацией неконтролируемых фоновых примесей углерода и кремния [1]. Для более точного анализа необходимо учитывать все факторы, вызывающие смещение максимума краевой полосы. Одним из таких факторов являются механические напряжения σ [2], зависящие от вида и характера распределения дефектов, а также от размеров кристаллов [3].

Поэтому целью настоящей работы являлось определение размеров поверхности кристаллов нелегированного GaAs с различной нестехиометрией, при которых влиянием механических напряжений на энергетическое положение полосы краевого излучения можно пренебречь.

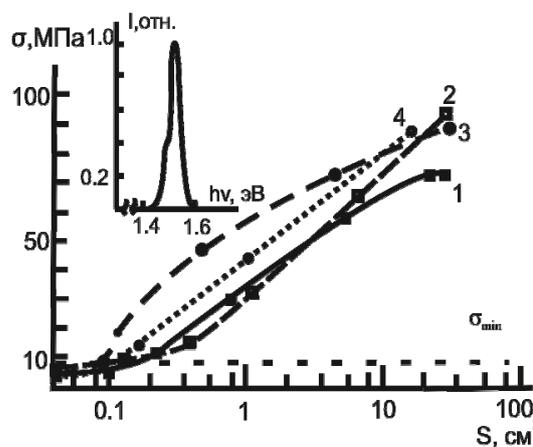


Рис. 1. Зависимость механических напряжений от площади поверхности кристаллов нелегированного GaAs, выращенных методом Чохральского. 1, 2 – кристаллы, полученные с избытком мышьяка; 3,4 – с его недостатком. 1, 3 - $N_d=(2-3) \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$; 2,4- $N_d=(5-6) \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$

На вставке: Общий вид спектра краевой фотолюминесценции в кристаллах нелегированного арсенида галлия.

2. Рассмотрение проблемы и условий проведения эксперимента

Известно, что при упругой деформации ширина запрещённой зоны полупроводника изменяется в соответствии с выражением [2]:

$$\sigma = (dE_g/dP)^{-1}(E_{g1} - E_{g0}), \quad (1)$$

где E_{g0} и E_{g1} – ширина запрещённой зоны недеформированного и деформированного материала, соответственно; dE_g/dP – коэффициент, характеризующий изменение ширины запрещённой зоны от давления (при $E_{g1} - E_{g0} < 0$ в кристаллах действуют напряжения растяжения, а при $E_{g1} - E_{g0} > 0$ – напряжения сжатия). Для нелегированного GaAs $E_{g0} = 1.514$ эВ; E_{g1} может быть определена из спектров фотолюминесценции, как значение $h\nu_m$; $dE_g/dP = 12 \cdot 10^{-5}$ эВ/МПа [2].

Точность определения величины $h\nu_m$ ограничивается разрешающей способностью спектрометра и для установок с хорошим разрешением в рассматриваемой области спектра составляет 1-2 мэВ [4]. Соответствующее минимальное значение $\sigma(\sigma_{min})$ из выражения (1) при разнице $E_{g1} - E_{g0} = 1 \cdot 10^{-3}$ эВ равно $\sigma_{min} = 8.5$ МПа. Таким образом, напряжения, превышающие величину σ_{min} , должны учитываться при анализе краевого излучения GaAs.

Радиальные напряжения, характерные для монокристаллов нелегированного GaAs, полученных методом Чохральского, составляют 30-100 МПа и зависят от диаметра кристалла и плотности его дислокаций [3]. Эти напряжения σ являются суммой остаточных напряжений $\sigma_{ост.}$, обусловленных ростовыми дислокациями, и напряжений, вызванных неоднородным (градиентным) распределением точечных дефектов кристаллической структуры $\sigma_{град.}$ В нелегированном арсениде галлия $\sigma_{град.}$ вызваны собственными точечными дефектами (СТД) и их экспериментально установленные значения не превышают 4-5 МПа [5] (в легированном GaAs $\sigma_{град.}$, обусловленные примесными атомами, могут быть намного выше [6]). Поэтому при исследованиях следует снижать значения $\sigma_{ост.}$ путём их поверхностной релаксации. Для этого в настоящей работе размеры образцов уменьшались до тех пор, пока не прекращалось их влияние на значения напряжений.

Исследовались кристаллы, выращенные методом Чохральского в направлении (100), с плотностью дислокаций N_d от $2 \cdot 10^4$ до $7 \cdot 10^5$ см⁻². Содержание атомов мышьяка в расплаве варьировалось от 47 до 53 ат.%, что в твёрдой фазе обеспечивало соответствующий разброс значений отношения концентраций вакансий мышьяка и галлия $[V_{As}]/[V_{Ga}]$ от 10^{-1} до 10^{-2} (при стехиометрическом составе кристалла $[V_{As}]/[V_{Ga}] \approx 10$) [7].

Из кристаллов перпендикулярно оси роста вырезались пластины диаметром от 40 до 65 мм толщиной 1-2 мм, из которых выкалывались образцы квадратной формы. Неоднородное распределение электрофизических и люминесцентных характеристик по сечению полученных по Чохральскому кристаллов GaAs является симметричным [3] и со-

ответствует распределению плотности дислокаций. Во всех исследуемых кристаллах это распределение было W-образным. Поэтому в серии экспериментов, требующих одинаковые параметры исходных кристаллов, образцы выкалывались из единой кольцевой области пластины (рис. 2). Благодаря такой геометрии расположения и малым размерам образцов разброс параметров по их площади не превышал 10%.

Значения механических напряжений определялись поляризационно-оптическим методом [8], плотность дислокаций – по ямкам травления с помощью микроскопа МИМ-7. Степень отклонения состава от стехиометрии оценивалась по соотношению $[V_{As}]/[V_{Ga}]$, которое устанавливали люминесцентным методом [7].

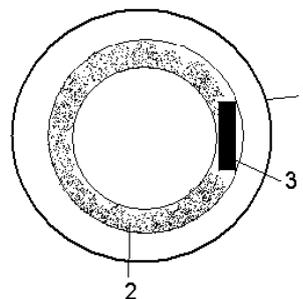


Рис. 2. Расположение образца в кольцевой области пластины GaAs: 1 – пластина; 2 – кольцевая область; 3 – образец

3. Обсуждение экспериментальных результатов

На рис. 1 представлены экспериментально полученные зависимости величины σ от площади образцов S для кристаллов, выращенных в условиях как избытка, так и недостатка мышьяка. Для кривых 1, 2 выполняется условие $[V_{As}]/[V_{Ga}] < 10$ – избыток As; для кривых 3, 4 $[V_{As}]/[V_{Ga}] > 10$ – его недостаток. Рассмотрены образцы с разной плотностью дислокаций: кривые 1, 3 приведены для кристаллов с $N_d = (2-3) \cdot 10^4$ см⁻²; кривые 2, 4 – для кристаллов с $N_d = (5-6) \cdot 10^5$ см⁻². Представленные зависимости соответствуют тем образцам, в которых начальные напряжения были максимальны для соответствующей стехиометрической группы (т.е. при избытке и недостатке мышьяка). Погрешность построения каждой из кривых не превышала 15%.

Видно, что при недостатке As размеры образцов, обеспечивающие выполнение условия $\sigma < \sigma_{min}$, для всех N_d существенно меньше, чем при его избытке. Известно, что частичная компенсация $\sigma_{ост.}$ происходит при формировании околосдислокационных атмосфер (типа Коттрела) [3]. Из полученного следует, что при избытке мышьяка (доминирующие дефекты – межузельный мышьяк и вакансии галлия) такая компенсация в большей мере влияет на $\sigma_{ост.}$, чем при его недостатке (доминирующие дефекты – вакансии As). С другой стороны, при всех значениях исходных напряжений и плотности дислокаций, при площади поверхности образцов $S \leq 0.1$ см² становится меньше, чем σ_{min} . Кроме того, при указанных значениях площади S влияние её величины на значения σ фактически прекращается.

4. Выводы

Полученный результат показывает, что в условиях, когда площадь поверхности кристаллов нелегированного GaAs не превосходит 0.1 см^2 , влиянием их размеров на энергетическое положение максимума краевой полосы излучения, независимо от плотно-

сти дислокаций и степени нестехиометрии материала, можно пренебречь. Эти данные позволяют уменьшить погрешность спектроскопических и базирующихся на них электрофизических и структурных исследований кристаллов при использовании образцов с площадью поверхности, не превышающей установленной величины.

Литература

1. Глинчук К.Д., Литовченко Н.М., Прохорович А.В. и др. Определение концентрации легкоионизируемых примесей в полупроводящих нелегированных кристаллах GaAs из анализа низкотемпературной (77К) фотолюминесценции // Оптоэлектр. и полупров. техн., 1997.- Т.32. – С. 61-71.
2. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках, М: Мир. 261 (1973).
3. М.Г. Мильвидский, В.Б. Освенский. Структурные дефекты в монокристаллах полупроводников, М: Металлургия. 392 (1984).
4. Глинчук К.Д., Прохорович А.В. О роли изолированных и связанных дефектов в определении спектра близкраевой люминесценции твёрдых тел // ФТП, 2004. – Т.46, №6. – С.1008 - 1012.
5. Литвинова М.Б., Шутов С.В., Лебедь О.Н. Роль режима охлаждения при термообработке монокристаллов полупроводящего GaAs // Физика и химия обработки материалов, 2002.-№ 2. – С. 73-77.
6. Задорожный Н.С., Коваленко В.Ф., Мильвидский М.Г., Прохорович А.В. Влияние концентрационной неоднородности на внутренние напряжения в монокристаллах арсенида галлия // Неорганические материалы, 1991. – Т.27, №6. – С.1127 - 1130.
7. Коваленко В.Ф., Литвинова М.Б., Краснов В.А. Определение вакансионного состава монокристаллов полупроводящего нелегированного арсенида галлия // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника, 2002. - Вып. 37. - С.198 - 204.
8. Инденбом В.Л., Никитенко В.И., Милевский Л.С. Измерения напряжений в плоских спаях кремния с металлами. В сб. Напряжения и дислокации в полупроводниках. Под ред. М.В. Классен-Неклюдовой, М: Из-во АН СССР. – С.55-60 (1970).