

ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ФОТОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КРИСТАЛЛАХ GaAs

Г.Д. Чирадзе, А.Б. Герасимов, Д.Г. Буачидзе
Государственный университет им. Ак. Церетели, кафедра физики,
ул. Царицы Тамар, 59, 4600, Кутаиси, Грузия,
тел. (+995 331) 243532, факс (+995 331) 243833, e-mail: gogichiradze@yahoo.com

Исследованы дозовые зависимости значений темновых и световых (в процессе освещения белым светом) микротвердостей кристаллов GaAs *n*-типа проводимости, предварительно облученных быстрыми нейтронами в диапазоне доз $10^{15} \div 1,25 \cdot 10^{18}$ н/см². Проведены так же сравнительные исследования временных зависимостей релаксации размеров отпечатков микротвердости для исходных и подвергнутых облучению образцов GaAs.

Показано, что облученные образцы (по сравнению с исходными - необлученными) характеризуются повышенными значениями как темновых, так и световых микротвердостей, однако таким образом, что величина фотомеханического эффекта (определяемая как уменьшение значений темновых микротвердостей в процессе освещения) с ростом дозы облучения подвергается постепенному уменьшению. При этом в диапазоне доз $10^{15} \div 10^{17}$ н/см² сравнительно слабее, чем в диапазоне доз $10^{17} \div 1,25 \cdot 10^{18}$ н/см². С качественной стороны аналогичным образом уменьшается время, необходимое для выдержки образцов под нагрузкой после прекращения освещения, учет которого необходим для корректной оценки величин световых микротвердостей.

Введение

Исходя из своих уникальных свойств, полупроводниковое соединение GaAs привлекает внимание не только как перспективный материал полупроводниковой электроники, но и как интересный объект в исследовании в сфере физики бинарных полупроводников [1].

Исследование влияния проникающих излучений на физико-механические свойства бинарных полупроводниковых материалов дает полезную информацию о физической природе влияния образованных при этом дефектов на механические характеристики исследуемых материалов [2], что исследуется различными методами. Одним из методов исследования является фотомеханический эффект – ФМЭ (изменение микротвердости – МТ материалов в процессе освещения [3,4]). Интерес к упомянутому эффекту обусловлен тем, что он дает возможность сравнительного исследования двух разных состояний исследуемого материала (темнота и освещение), что является весьма важным для понимания природы произошедших в материале изменений в результате облучения.

Целью настоящей работы являлось исследование темновых МТ и ФМЭ на монокристаллических образцах GaAs, исходных и подвергнутых облучению быстрыми нейтронами (в диапазоне доз $10^{15} \div 1,25 \cdot 10^{18}$ н/см²) и последующий сравнительный анализ полученных данных.

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.

С целью оценки структурного совершенства исследуемых образцов проводились рентгеноструктурные исследования на двухкристалльном

рентгеновском спектрометре ДРОН-3М, в геометрии (*n*, -*n*), в четвертом порядке отражения, с использованием $\text{CuK}\alpha_1$ излучения. При этом определялась величина ширины на половине высоты кривой качания ($\Delta\theta$ - полуширина), поскольку уширение последнего определяется дефектностью кристаллической структуры [5]. На этой же установке проводилось определение разориентировки, а также 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 $\langle 110 \rangle$ 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 K21-150 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.

Результаты и обсуждение

На рис.1 приведена зависимость значений темновых и световых микротвердостей исследуемых кристаллов GaAs от дозы нейтронного облучения. Как видно, с ростом флюенса облучения значения темновых и световых МТ возрастают, однако в диапазоне доз $10^{15} \div 10^{17}$ н/см² зависимость сравнительно слабая, чем в диапазоне доз $10^{17} \div 1,25 \cdot 10^{18}$ н/см². Что касается величин ФМЭ, то они больше при сравнительно малых дозах и с ростом дозы облучения подвергаются уменьшению, что видно из рис.2. Для наглядного сравнения отметим, что в исходном необлученном образце величина ФМЭ $\Delta H/H_0$ (падение МТ относительно его темнового значения, $\Delta H = H_0 - H_{св}$, где: H_0 и $H_{св}$ значения МТ соответственно в темноте и в процессе освещения) была равна

45%. Следует отметить, что качественно аналогичным образом происходит возрастание значения параметров решетки и полуширин кривых дифракционного отражения.

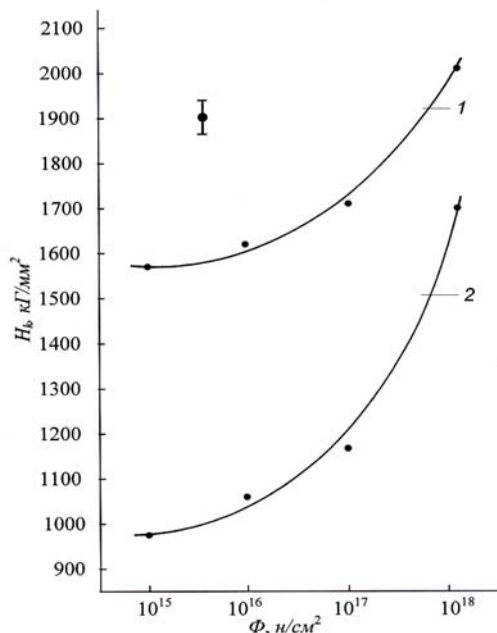


Рис. 1. Зависимость микротвёрдости образцов GaAs от дозы нейтронного облучения в темноте (1) и при освещении (2).

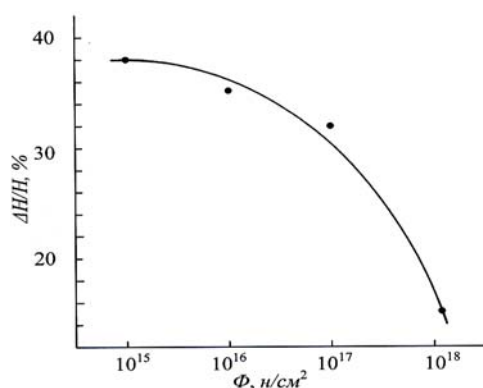


Рис. 2. Уменьшение величины ФМЭ с ростом дозы нейтронного облучения.

Известно, что после конца формирования отпечатка на предварительно освещенной поверхности, если индентор сразу удаляется с освещенной поверхности, то отпечатки получаются сравнительно меньших размеров, и соответственно значения световых МТ имеют завышенные значения по сравнению с тем случаем, если с начала прекратить освещение и после истечения определенного времени удалить нагрузку. При остальных равных условиях эксперимента эта разница больше при малых нагрузках [6,7].

В данной работе были проведены исследования временной зависимости релаксации размеров отпечатков, соответственно описанному эксперименту в зависимости от флюенса нейтронного облучения.

Эксперименты показали, что значения световых МТ экспоненциально уменьшаются со временем, в течение которого после прекращения освещения образец находится под нагрузкой. Эта зависимость в случае исходного необлученного GaAs приведена на рис.3.

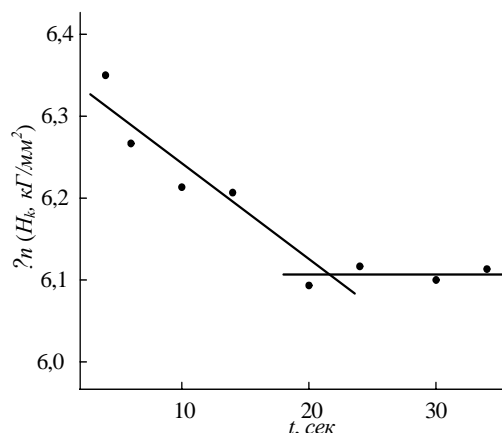


Рис. 3. Зависимость логарифма величины световой микротвёрдости от времени, в течение которого образец находился под нагрузкой после прекращения освещения (исходный - необлученный образец).

На рис.4 приведена зависимость необходимых времен выдержки облученных образцов под нагрузкой после прекращения освещения (определенные из аналогичных зависимостей приведенного на рис.3) от дозы нейтронного облучения.

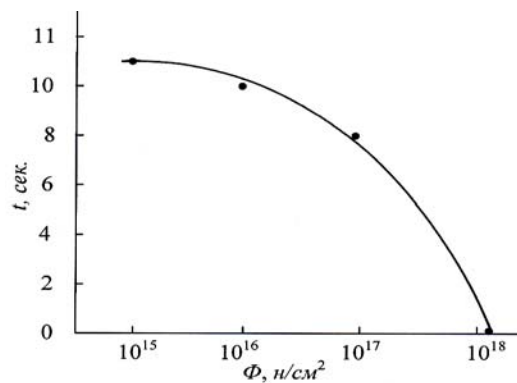


Рис. 4. Уменьшение времени выдержки образцов под нагрузкой после прекращения освещения с ростом дозы нейтронного облучения.

Как видно значения времен выдержки облученных образцов под нагрузкой после прекращения освещения (учет которого необходим для корректной оценки величин световых МТ) подвергаются постепенному уменьшению в диапазоне доз $10^{15} \div 10^{17}$ н/см², а при дозе облучения $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см² достигает неизмеримого значения, что указывает на то, что постепенно исчезает упругая составляющая деформации при индентировании т.е. охрупчивается материал. Известно [2], что нейтронное облучение вызывает образование в облученном образце разупорядоченных

областей, а с увеличением флюенса облучения увеличивается концентрация этих разупорядоченных областей, что и вызывает наблюдаемое на эксперименте повышение значений МТ. А при достижении дозы облучения $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см² значительную роль играет перекрытие дефектных областей, чем и обусловлено более сильное повышение МТ. Эти соображения подтверждаются с качественной стороны похожими зависимостями возрастных параметров решетки и полуширин кривых дифракционного отражения.

Наблюдаемые уменьшения значений МТ в облученных образцах хорошо объясняются на основе соображений, высказанных в работах [8,9]. Согласно им, за размягчение кристаллов с ковалентными и преимущественно ковалентными химическими связями в процессе освещения ответственны неравновесные носители тока, возбуждаемые из валентной зоны, так называемые антисвязывающие квазичастицы - свободный электрон в зоне проводимости и дырка (разорванная связь) в валентной зоне. В исследуемых образцах уменьшение величин ФМЭ с ростом флюенса облучения быстрыми нейтронами обусловлено уменьшением концентрации фотовозбужденных антисвязывающих квазичастиц за счет уменьшения их времени жизни в результате роста темпа рекомбинации с увеличением концентрации разупорядоченных областей.

Заключение

В результате облучения GaAs быстрыми нейтронами в интервале доз $10^{15} \div 1,25 \cdot 10^{18}$ н/см² все экспериментальные данные: увеличе-

ние микротвердости, уменьшение величины ФМЭ, уменьшение до неизмеримого необходимого времени выдержки образца под нагрузкой после прекращения освещения, возрастание параметра решетки и полуширин кривых дифракционного отражения указывает на уменьшении упругости и охрупчивание материала в результате увеличения концентрации разупорядоченных областей, образованных облучением быстрыми нейтронами.

Список литературы

1. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия. - М.: Мир, 1991. - 632с.
2. Вавилов В.С. Влияние излучения на полупроводники. М.: Наука, 1990. - 192с.
3. Kuczynski G.G., Hochman R.F. // *Phys. Rev.* - 108. - 1957. - P. 946.
4. Чирадзе Г.Д. Исследование фотомеханического эффекта в кремнии. Дис. канд. физ.-мат наук, Тбилиси, 1992.
5. Афанасьев А.М., Александров П.А., Имамов Р.М. Рентгеновская структурная диагностика в исследовании приповерхностных слоев монокристаллов. - М.: Наука, 1986. - 95с.
6. Герасимов А.Б., Чирадзе Г.Д., Джибути З.В. // Сообщение АН Грузии. - 1987. -141. - С. 53.
7. Герасимов З.В., Чирадзе Г.Д., Кутивадзе Н.Г. // ФТТ, - 1998, - 40. - С. 503.
8. Gerasimov A.B. // *Materials Science Forum: Proceedings of the 4th International Conference*, - New-York. - 1990. - V. 65-66. - P.47.
9. Buachidze D.G., Chiradze G.D., Gerasimov A.B. // CIM-TEC-2006: Proceedings of the 11th International Ceramic Congress & 4th Forum on New Materials, Sicily, 2006. - P.133.

INFLUENCE OF NEUTRON IRRADIATION ON PHOTOMECHANICAL EFFECT IN GaAs CRYSTALS

Giorgi Chiradze, Alex Gerasimov, David Buachidze

Department of Physics, Akaki Tsereteli State University, Tamar Mepe Str. 59, Kutaisi 4600, Georgia;
phone: +995-331-243532, fax: +995-331-243833, e-mail: gogichiradze@yahoo.com

There are investigated in a given work the dose responses of the dark and light microhardness values (with white light illumination), parameters of array and half-widths of diffraction reflection curves of GaAs crystals with n-type conductivity, pre-irradiated with fast neutrons with doses fluence $10^{17} \div 1,25 \cdot 10^{18}$ н/см². Also, there are carried out the comparative investigations of time dependences of relaxation of the light microhardness imprints' sizes for cases with the same primary and irradiated patterns of GaAs.

There is shown that irradiated patterns (in comparison with unirradiated primary ones) are characterized by raised values of both light and dark microhardness, but so that the value of the photomechanical effect undergoes the gradual decreasing with the increase in radiation dose. Herewith, over the range of doses between $10^{15} \div 10^{17}$ н/см² it carries out comparatively weaker than between $10^{17} \div 1,25 \cdot 10^{18}$ н/см². In terms of quality, the values of the array parameters and diffraction reflection curves are increasing similarly, and time required for patterns on-loading test after illumination ceases that is necessary to take into consideration for correct evaluation of the light microhardness values.

Explanation of the obtained results is based on fact that the neutron irradiation causes creation of disordered regions in the irradiated pattern, and with the increase in radiation dose the concentration of these disordered regions goes up that exactly causes the raise of microhardness values observed during experiment, but after getting to radiation dose at $1,25 \cdot 10^{18}$ н/см² the overlap of the defective areas play a major role that is consequently subject to greater raise of microhardness values. The photogenerated antibonding quasi-particles, which exert weakening effect on interatomic chemical bonds, are responsible for softening of patterns during illumination process, but relaxation of the imprints' sizes in the process of moving away the indenter from illuminated surface is caused by an increase in elastic recovery of imprints, but the decreasing the latter one is caused by brittleness of material as a result of neutron irradiation.