

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ ИОНОВ Na⁺ ПРОШЕДШИХ ЧЕРЕЗ ТОНКИЕ СВОБОДНЫЕ НАНОПЛЕНКИ Cu

З.А.Исаханов¹, Б.Е.Умирзаков², Р.М.Ёркулов¹, Р.Курбанов

¹ИИПНЛТ 100125, Ташкент, Узбекистан, E-mail: za.isakhanov@gmail.com

²ГТУ, Университетская 2. 100095, Ташкент

Взаимодействия ионов с энергиями 10÷100 кэВ и выше с твердым телом и в частности, явления рассеяния и прохождения их через тонкие слои кристаллов широко используется в исследованиях по физике твердого тела. Такой характер взаимодействия, в свою очередь, позволяет получить сведения о структуре кристалла, о характере движения в нем атомных частиц, дефектообразовании и локализации примесных атомов в кристаллической решетке. Такие данные весьма важны при разработке технологии ионной имплантации кристаллов, создании тонких уплотненных и коррозионноустойчивых слоев твердого тела, а также для улучшения механических и химических свойств поверхности конструкционных материалов.

Энергетические зависимости прошедших ионов исследованы с помощью вращающегося вокруг мишени анализатора Юза–Рожанского. Угловая апертура детектирования составляла ~0.5°. На рис.1 представлены полярные диаграммы угловых распределений ионов Na⁺ с E₀=20, 25, 30, 35 кэВ, прошедших через тонкую поликристаллическую пленку Cu с толщиной ~300 Å. Показано, что с увеличением энергии пучка ионов Na⁺, отклонение полярной диаграммы углового распределения прошедших ионов от косинусоидального закона становится все более значительным, распределения сужаются и вытягиваются вдоль направлений первичных ионов. При энергии E₀=30 кэВ максимум углового распределения, совпадающий с продолжением направления пучка первичных ионов на мишень, становится четко выраженным. В этом случае доля ионов, прошедших пленку в направлении нормали к поверхности мишени, больше, т.к. в этом направлении реализуется самый короткий путь (X₀) при прохождении через пленку.

Отклонение направления пучка ионов от нормали приводит к увеличению пути движения ионов по закону обратного косинуса $x=x_0/\cos\phi$ и, соответственно, – к резкому уменьшению количества прошедших ионов. Сравнение длины пробега ионов с определенной энергией указывает на то, что направление пучка первичных

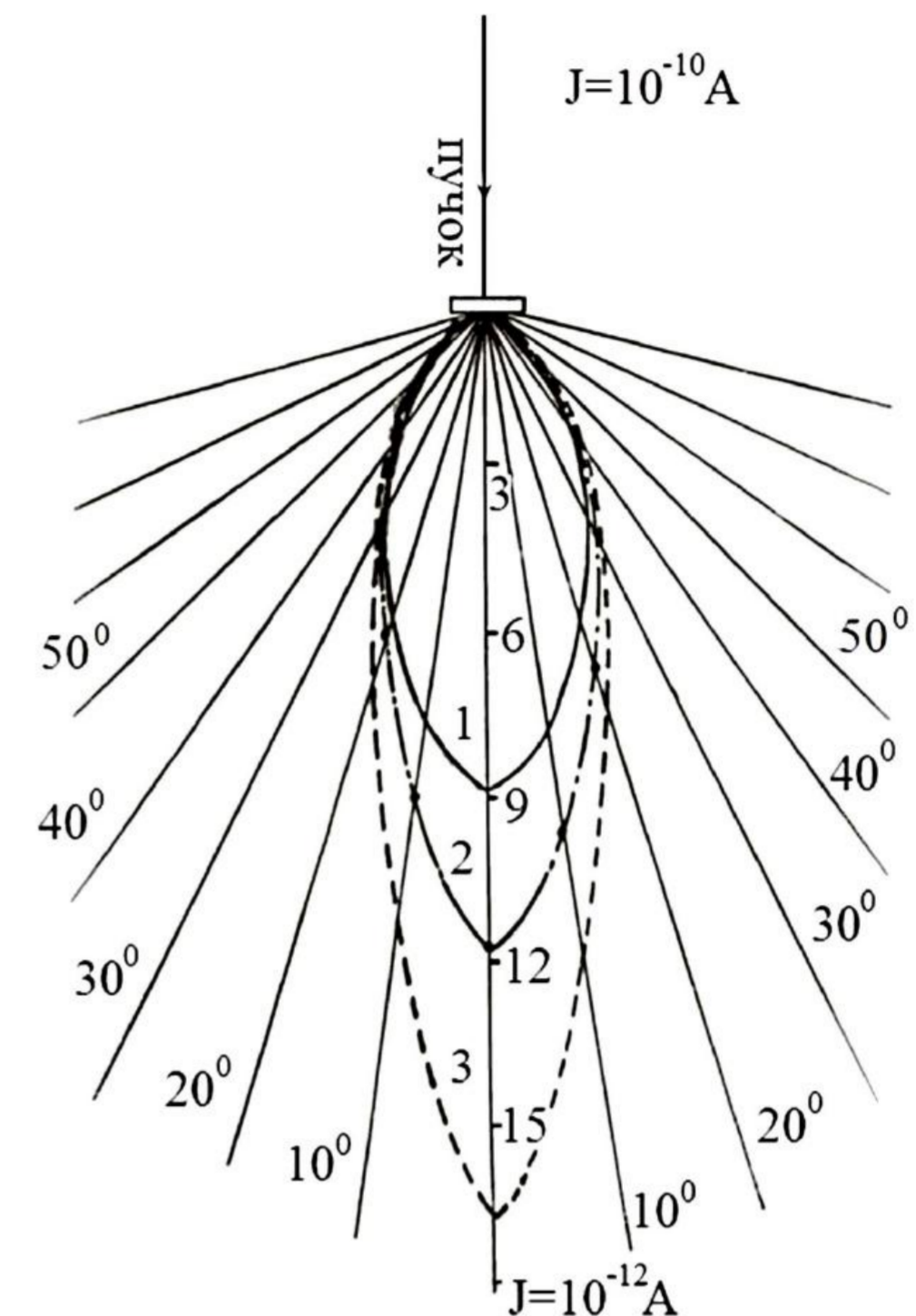


Рис.1. Полярные диаграммы угловых распределений ионов Na⁺, прошедших через пленку Cu толщиной ~300 Å для разных E₀: 1– E₀=25; 2– E₀=30; 3– E₀=35 кэВ.

ионов, т.е. его импульс способствует их прохождению вдоль поликристаллическую пленку. Все это обуславливает форму углового распределения ионов, прошедших через поликристаллическую пленку. В случае прострела монокристаллической пленки, ее структура и ориентация

по отношению к пучку первичных ионов имеет большое значение в формировании формы углового распределения. Результаты исследования показывают, что в формировании вида (формы) углового распределения важную роль играет изменение доли ионов, испытавшие многократные столкновения.

С увеличением начальной энергии ионов максимум энергетического распределения смещается в сторону больших энергий пропорционально E₀. В случае прострела медной пленки такой же толщины ионами K⁺ в энергетическом спектре прошедших ионов низкоэнергетический “хвост” проявляется более ярко.

На основе полученных данных были построены зависимости потерь энергии ионами ΔE от начальной энергии пучка E₀ (рис.2). Видно, что значение ΔE с ростом E₀ от 10 до 40 кэВ для ионов Na⁺ линейно растет, так и для ионов K⁺ линейно растет, что свидетельствует об участии процессов упругих и неупругих торможений ионов в общей потере энергии.

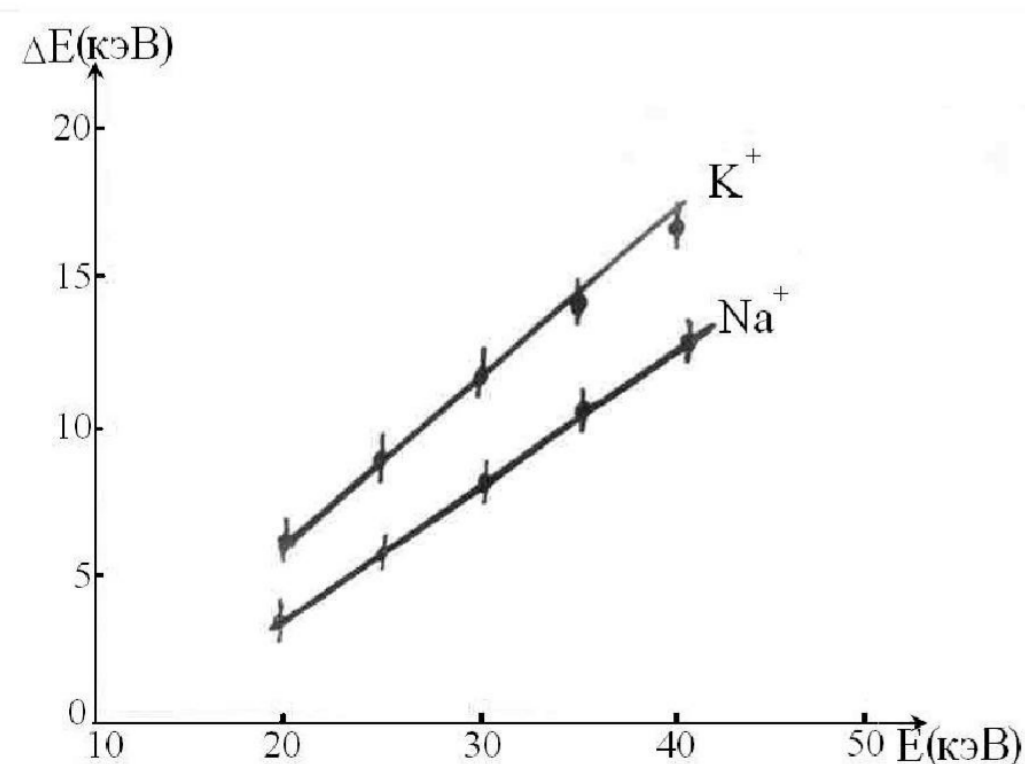


Рис.2. Зависимость потери энергии ионами Na⁺ и K⁺ при их прохождении через пленку Cu от начальной энергии E₀. X=300 Å.

Определения потери энергии ионами, с помощью энергетического спектра прошедших через кристалл ионов, дают сведения об общей потере энергии, затрачиваемой ионами на упругое и неупругое столкновения с атомами кристалла. В исследуемой области энергии пучка ионов потеря энергии, обусловленная упругим столкновением иона с атомами кристалла, уменьшается экспоненциально, а неупругая потеря резко возрастает и вследствие этого общая потеря тоже растет с увеличением энергий.

Экспериментально полученные результаты по исследованию энергетических распределений в зависимости от энергии, сорта бомбардирующих ионов и толщины пленки дают возможность сделать следующий вывод:–при низких E₀ значение ΔE/E больше чем при высоких E₀, то есть, при низких E₀ относительные потери больше чем, в случае высоких E₀. Это обусловлено тем, что при низких E₀, длина волны иона λ больше. При 20 кэВ, λ~5–6 Å, а при 40 кэВ λ~2–3 Å.

Для более точного выявления характера изменения потери энергии ионами, в зависимости от угла падения пучка ионов (рис.3) представлено

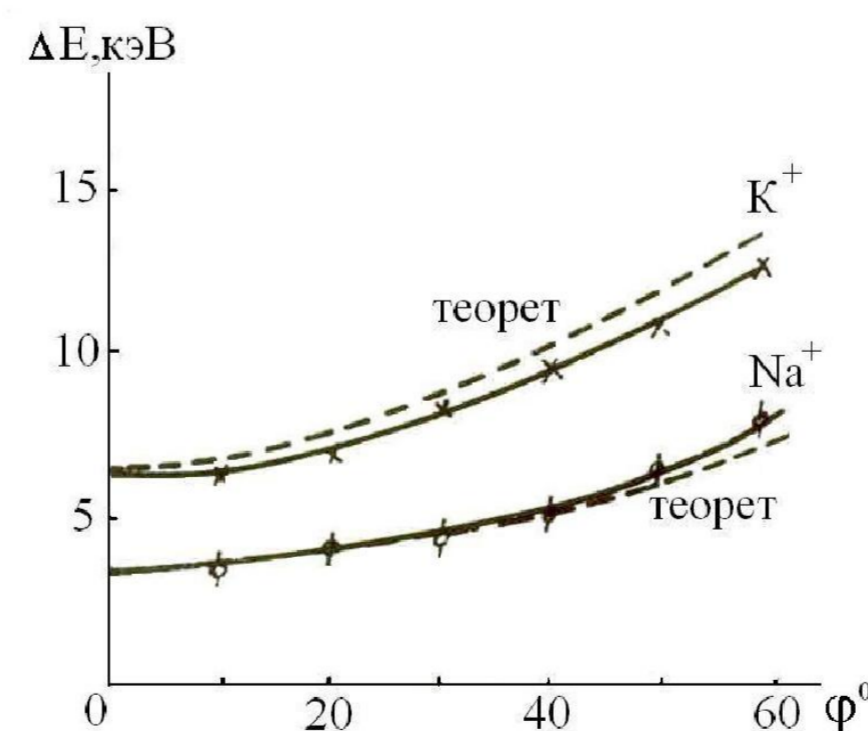


Рис.3. Зависимости потери энергии ионами Na⁺, K⁺ с E₀=20 кэВ при прохождении через тонкую пленку Cu, X=300Å от угла φ.

изменение отношения потери к функции косинуса угла ΔE₀/cosφ, где ΔE₀– потеря энергии ионов при нормальном падении пучка на поверхность простреливаемой пленки. Она зависит от энергии и природы первичного ионного пучка, а также от толщины и природы пленки.

Видно, что характер потери энергии от угла ΔE(φ) в области больших φ отличается от изменения функции обратного косинуса, т.е. здесь потери энергии меньше, чем следует из формулы ΔE₀/cosφ. Такое расхождение, очевидно, обусловлено размером сечения пучка ионов и толщиной простреливаемой пленки. Рассмотрение влияния угла падения пучка ионов на характер энергетического распределения показывает, что увеличение угла φ является идентичным увеличению толщины простреливаемой пленки.

Подобное исследование при достаточно малых сечениях пучка ионов, по сравнению с толщиной пленки, позволяет определить зависимость потери энергии от толщины пленки непосредственно в одном опыте, не прибегая к вскрытию камеры с образцом для установления пленок другой толщины. Это дает возможность быстро определить тормозную способность различных толщин вещества. Рассмотрение энергетических закономерностей прохождения тяжелых ионов через тонкие слои (пленки) твердого тела показывает, что в формировании форм как угловых, так и энергетических распределений прошедших ионов, важную роль играет характер взаимодействия налетающих ионов с атомами мишени. Увеличение числа ионов, испытавших кратные соударения с атомами мишени, связанное с изменением E₀ и φ, приводит к резкому изменению формы энергетического распределения прошедших ионов. Характер взаимодействия тяжелых ионов с атомами твердого тела также в решающей степени определяет форму и вид данного распределения по сравнению с легкими ионами. Установлено, что форма энергетического распределения, в частности, появление у него асимметрии, обусловлено как упругим, так и неупругим характером взаимодействия ионов с атомами мишени.