# ВЫЯВЛЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ОБЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ ИОНАМИ КРИСТАЛЛАХ А<sup>3</sup>В<sup>5</sup> СЕЛЕКТИВНЫМ ТРАВЛЕНИЕМ

А.Н.Акимов, Л.А.Власукова, А.А.Комаров Белорусский Государственный Университет, Беларусь, 220064, г. Минск, ул. Курчатова, 1; факс: 277-48-33, е-таі: kff@rfe.bsu.unibel.by

Кристаллы GaAs и InP облучались ионами Kr и Xe с E=210, 247 и 340 МэВ дозами 3x10<sup>12</sup> - 5x10<sup>13</sup> см<sup>-2</sup>. Для изучения радиационных повреждений использовалось селективное травление сколов (110) с последующим их исследования в оптическом микроскопе. Оценены толщины и морфология областей с различным содержанием дефектов и внедренных ионов. Показано, что при использовании близких режимов имплантации степень разупорядочения в случае InP вышев сравнении с GaAs.

#### І. Введение

Имплантацию высокоэнергетичных ионов в соединения А<sup>3</sup>В<sup>5</sup> используют для создания глубокозалегающих проводящих и изолирующих слоев [1-4]. Изучение распределения дефектов, введенных при облучении высокоэнергетичными ионами, и его изменений в ходе последующего отжига, является актуальной задачей.

Для ее решения необходим простой экспрессный метод диагностики распределения радиационных дефектов и внедренных примесей по глубине имплантированного кристалла. Таким методом может стать селективное травление сколов облученных образцов. Выявление границ эпитаксиальных слоев или областей с различной концентрацией носителей заряда, примесей и точечных дефектов методом селективного травления сколов хорошо отработано для материалов А<sup>3</sup> В<sup>5</sup> [5,6], однако данных по применению этого метода в диагностике имплантированных кристаллов очень мало. При имплантации ионами малых и средних энергий селективное травление использовать нельзя, так как толщины поврежденных слоев слишком малы и находятся за пределами применимости метода. При облучении же ионами МэВ-ного диапазона энергий глубина проникновения ионов в материал и, соответственно, локализации радиационных дефектов достаточно велика, чтобы контролироваться селективным травлением. Тем не менее, нам известна только одна работа, в которой травление было применено для изучения распределения радиационных дефектов и внедреных в GaAs ионов <sup>120</sup>Sn с энергией 70 МэВ [7].

В настоящей работе представлены результаты использования селективного травления кристаллов GaAs и InP, облученных ионами МэВного диапазона энергий, для диагностики распределения радиационных повреждений и внедренных ионов.

## II. Методика эксперимента

Кристаллы GaAs и InP ориентации <100> имплантировались при комнатной температуре ионами Kr (E=210 и 247 МэВ) и Xe (E=340 МэВ) в интервале доз 3x10<sup>12</sup> - 5x10<sup>13</sup> см<sup>-2</sup>.

Свежесколотые плоскости (110) облабат

вались в AB-травителе{CrO<sub>3</sub> (10 r) + HF (10 мл) + + H<sub>2</sub>O (20 мл) + AgNO<sub>3</sub> (0.08 г)} [8] при комнатной температуре в течение 3-10 с (для GaAs) или при 60-70 <sup><sup>U</sup> С в течение 1-3 мин (для InP).</sup>

Протравленные сколы исследовались в металлографическом микроскопе Neophot. Результаты измерений глубины залегания выявленных травлением структурных нарушений сравнивались с проективными пробегами Rp, рассчитанными по программе TRIM 95 и приведенными в таблице.

Таблица

Условия имплантации и проективные пробеги

Материал, условия имплан- тации	R <sub>р</sub> , мкм	Δ <b>R</b> <sub>p</sub> , мкм
GaAs←Kr, E = 210 M∋B	20.3	0.7
InP←Kr, E = 247 M₃B	25.1	0.7
InP←Xe, E = 340 M∋B	25.6	0.9

При травлении скола происходит растворение тонкого (50-100 нм) слоя материала. Для получения информации о структурном совершенстве этого приповерхностного слоя с образцов GaAs перед травлением снимались спектры комбинационного рассеяния света (КРС).

#### III. Результаты и обсуждение

На рис. 1 приведены микрофотографии сколов образцов GaAs и InP, облученных ионами Kr с энергиями 210 и 247 МэВ дозами 3x1013 и 5х10<sup>13</sup> см<sup>-2</sup> соответственно. Как видно из рисунка, несмотря на близкие условия облучения, характер распределения и морфология повреждений различаются для GaAs и InP. На сколе GaAs (рис.1а) в приповерхностной области наблюдаются две тонких резко очерченных полосы. Полоса

на глубине ~15 мкм, по \_\_\_\_\_ This document has been СЛОЮ С ПОВЫШЕННЫМ С Дерока edited with Infix PDF Editor дефектов. Полоса на година - free for non-commercial use ветствует области ма По то remove this notice, visit BUORDOULL IN MOUSE



www.iceni.com/unlock.htm



83

Рис 1. Микрофотографии обработанных в АВрастворе свежесколотых плоскостей (110) образиз GaAs (а) и InP (б), облученных ионами Кг в распиах. E=210 MsB, Ф=3х10 <sup>13</sup> см<sup>-2</sup> (а), E=247 MsB. Ф=5х10 <sup>13</sup> см<sup>-2</sup> (б).

При пареходе к InP обнаруживается иной вид скола (рис. 16). В области от поверхности до глу-

бины ~15 мкм наблюдаются линии высокой плот-

ности, вытянутые в направлении <110>. На глубинах 15-20 мкм видна полоса мелкоточечного фона, которая граничит со слоем нарушений, ра сложенным между 20 и 25 мкм. Спубича за



(б)

Рис. 2. Микрофотографии обработанных в АВрастворе свежесколотых плоскостей (110) кристаллов InP, облученных ионами Хе с энергист 5 = 340 Мар дозами 3x10<sup>12</sup> см<sup>-2</sup> (а) и 1x10<sup>13</sup> см<sup>-2</sup> (б).

This doo edited u - free fo

This document has been edited with **Infix PDF Editor** - free for non-commercial use.

венно различается, причем степе

To remove this

to remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

На рис.2 представлены микрофотографии сколов InP, облученного ионами Xe с E = 340 МэВ дозами 3x10<sup>12</sup> и 1x10<sup>13</sup> см<sup>-2</sup>

Для образца, облученного дозой 3x10<sup>12</sup> см<sup>-2</sup>, видны три области различной степени разупорядочения (рис.2а). В области от поверхности до

глубины ~12 мкм травлением выявляются дефекты в виде протяженных линий аналогично наблюдаемым на рис.1а. В области глубин от 12 до 17 мкм дефекты не выявлены. От 22 до 30 мкм простирается слой мелких ямок, размеры которых увеличиваются с глубиной. На глубине R<sub>p</sub> видна узкая линия, соответствующая максимальной концентрации ионов Хе. При переходе к 5x10<sup>12</sup> см<sup>-2</sup> (на рисунке не показано) толщина слоя без фигур травления уменьшается за счет роста толщин прилегающих поврежденных слоев.

Ha сколе образца, облученного дозой 1x10<sup>13</sup> см<sup>-2</sup>, (рис.2в) наблюдается сложная картина из полос разного контраста и морфологии. От поверхности до глубины ~10 мкм виден слой светлого контраста без фигур травления (изогнутые линии обусловлены характером скалывания данного образца и не связаны с обработкой в селективном травителе). Второй слой светлого контраста расположен на глубине 15-17 мкм между двумя темными полосами шириной 3-4 мкм. На глубине ~ 27 мкм виден слой крупных ямок. Для образца, облученного дозой 3х10<sup>13</sup> см<sup>-2</sup> (на рисунке не показан), вид скола аналогичный.

Для интерпретации полученных результатов использованы данные [9] по изучению методом ПЭМ повреждений в кристаллах InP, облученных ионами Хе (Е = 250 МэВ). Авторы [9] в образцах, облученных малыми дозами, на глубине 100 нм -10 мкм наблюдали треки из аморфного InP, образованные в результате электронного тормо-жения ионов Хе. Под областью треков на глубине 10-17 мкм наблюдалась область монокристаллического InP с кластерами точечных дефектов. Далее на глубине 19-21 мкм находилась полоса сильно поврежденного материала, представляющего собой смесь аморфных и кристаллических областей. В облученном дозой 5x10<sup>13</sup> см<sup>-2</sup> образце от поверхности до глубины ~12 мкм зарегистрирована область аморфного материала с кристаллическими включениями, а на глубине от 15 до 19 мкм - слой монокристалла с кластерами точечных дефектов. Под слоем монокристалла на глубине 19-21 мкм наблюдалась полоса аморфматериала, соответствующая поврежного дениям, вызванным упругими потерями энергии. Слой монокристаллического материала отделялся от аморфных слоев переходными областями. С учетом различия энергий внедренных ионов наблюдается хорошее соответствие между глубинами залегания поврежденных областей в облученных кристаллах InP, зафиксированными методом ПЭМ [9] и селективным травлением в нашей работе. Для образца с дозой внедренного Xe 3x10 <sup>12</sup> см<sup>-2</sup> (рис. 2a) поверхностная область с вытянутыми в направлении <110> линиями представляет собой область трекообразования. Область без фигур травления, лежащая под слоем с треками, совпадает с областью слабо по-

Z. dr annihilaring

врежденного монокристалла из [9]. Слой в области R<sub>D</sub> из мелких ямок соответствует полосе из аморфных и кристаллических областей. Приповерхностный слой образца, облученного дозой 1х10<sup>13</sup> см<sup>-2</sup> (рис.26) можно соотнести со слоем аморфного материала, зафиксированного для образца с дозой Хе 5х10<sup>13</sup> см<sup>-2</sup> в [9]. Область между 10 и 20 мкм из линий темного и светлого контраста (рис.2б) соответствует монокристаллу, отделенному от аморфных областей переходными слоями. Слой на глубине 20-27 мкм представляет собой материал, поврежденный в результате упругих потерь энергии.

#### IV. Заключение

Селективное травление сколов кристаллов GaAs и InP, имплантированных высокоэнергетичными ионами, позволяет определять толщину, а также оценивать резкость границ, планарность и морфологию областей с различным содержанием дефектов и внедренных ионов. Изучение протравленных сколов кристаллов GaAs и InP, облученных высокоэнергетичными ионами в близких режимах, показало, что структура повреждений для InP и GaAs существенно различается. Степень разупорядочения в случае InP выше в сравнении с GaAs. На сколах GaAs наблюдалась картина из двух тонких слоев с резко очерченными границами. Более близкий к поверхности слой соответствует области с повышенным содержанием дефектов. Второй слой, глубина залегания которого совпадает с проективным пробегом, соответствует области максимальной концентрации внедренных ионов. Для InP обнаружен сложный характер распределения повреждений по глубине имплантированного слоя. От поверхности до глубины 10-12 мкм простирается область треков или полностью аморфного материала (в зависимости от дозы облучения). Под нею находится область слабо поврежденного монокристалла, отделенного от сильно разупорядоченных областей переходными слоями. На глубине 20-30 мкм расположен второй поврежденный слой, связанный с потерями энергии на ядрах.

#### Список литературы

- Thompson P.E., Dietrich H.B., Ingram D.C. // Nucl. 1 Instr. and Methods. - 1985. - B6. - P.287.
- Krowne C.M., Thompson P.R. // Solid -State 2 Electron. - 1987. - V.30. - P. 497.
- 3 Donelly J.P. // Nucl. Instr. and Methods. - 1981. -V. B181/183. - P. 553.
- Short K.T., Pearton S.J. // J. Electrochem. Soc -4 1988.- V.135. - P.2835.
- 5. Власукова Л.А. // Неорганические материалы. -1993. - T.29. - C.1597.
- Власукова Л.А. // Неорганические материалы. -6. 1993 - T.29. - C.1601.
- Narsale A., Ali Y.P., Bambhani U., Salvi V.P., Arora 7 B.M., Kanjial D., Mehta G.K. // J. Appl. Phys. - 1997. - V. 82. - P.4228.
- Abrahams M.S., Buiocchi C.J. // J. Appl. Phys. -8. 1965. - V.36 - P.2855.
- Herre O., Wesch W., Wendler E., Gaiduk P.I., Komarov F.F, Klaumunzer S., Meier P. // Phys. Rev. 1998 V B58 P 41 This document has been edited with Infix PDF éditor 9.





To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

## REVEALATION OF DAMAGE IN A<sub>III</sub>B<sub>V</sub> CRYSTALS IRRADIATED BY HIGH-ENERGY IONS BY MEANS OF SELECTIVE ETCHING

### A.N. Akimov, L.A.Vlasukova, A.A.Kamarou Belarusian State University

Belarus, 220064, Minsk, 1, Kurchatov Str.; fax: 277-48-33, e-mail: kff@rfe.bsu.unibel.by

GaAs and InP crystals were irradiated by Kr and Xe ions (with energy E = 210, 247 and 340 MeV; dose varied from  $5x10^{15}$  cm<sup>-2</sup>). To examine radiation damage the authors applied selective etching of (110) cleavage planes of irradiated trobes as well as their following observation by means of optical microscope. Data of TEM for InP crystals irradiated by Xe  $\epsilon = 250$  MeV) ions [1] were used in order to interpret obtained results. It is found that selective etching of cleavage planes of GAs and InP crystals implanted with high-energy ions enables us to estimate sharpness of boundaries as well as to determine honess planarity and morphology of layers containing different defects and implanted ions. Investigation of etched (110) cauge planes of GaAs and InP crystals irradiated by high-energy ions in similar regimes showed that the structure of tradition damage for GaAs. For the case of GaAs we registered two thin layers with sharp boundaries. The depths corresponding to these layers are close to those of projected range and maximum of radiation defects calculated on the basis of RM495 code. For the case of InP there was revealed rather complex character of distribution of damage over depth for molecular depth layer (up to 10+12 microns) contains either tracks or totally amorphous material (depending upon refentation dose). The deeper layer is only slightly damaged and remains monocrystalline; this layer is separated from hardly amaged one by transition layers. Depth of 20+30 microns corresponds to the second damaged layer formed due to nuclear eegy losses.

Berre, W. Wesch, E. Wendler, P.I. Gaiduk, F.F. Komarov, S. Klaumunzer and P. Meier // Phys. Rev. B58 (1998) 4382.