УДК 537.311.546.681.19

ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ФОТОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КРИСТАЛЛАХ GaAs

Г.Д. Чирадзе[1], А.Б. Герасимов[2].
[1]Государственный университет Ак. Церетели, Кутаиси, Грузия.
[2]Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия.

The paper dwells on studies of dose dependencies of values of dark and light (in the process of illumination with white light) microhardnesses of GaAs crystals with n-type of conductivity, pre-irradiated with fast neutrons by an integral fluence 10^{15}ö$1{,}25\cdot10^{18}$ n/cm^2. There are also carried out the comparative studies of time dependences of relaxation of microhardness indentations in case with initial and exposed to radiation of the same samples of GaAs.

There is shown that irradiated samples (in comparison with initial non-irradiated ones) are characterized by increased values of both dark and light microhardnesses, and the value of photomechanical effect (determined as a decrease in values of dark microhardnesses during illumination process) with increasing radiation dose is gradually reduced. At the same time, it is comparatively weaker in the interval of fluencies 10^{15} ö 10^{17} n/cm^2 , than within 10^{17} ö $1{,}25\cdot10^{18}$ n/cm^2. From the quality standpoint, in a similar way there is reduced time required for equalization of samples under load after cessation of illumination, which is required for correct evaluation of light microhardness values.

Keywords: *microhardness; photomechanical effect; antibonding quasi-particles.*

Введение

Своими уникальными свойствами полупроводниковое соединение GaAs привлекает внимание не только как перспективный материал полупроводниковой электроники, но и как интересный объект исследования физики бинарных полупроводников [1].

Исследование влияния дефектов, образованных в результате воздействия проникающих излучений на физико-механические свойства бинарных полупроводниковых материалов, дает полезную информацию о физической природе этого явления [2]. Одним из методов такого исследования может служить фотомеханический эффект – ФМЭ (изменение микротвердости – МТ материалов в процессе освещения [3]). Интерес к упомянутому эффекту обусловлен тем, что он дает возможность сравнительного исследования двух разных состояний исследуемого материала (темнота и освещение), что, несомненно, будет способствовать пониманию физической природы происшедших в материале изменений в результате облучения.

Постановка задачи

Целью настоящей работы являлось исследование влияния нейтронного облучения на механические свойства монокристаллического GaAs методом измерения МТ в темноте и в процессе освещения на исходных и облученных образцах.

Методика эксперимента

Исследования проводились на монокристаллических образцах нелегированного GaAs *n*-типа с концентрацией носителей заряда $6\cdot10^{15}$ см$^{-3}$. Образцы вырезались по поверхностным плоскостям (100), разориентировка которых не превышала 0,3°. Поверхности исследуемых образцов последовательно шлифовались алмазным микропорошком М-14 и М-7, а затем полировались на алмазной пасте АСМ-1. После этого следовала химическая очистка, а затем травление в смеси H_2SO_4:H_2O_2:H_2O в соотношении 3:1:1 при температуре 30 °С в течение 60 с, после чего образцы отжигались в вакууме при температуре 500 °С в течении 1,5 ч с последующим медленным охлаждением.

Исследуемые образцы облучались в вертикальном канале реактора быстрыми нейтронами при температуре 70 ^{0}С флюенсом 10^{15}, 10^{16}, 10^{17} и $1{,}25\cdot10^{18}$ н/см^2.

С целью оценки структурного совершенства исследуемых образцов проводились рентгеноструктурные исследования на двухкристальном рентгеновском спектрометре ДРОН-3М, в

геометрии (n,-n), в четвертом порядке отражения, с использованием $CuK\alpha_1$ излучения. При этом определялась величина ширины на половине высоты кривой дифракционного отражения – КДО (d – полуширина), поскольку уширение последнего определяется дефектностью кристаллической структуры [4]. На этой же установке проводилось определение значений параметров решетки (по методу Бонда [5]), а также разориентировки и кристаллографических направлений на исследуемых поверхностях.

Измерение МТ проводилось на установке "DURIMET" фирмы "Leitz" по методу вдавливания с помощью стандартной пирамиды Кнупа. Большая диагональ пирамиды Кнупа была ориентирована вдоль направления <100> в исследуемой (100) плоскости. Нагрузка на индентор была равна 25 г.

Освещение исследуемых поверхностей осуществлялось с помощью источников белого света (две лампы накаливания с вольфрамовой нитью типа К21-150 со встроенными отражателями), при этом общая освещенность составляло $3 \cdot 10^5$ люкс. С целью предотвращения термических воздействий со стороны лампы исследуемый кристалл охлаждался потоком воздуха. При этом добавка температуры не превышала 20^0, что в темноте не вызывало заметного изменения значении микротвердости.

Величина ФМЭ оценивалось величиной $\Delta H/H_0$ ($\Delta H = H_0 - H_{св}$, где H_0 и $H_{св}$ – значения МТ соответственно в темноте и в процессе освещения).

Основной материал и результаты

На рис. 1 приведены зависимости значений темновых и световых МТ исследуемых кристаллов GaAs от флюенса быстрых нейтронов.

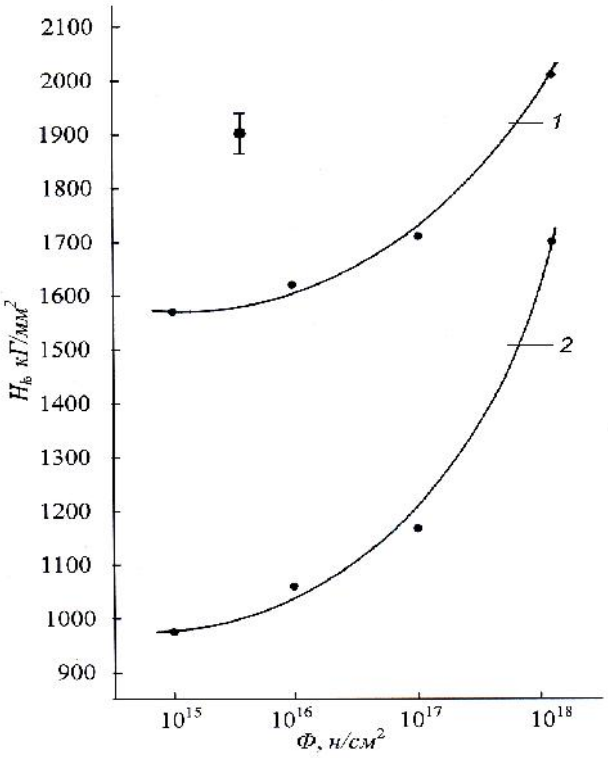

Рис. 1. Зависимость МТ образцов GaAs от флюенса нейтронов, измеренных в темноте (1) и при освещении (2)

При определении значений световых МТ индентирование осуществлялось на освещенной поверхности, а после окончания формирования отпечатка освещение прекращалось и по истечении определенного времени производилось удаление нагрузки. Необходимость истечения определенного времени с момента прекращения освещения до удаления индентора, как показано в работах [6; 7], вызвана тем, что после конца формирования отпечатков на освещенной поверхности, если индентор удаляется с освещенной поверхности, отпечатки из-за их релакса-

ции (заплывание размягченной массы и упругое восстановление) получаются сравнительно меньших размеров. Это явление обусловлено особенностями энергетического спектра носителей заряда в приповерхностной области образца [8] и рекомбинацией на них фотовозбужденных носителей заряда [7]. В результате значения световых МТ завышены по сравнению с тем случаем, когда сначала прекращается освещение, и после прошетствия определенного времени, по истечении которого величина МТ не меняется, удаляется нагрузка. Эта зависимость в случае исходного (необлученного) GaAs приведена на рис. 2.

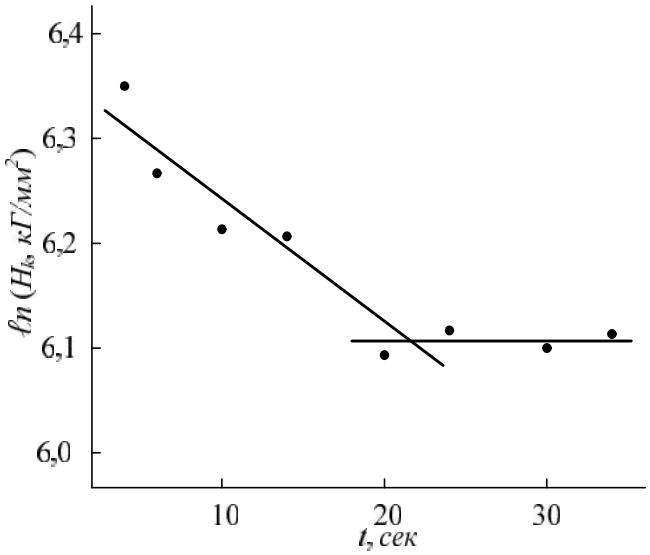

Рис. 2. Зависимость логарифма величины световой МТ от времени, в течении которого образец находился под нагрузкой после прекращения освещения (исходный - необлученный образец)

Таким образом, для данного образца существует минимальное время, в течение которого необходима выдержка образца под нагрузкой с момента прекращения освещения, после истечения которого величина светового МТ не меняется (учет этого необходим для корректной оценки величин световых МТ).

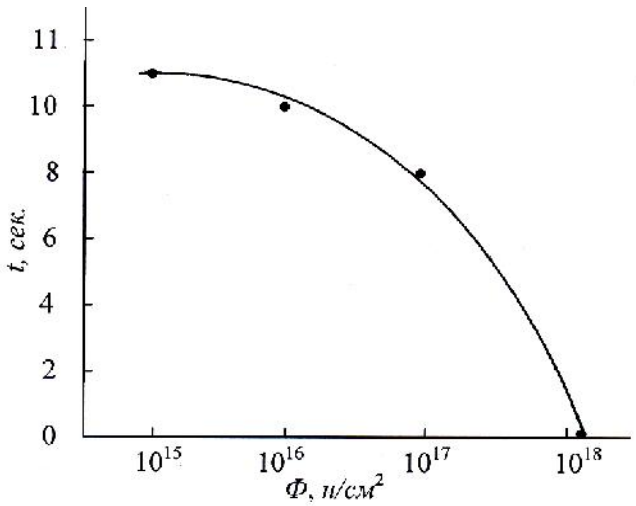

Рис. 3. Уменьшение величины ФМЭ с ростом флюенса быстрых нейтронов

Как видно из рис. 1, с ростом флюенса нейтронов значения темновых и световых МТ возрастают, однако при этом значения световых МТ нарастают быстрей, чем темновая МТ, поэтому величина ФМЭ с ростом флюенса нейтронов уменьшается. При этом в диапазоне флюенсов $10^{15} \div 10^{17}$ н/см^2 зависимость сравнительно слабее, чем в диапазоне $10^{17} \div 1{,}25 \cdot 10^{18}$ н/см^2 (рис. 3).

Отметим, что в исходном необлученном образце, в условиях настоящего эксперимента, величина ФМЭ была равна 45%. Следует отметить, что качественно аналогично возрастают значения параметров решетки и полуширин КДО (рис. 4).

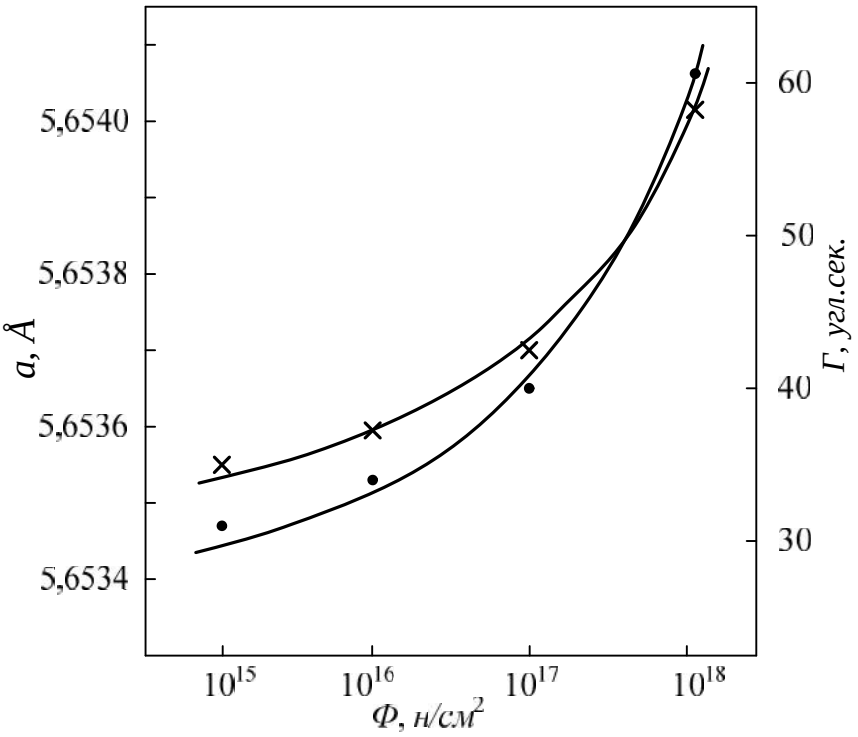

Рис. 4. Изменение значений параметров решетки (*a* – точки) и полуширин КДО (d – крестики) кристаллов GaAs с ростом флюенса быстрых нейтронов

В данной работе были проведены исследования зависимости минимального времени релаксации размеров отпечатков, в зависимости от флюенса нейтронов. На рис. 5 приведена зависимость необходимого минимального времени выдержки облученных образцов под нагрузкой после прекращения освещения (определенные из аналогичной зависимости, приведенной на рис. 2) от флюенса нейтронов.

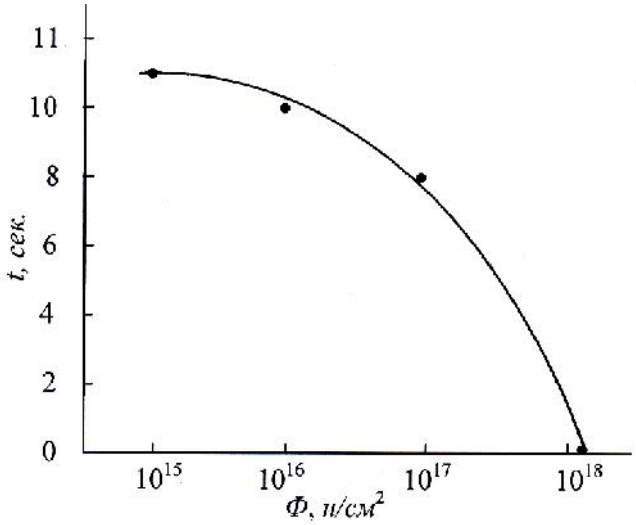

Рис. 5. Уменьшение необходимого минимального времени выдержки образцов под нагрузкой после прекращения освещения с ростом флюенса нейтронного облучения

Как видно, значения минимального времени в диапазоне флюенса $10^{15} \div 10^{17}$ н/см^2 постепенно уменьшаются, а при достижении флюенса облучения $1{,}25 \cdot 10^{18}$ н/см^2 достигает неизмеримого значения, что указывает на то, что с возрастанием флюенса облучения в процессе индентирования постепенно исчезает упругая составляющая деформации, т.е. материал охрупчивается.

Известно, что возрастание дефектности кристаллической структуры приводит к увеличению значений МТ [9]. Нейтронное облучение полупроводников приводит к созданию в его объеме разупорядоченных областей и полей напряжений вокруг этих областей [2]. При этом разупорядоченные области представляют собой скопление различного рода точечных дефектов, атомов кристаллической решетки, смещенных из узлов решетки. С увеличением флюенса облучения увеличивается концентрация этих разупорядоченных областей, что и вызывает наблюдаемое в эксперименте повышение значений МТ. А при достижении флюенса $1{,}25 \cdot 10^{18}$ н/см^2 значительную роль играет взаимодействие полей напряжений, существующих вокруг разупорядоченных областей, и перекрытие дефектных областей, чем и обусловлено более сильное повышение значений МТ. Эти соображения подтверждаются существованием линейной зависимости между величинами относительного изменения параметров решетки и полуширин кривых КДО от флюенса (рис. 6).

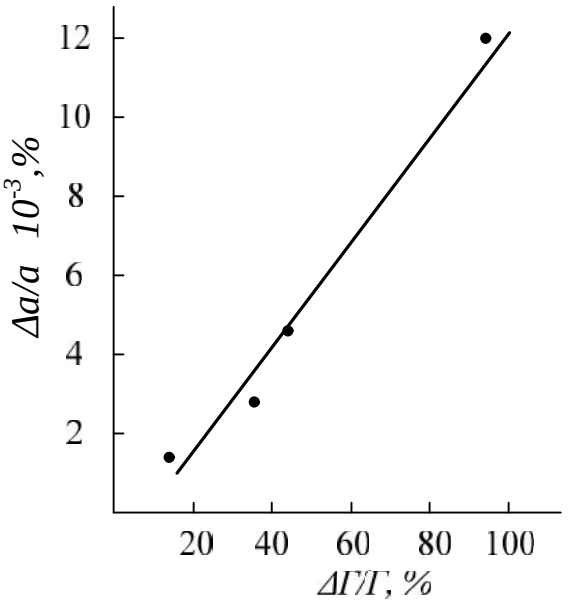

Рис. 6. Изменение значений параметров решетки (*a* – точки) и полуширин КДО (d – крестики) кристаллов GaAs с ростом флюенса быстрых нейтронов

Наблюдаемые уменьшения значений МТ в освещенных образцах объясняются на основе соображений, представленных в работах [10; 11]. Согласно им, за размягчение кристаллов с ковалентными и преимущественно ковалентными химическими связями в процессе освещения ответственны неравновесные носители тока, возбуждаемые из валентной зоны. В полупроводниках валентная зона состоит из связывающих орбиталей, а зона проводимости – из антисвязывающих орбиталей [12]. Поэтому, соответственно, свободные электроны в антисвязывающей и дырки в связывающей зонах, являются антисвязывающими квазичастицами – АКЧ, которые при подходе к данному атому уменьшают силу связи этого атома с соседними атомами и меняют пространственное распределение электронной плотности тех электронов, которые принимают участие в образовании межатомных связей. В исследуемых образцах уменьшение величин ФМЭ с ростом флюенса быстрых нейтронов обусловлено, кроме увеличения концентрации разупорядоченных областей, уменьшением концентрации фотовозбужденных АКЧ за счет уменьшения их времени жизни в результате роста темпа рекомбинации, чем и вызван более быстрый рост значений световых МТ.

Выводы

В результате облучения GaAs быстрыми нейтронами, в интервале флюенса $10^{15} \div 1{,}25 \cdot 10^{18}$ н/см^2 все экспериментальные данные: увеличение МТ, уменьшение величины ФМЭ, уменьшение до неизмеримого необходимого минимального времени выдержки образца под нагрузкой после прекращения освещения, возрастание параметра решетки и полуширин КДО – указывают на уменьшение упругости и охрупчивание материала в результате увеличения концентрации разупорядоченных областей, образованных облучением быстрыми нейтронами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шур, М. Современные приборы на основе арсенида галлия / М. Шур. – М., Мир, 1991. – 632 с.

2. Вавилов, В. С. Влияние излучения на полупроводники / В. С. Вавилов – М., Наука, 1990. – 192 с.

3. Kuczynski, G. G., Hochman, R. F. Light-induced plasticity in semiconductors / G. G. Kuczynski, R. F. Hochman // Phys. Rev. – 1957. – V. 108. – P. 946-948.

4. Афанасьев, А. М. Рентгеновская структурная диагностика в исследовании приповерхностных слоев монокристаллов / А. М. Афанасьев, П. А. Александров, Р. М. Имамов. – М., Наука, 1986. – 95 с.

5. Дубровина, А. Н., Бублик, В. Т. Методы исследования структур полупроводников и металлов / А. Н. Дубровина, В. Т. Бублик. – М., Металлургия, 1978. – 272 с.

6. Герасимов, А. Б. Влияние антисвязывающих электронов и дырок на поверхностную твердость / А. Б. Герасимов, Г. Д. Чирадзе, З. В. Джибути // Сообщение АН Грузии. – 1987. – Т. 141. – № 1. – С. 53-56.

7. Герасимов, З. В. Влияние ражима формирования отпечатка на оценку величины фотомеханического эффекта / З. В. Герасимов, Г. Д. Чирадзе, Н. Г. Кутивадзе // ФТТ. – 1998. – Т. 40. – № 3. – С. 503-505.

8. Вопросы радиационной технологии полупроводников : под ред. Л. С. Смирнова. – Новосибирск, Наука, 1980. –191 с.

9. Предводителев, А. А. Физика кристаллов с дефектами / А. А. Предводителев. – МГУ, 1986. – 238 с.

10. Gerasimov, A. B. Electron-hole mechanism of migration of defect and interaction / A. B. Gerasimov // Materials Science Forum : Proceedings of the 4th International Conference, New-York. – 1990. – V. 65-66. – P. 47.

11. Buachidze, D. G. Physical Nature of Acceleration of Mass Transfer in a Solid State Under the Concentrated Load / D. G. Buachidze, G. D. Chiradze, A. B. Gerasimov // CIMTEC-2006 : Proceedings of the 11th International Ceramic Congress & 4th Forum on New Materials, Sicily. – 2006. – P. 133.

12. Харрисон, У. Электронная структура и свойства твердых тел / У. Харрисон. – М., Мир, 1983. – 381 с.

Отримано редакцією 20.09.2012 р.

Герасимов Алексей Борисович, д.ф.-м. н., проф. департамента физики Грузинского технического университета. 0175, Тбилиси, Грузия, ул. Костава, 77, тел.(+995 331) 224136, факс (+995 331) 243833, e-mail: gogichiradze@yahoo.com

Чирадзе Георгий Давидович, д.ф.-м. н., проф. департамента физики Государственного университета им. Акакия Церетели. Департамент физики, 4600, Кутаиси, Грузия, ул. Царицы Тамар, 59. тел.(+995)577 131544, факс (+995 331) 243833, e-mail: gogichiradze@yahoo.com