Uzbek Journal of Physics

Vol.21(№5) 2019 PP.299-302

ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФЕКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ InP(001) МЕТОДОМ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ

Н.Ю. Тураев[1], М.К. Каримов[2], М.К. Курбанов[2], М.У. Отабоев[2], У.О. Кутлиев[2]

[1]Учебный центр «ФАНУМ» АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[2]Ургенчский государственный университет, Ургенч, Узбекистан, karimov_m_k@mail.ru
(Получена 27.05.2019)

Мақолада InP(001) сиртидаги кичик индексли йўналишларга кичик бурчак остидан тушган Ar^+ ионларининг сочилишидаги энергетик тақсимоти келтирилган. Олинган энергетик тақсимотда ярим канал, атом қатори ва нуқсонларга мос келувчи чўқилар кузатилган. Олинган натижалар яримўтказгичлар сиртини ўрганишда муҳим аҳамиятга эга.

Представлены энергетические распределения рассеянных ионов Ar^+ в низкоиндексном направлении монокристалла InP(001) при малоугловом падении на эту поверхность. В энергетическом распределении наблюдаются пики, относящиеся к полуканалам, атомным цепочкам и дефектам. Наши результаты интересны при изучении поверхностных структур полупроводников.

In this work the energy distributions of Ar^+ ions scattering by the surface InP(001) in low indexing directions at the grazing incidence of bombarding ions are presents. In energy distributions the peaks which corresponding to the ions scattered from semichannel, surface atomic chains and defects are observed. Our results are interesting at the study of structure semiconductor surfaces.

Введение. Исследование взаимодействия ионов с поверхностью является одним из основных направлений в физической электронике. В результате облучения поверхности ионами происходит множество процессов: распыление, рассеяние, эмиссия электронов и квантов, имплантация. В этом ряду изучение рассеяния весьма важно для выяснения закономерностей взаимодействия в системе ион-поверхность твердого тела, а также для развития методов элементного и структурного анализа. Следует отметить, что к числу наименее изученных относятся также процессы взаимодействия ускоренных ионов с поверхностью твердых тел и их рассеяние. Исследование закономерностей этих процессов основано на анализе формы энергетических распределений рассеянных частиц, которые достаточно сложны даже для идеальных кристаллов, так как определяются большим числом коррелированных столкновений. Задача становится еще более сложной из-за наличия в реальных мишенях различных дефектов на поверхности многокомпонентных кристаллов, а также из-за изменения бомбардируемой мишени со временем. Очевидно, что решение этой задачи, требующей громоздких расчетов, невозможно в аналитическом виде, и поэтому единственным эффективным способом расчета является метод компьютерного моделирования.

Последние годы использование ионных пучков для диагностики поверхностей монокристаллов типа A^3B^5 интенсивно развивается. Особый интерес представляет фосфид индия (InP), поскольку энергетические параметры его монокристаллической фазы близки к параметрам монокристаллического кремния, и на его

основе легко изготавливать приборы интегральной оптоэлектроники, совместимые с кремнием, в частности, резистивные оптопары [1].

Как известно, при рассеянии ионов поверхностью под небольшими углами высока вероятность появления отраженного потока частиц, испытавших многократные соударения с атомами мишени. С помощью компьютерного моделирования [1] показано, что учет многократного рассеяния при малых углах скольжения влияет на значения неупругих потерь энергии, определяемых из положения пика квазиоднократного рассеяния.

Для изучения дефектных структур с помощью копьютерного моделирования нами смоделирован процесс малоуглового рассеяния ионов Ar^+ с начальной энергией 3 и 5 кэВ дефектной поверхностью монокристалла InP (001) <110> и <$\bar{1}$10>.

Метод исследования и результаты. При малых значениях энергий ионно-атомные столкновения на поверхности твердого тела можно рассматривать как последовательности изолированных парных столкновений. Траектории сталкивающихся частиц определяются в первом приближении силами упругого взаимодействия атомов. Это кулоновские силы взаимодействия ядер и электронов атомов, которые действуют на атомных расстояниях между взаимодействующими частицами. Для расчета траектории налетающего иона необходимо рассмотреть его взаимодействие с совокупностью атомов кристаллической решетки одновременно. Однако при не очень низких энергиях столкновения иона с атомом кристалла можно ограничиться рассмотрением изолированных парных столкновений частиц.

При математическом моделировании процесса рассеяния ионов средних и малых энергий в широком интервале углов падения и рассеяния нами использованы закономерности столкновения двух тяжелых частиц. Итак, будем рассматривать рассеяние пучка ионов от поверхности монокристаллического образца на основе модели парных одно, двух и т.д. многократных соударений [2-3].

На приближении парных столкновений основаны две базовые программы, при помощи которых моделируют широкий круг процессов, вызываемых бомбардировкой твердых тел ускоренными частицами – программа MARLOWE и программа TRIM. В основе обеих программ лежит практически один и тот же формализм. Различие между этими программами состоит в том, что первая исходно оперирует с кристаллическими мишенями, тогда как вторая с аморфными. Для оценки неупругой потери энергии в элементарном акте столкновения мы использовали модифицированный потенциал Кишиневского [4]:

$$\varepsilon(E_0,P)=\frac{0.310^{-7}\nu Z_1(Z_1^{1/2}+Z_2^{1/2})(Z_1^{1/6}+Z_2^{1/6})}{(1+\frac{0.67\sqrt{Z_1}r_0}{a_{tf}(Z_1^{1/6}+Z_2^{1/6})})}+(1-0.68\frac{V(r_c)}{E_r}),$$

где a_{tf} = 0.468 Å, ν (см/с) и E_r (эВ) – относительная скорость и энергия атома, Z_1 и Z_2 – заряд сталкивающихся иона и атома, r измеряется в ангрестремах.

Полупроводниковые соединения типа InP(001) имеют кристаллическую структуру с тетраэдрическими связями (структура цинковой обманки ZnS). На поверхности этих полупроводников образуются полуканалы, которые отличаются геометрическими параметрами и сортами атомов. Атомы индия и фосфора

расположены послойно, т.е. на поверхности могут находиться атомы только индия или только фосфора.

Такое расположение атомов даёт возможность рассматривать поверхность, в одном случае покрытую атомами индия, а в другом – атомами фосфора. Здесь мы представляем энергетические распределения для случая, когда поверхность покрыта атомами фосфора.

На рис. 1 изображен энергетический спектр рассеянных ионов Ar^+ на дефектной InP(001) <110> поверхности при бомбардировке с энергией E_0= 3 и 5 кэВ. Отметим, что при E_0=3 кэВ наблюдался только один пик, соответствующий рассеянным ионам с атомной цепочки. При E_0=5 кэВ в спектре видны отчетливые пики рассеянных ионов на поверхностных атомных цепочках (в высокоэнергетической части спектра) и полуканалах (в низкоэнергетической части спектра), а также на дефектах. Отметим, что эти пики обусловлены многократными столкновениями в твердом теле, когда в первом соударении ион передает часть своей кинетической энергии атому мишени.

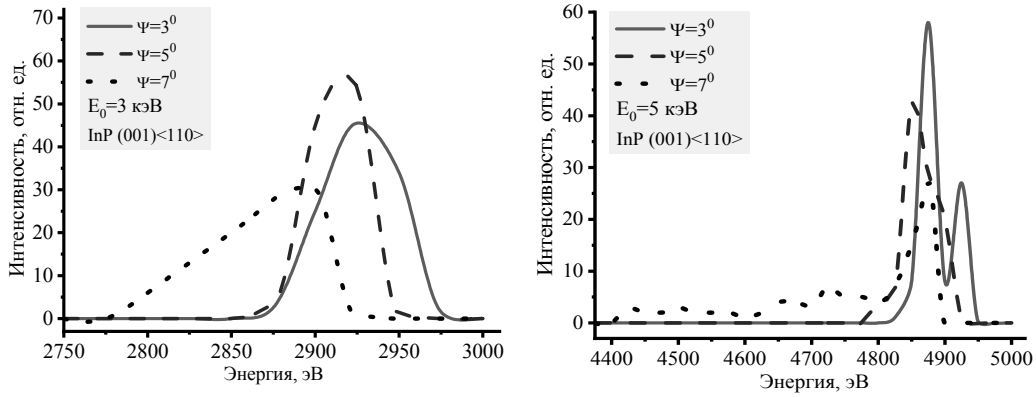


Рис. 1. Энергетический спектр рассеянных ионов Ar^+ с энергией E_0= 3 кэВ (слева) и 5 кэВ (справа) поверхностью InP(001)<110> при ψ=3°, 5°, 7°.

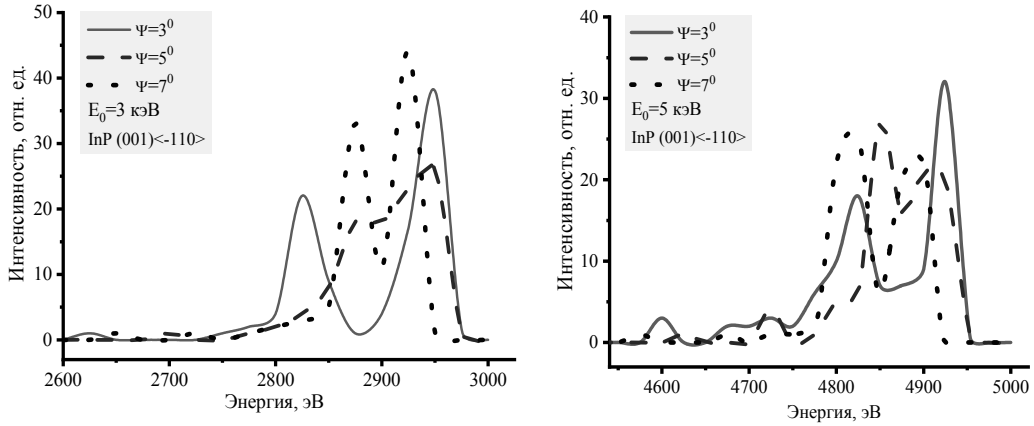


Рис. 2. Энергетический спектр рассеянных ионов Ar^+ с энергией E_0= 3 кэВ (слева) и 5 кэВ (справа) поверхностью InP(001) <$\bar{1}$10> при ψ=3°, 5°, 7°.

На рис. 2 представлен энергетический спектр рассеянных ионов Ar^+ на дефектной InP (001)<$\bar{1}$10> поверхности при бомбардировке с энергией E_0= 3 и 5 кэВ. Видно, что при малых углах бомбардировки образуются пики, обусловленные атомной цепочкой, полуканалом и дефектом. Пики, обусловленные рассеянием на полуканале, объясняются большим размером полуканала, образованного в направлении <$\bar{1}$10>, и отсутствием в этом полуканале стенки в дефектной части поверхности. Сравнение этих энергетических спектров показывает, что геометрические параметры полуканала влияют на интенсивность и энергию рассеянных частиц.

Из рисунков видно, что в случае <110> интенсивность пиков, обусловленных рассеянием ионов на полуканалах, больше, чем интенсивность ионов, рассеянных на поверхностных атомных цепочках. А в случае <$\bar{1}$10> интенсивность пика ионов, рассеянных на поверхностных атомных цепочках, больше, чем интенсивность ионов, рассеянных на полуканале. Следует отметить, что пик ионов, рассеянных на поверхностных дефектах, более заметен в направлении <$\bar{1}$10>, так как в этом направлении из-за большой ширины наблюдаются большие потери энергии на дефектной части поверхности.

Заключение. Рассчитаны энергетические распределения малоуглового рассеяния ионов Ar^+ на дефектной поверхности монокристалла InP(001) в направлениях <110> и <$\bar{1}$10>. Показано, что в энергетическом распределении рассеянных на дефектных поверхностях ионов можно четко выделить вклад рассеянных на приповерхностной дефектной части ионов, которые образуют несколько дискретных пиков в низкоэнергетической части спектра. Установлено, что при малоугловом рассеянии ионов на дефектах наблюдаются потери энергии, обусловленные в основном неупругими столкновениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.A. Dzhurakhalov, F.F. Umarov, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B **136-138**, 1092 (1998).
2. У.О. Кутлиев, М.К. Каримов, М.У. Отабоев, Физика и химия обработки материалов № 1, 5 (2019).
3. U. Kutliev, M. Karimov, B. Sadullaeva, M. Otaboev, An International Journal of Advanced Computer & Engineering Technology (India) **VII**, Issue IV, 2749 (2018).
4. E.S. Parilis, L.M. Kishinevsky, N.Yu. Turaev, B.E. Baklitzky, F.F. Umarov, V.Kh. Verleger, S.L. Nizhnaya, and I.S. Bitensky. Atomic Collisions on Solid Surfaces (NorthHolland, Amsterdam, 1993).