

ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ GaAs

Г.Д. Чирадзе¹⁾, А.Б. Герасимов²⁾

¹⁾Государственный университет им. Ак. Церетели, департамент физики,
4600, Кутаиси, Грузия, ул. Царицы Тамар 59

²⁾Грузинский технический университет, департамент физики
0175, Тбилиси, Грузия, ул. Костава, 77

тел. (+995 331) 243532, факс (+995 331) 243833, e-mail: gogichiradze@yahoo.com

Исследованы дозовые зависимости эффективных значений параметров решетки (при температурах 298К и 318К) кристаллов GaAs, n – типа проводимости, облученных быстрыми нейтронами в диапазоне доз 10^{15} - $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см². На основе полученных данных вычислены соответствующие величины коэффициентов термического расширения.

Показано, что облученные образцы (по сравнению с исходными - необлученными), характеризуются повышенными эффективными значениями параметров решетки. При этом величины коэффициентов термического расширения с ростом дозы облучения подвергаются постепенному уменьшению. При этом в диапазоне доз 10^{15} - 10^{17} н/см² сравнительно слабее, чем в диапазоне доз 10^{17} - $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см².

Наблюдаемые явления объясняются образованием в матрице облученных образцов разупорядоченных областей и полей напряжений вокруг этих областей, существованием в этих областях неоднородного объемного расширения и постепенным нарушением пространственной направленности ковалентных связей с ростом флюенса нейтронного облучения.

Введение

Полупроводниковое соединение GaAs является не только перспективным материалом для полупроводниковой электроники, но и интересным объектом исследований физики бинарных полупроводников, что обусловлено рядом его уникальных свойств [1].

Влияние проникающих излучений, в частности, нейтронного облучения на полупроводники приводит к образованию областей с различными свойствами по сравнению с матрицей [2]. Это приводит к изменению многих свойств материала, что иногда используется для радиационного управления свойств материалов [3].

Согласно [4], облучение кристаллов GaAs быстрыми нейтронами с ростом флюенса от 10^{15} до $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см² приводит к его охрупчиванию. При этом возрастают и значения микротвердоты. Исходя из физической природы этих явлений, они должны быть связаны с изменениями состояния межатомных химических связей в облученных образцах по сравнению с исходными необлученными.

Одним из характеристик материалов, определяемых внутренним строением кристаллической решетки (состоянием электронной подсистемы и решеточного остова твердого тела), является коэффициент термического расширения - КТР [5], поэтому представляло интерес проведение исследований по определению КТР на образцах GaAs, исходных и подвергнутых облучению быстрыми нейтронами (в диапазоне флюенса 10^{15} - $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см²), и последующий сравнительный анализ полученных данных, что является весьма важным для понимания природы изменений происшедших в материале в результате облучения.

Методика эксперимента

Исследования проводились на монокристаллических образцах нелегированного GaAs,

n -типа проводимости с концентрацией носителей заряда $6 \cdot 10^{15}$ см⁻³.

Образцы вырезались по поверхностным плоскостям (100), разориентировка которых не превышала 0,3°.

Образцы облучались флюенсом 10^{15} , 10^{16} , 10^{17} и $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см² быстрых нейтронов при комнатной температуре.

Определение параметров решетки образцов проводилось на установке ДРОН-3М, по методу Бонда [6]. Использовалось $\text{CuK}\alpha_1$ излучение. Исследовалось (400) отражение. При этом точность измерения параметра решетки составляла $1 \cdot 10^{-5}$ Å.

Для достижения необходимой температуры исследуемых образцов (для определения КТР) был изготовлен специальный держатель образцов оснащенный нагревателем.

Для контроля температуры образцов применялись хромель-копелевые термопары, которые приклеивались к образцам с помощью теплопроводящего клея. Измерение ЭДС, возникшей на концах термопары проводилось относительно температуры льда (0°C). При этом точность составлял $\pm 2^\circ$.

Основная часть

На рис. 1 приведены экспериментальные данные, отражающие зависимость значений параметров решетки исследуемых кристаллов GaAs от дозы нейтронного облучения. Необходимо учесть, что в данном случае полученные значения параметров решетки являются эффективными значениями, поскольку экспериментальные данные интегрально определяются межатомными расстояниями характерными как для нарушенных, так и для ненарушенных областей кристаллической решетки. Как показал эксперимент, с ростом флюенса облучения эффективные значения параметров решетки возрастают, что коррелирует с фактом увеличения объема

образца в результате образования радиационных дефектов [7]. Однако в диапазоне доз 10^{15} - 10^{17} н/см² нарастание эффективных значений параметров решетки происходит сравнительно слабее, чем в диапазоне доз 10^{17} - $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см².

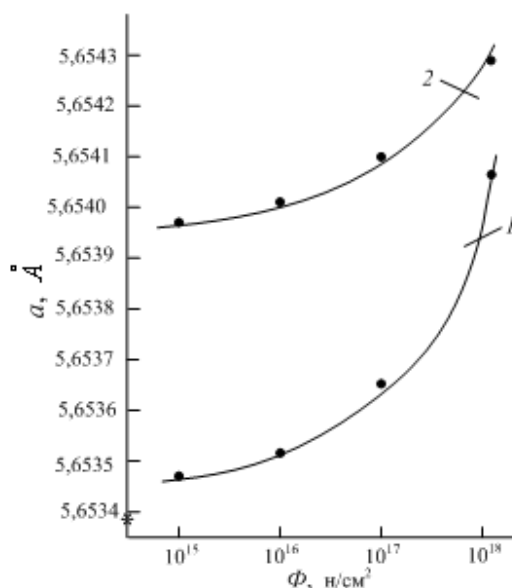


Рис. 1. Зависимость эффективных значений параметров решетки кристаллов GaAs, измеренных при разных температурах (1-296К, 2-316К), от флюенса быстрых нейтронов. Звездочкой указано значение параметра решетки, соответствующее исходному образцу

Кроме этого, в диапазоне доз 10^{15} - 10^{17} н/см² абсолютная величина возрастания эффективных значений параметров решетки, вызванная добавкой температуры, превосходит аналогичную величину возрастания, наблюдаемую в диапазоне доз 10^{17} - $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см². В результате дозовая зависимость эффективных значений параметров решетки в случае температуры образцов 318К сравнительно слабая, чем в случае температуры образцов 298К.

Зависимость величин КТР, вычисленных из данных эксперимента, приведена на рис.2. Как видно с ростом дозы облучения величина КТР подвергается уменьшению и этот спад больше выражен в диапазоне доз облучения 10^{17} - $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см², чем в диапазоне доз 10^{15} - 10^{17} н/см².

Известно, что влияние нейтронного облучения на полупроводники приводит к образованию в его объеме разупорядоченных областей и полей напряжений вокруг этих областей. При этом разупорядоченные области представляют собой скопление различного рода точечных дефектов, атомов кристаллической решетки смещенных из узлов решетки [2,3], и межатомных химических связей подвергнутых разрыву и ослаблению в результате различных деформаций [7]. С увеличением флюенса облучения увеличивается концентрация этих разупорядоченных областей. А при достижении дозы облучения $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см² значительную роль играет взаимодействие полей

напряжений, существующих вокруг разупорядоченных областей и перекрытие дефектных областей. Этим обусловлены сравнительно большие величины изменения эффективных значений параметров решетки и КТР по сравнению с аналогичными изменениями, наблюдаемыми в диапазоне доз облучения 10^{15} - 10^{17} н/см².

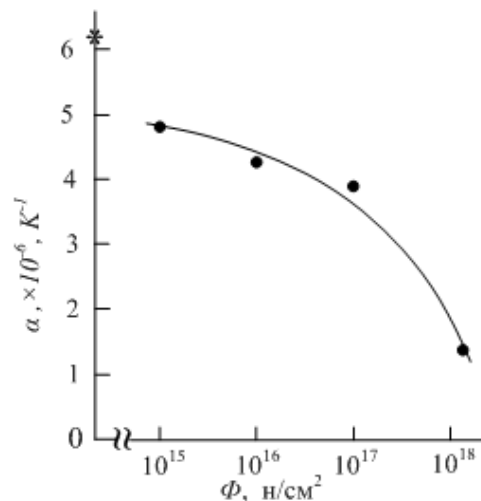


Рис. 2. Уменьшение коэффициента термического расширения образцов GaAs от флюенса нейтронного облучения. Звездочкой указано значение КТР для необлученного образца

Что касается возрастания эффективных значений параметров решетки, в результате облучения образцов быстрыми нейтронами, то оно определяется структурными изменениями и превращениями, характерными для дефектных областей, в различных точках которых появляются неоднородные объемные расширения [7].

Постепенное уменьшение величин КТР образцов с ростом дозы нейтронного облучения должно быть вызвано нарушением периодичности кристаллической решетки и связанным с этим уменьшением доли ковалентности в межатомных химических связях, так как максимальное перекрытие валентных электронных облаков достигается только при их определенной взаимной ориентации [8]. Следовательно, с ростом флюенса нейтронного облучения исследуемых образцов GaAs постепенно нарушается пространственная направленность ковалентных связей, что и обуславливает наблюдаемое уменьшение КТР.

Закключение

Облучение кристаллов GaAs быстрыми нейтронами в интервале доз 10^{15} - $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см² приводит к возрастанию эффективных значений параметров решетки и уменьшению величин КТР (в интервале температур 298 К и 318 К).

Наблюдаемые явления обусловлены существованием в разупорядоченных областях, созданных в результате нейтронного облучения,

и вокруг них неоднородного объемного расширения и нарушения пространственной направленности ковалентных связей с ростом флюенса нейтронного облучения.

Список литературы

1. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия. - М.: Мир, 1991. – 632 с.
2. Вавилов В.С. Влияние излучения на полупроводники. - М., Наука, 1990, - 192с.
3. Герасименко Н.Н., Путиев И.Т., Джаманбалин К.К., Медетов Н.А. Физические основы радиационной технологии полупроводников. - Москва-Костанай, 2003, - 273 с.
4. Чирадзе Г.Д., Герасимов А.Б., Буачидзе Д.Г. // Взаимод. излучений с твердым телом: Материалы IX Международной конференции. - Мн., 2011. - С.38.
5. Новикова С.И. Тепловое расширение твердых тел. - М.: Наука. 1974. - 293 с.
6. Дубровина А.Н., Бублик В.Т. Методы исследования структур полупроводников и металлов. - М., Металлургия, 1978, - 272 с.
7. Физические процессы в облученных полупроводниках. Под ред. Л. С. Смирнова. Изд. Наука, 1977, - 256 с.
8. Павлов Н.Н. Теоретические основы общей химии. Изд. Высшая Школа, 1978, - 300 с.

THE INFLUENCE OF NEUTRON IRRADIATION ON THE THERMAL EXPANSION OF GaAs CRYSTALS

Giorgi Chiradze, Alex Gerasimov*

Department of Physics, Akaki Tsereteli State University, Tamar Mepe Str. 59, Kutaisi, 4600, Georgia;

*Department of Physics, Georgian Technical University, Kostava Str. 77, Tbilisi, 0175, Georgia;
phone: +995-331-243532, fax: +995-331-243833, e-mail: gogichiradze@yahoo.com

Compound semiconductor GaAs is not only a promising material for semiconductor electronics, but also it is an interesting object of research of binary semiconductors physics, due to a number of its unique properties.

In the present work the dose dependence of the values of the lattice parameters of GaAs crystals is researched and the corresponding values of Coefficient of thermal expansion are computed.

Experiments were carried out on samples of GaAs, n-type conductivity at a concentration of charge carriers $6 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. The surface of the samples had a (100) orientation and disorientation did not exceed $0,3^\circ$. The samples were irradiated with a fluence of 10^{15} , 10^{16} , 10^{17} and $1,25 \cdot 10^{18} \text{ n/cm}^2$ fast neutrons at room temperature. Determination of the lattice parameters of the samples was carried out on a ДРОН-3М, by the method of Bond at temperatures of 298K and 318K samples. $\text{CuK}\alpha_1$ radiation was applied.

It appeared that irradiated samples (compared to baseline – non-irradiated) are characterized by the increased effective values of the lattice parameters (since the obtained experimental data integrally determined by characteristic inter atomic distances, both disturbed and undisturbed areas of the crystal lattice). With it in the dose range of $10^{15} - 10^{17} \text{ n/cm}^2$ the increase of the effective values of the lattice parameters occurs relatively weaker than in dosage range $10^{17} - 1,25 \cdot 10^{18} \text{ n/cm}^2$.

Magnitude of increase of the effective values of the lattice parameters - caused by the added temperature - decreases, with the growth of the doses of samples, so that the corresponding values of the coefficients of thermal expansion are gradually reduced. With it in the dose range of $10^{15} - 10^{17} \text{ n/cm}^2$ is relatively weaker than that in the dose range of $10^{17} - 1,25 \cdot 10^{18} \text{ n/cm}^2$.

Obtained results are explained by the formation of the disturbed regions and stress fields around these areas in the matrix of the irradiated samples, by the existence of deformation of the volume expansion and the gradual breakdown of spatial directivity of the covalent bonds taking place with the growth of neutron irradiation fluence in those areas.