



Физический факультет

На правах рукописи

БАБАЕВ Владимир Георгиевич

ВЛИЯНИЕ ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ
ПЛЕНОК НА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ
ПОДЛОЖКАХ

Специальность 01.04.04

Физическая электроника, в том числе квантовая.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА · 1977

26

Работа выполнена на кафедре электроники физического факультета МГУ.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук
профессор Г.В.Спивак.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
профессор А.А.Предводителев
(МГУ им. М.В.Ломоносова)
кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник В.В.Титов
(институт Атомной Энергии им. И.В.Курчатова).

Оппонирующая организация: указана в решении ученого совета.

Автореферат разослан " _____ 1977 г.

Защита диссертации состоится " _____ 1977 г.
на заседании специализированного ученого совета №2 отделения
радиофизики физического факультета МГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке физического факультета МГУ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

специализированного ученого совета №2
отделения радиофизики физического
факультета МГУ, доцент

(Е.М.Дубинина)



Прогресс пленочной микроэлектроники идет по пути интеграции при создании сложных электрических микросхем.

Ведутся поиски методов управления свойствами тонких пленок с хорошо воспроизводимыми свойствами, такими как хорошая адгезия, бездефектность структуры, стабильность во времени электрических характеристик, локальность нанесения пленок.

В настоящее время внимание исследователей привлекает идея управления пленкообразованием радиационным воздействием на конденсируемую фазу. В отличие от известных способов воздействия на формирование пленок с целью управления их структурой и свойствами путем изменения теплового режима, а также вариацией параметров молекулярного потока, радиационный метод обладает рядом несомненных преимуществ. Он, в частности, позволяет существенно понизить температуры процессов хемосорбции, диффузии, давая громадные ускорения таким процессам. Другим важным преимуществом радиационного метода является возможность его локального применения, что позволяет изменять свойства пленок в небольших областях подложки.

Настоящая работа посвящена изучению воздействия ионов инертных газов с энергиями 0 - 3000 эВ при плотностях потока 0 - 10 мкА/см² на процессы конденсации, диффузии и кинетику образования конденсируемых в вакууме пленок различных веществ в связи с задачей формирования пленочных структур на основе антимонидных соединений при ионном облучении, в условиях близких к промышленным ($P = 10^{-6}$ мм.рт.ст.)

Научная новизна работы состоит:

1. В объяснении механизма явления ионной стимуляции конденсации на поверхности полупроводника.
2. В обосновании оптического интерференционного метода для изучения кинетики заполнения поверхности конденсатом, проведении количественных расчетов кинетики конденсации на основе модифицированного уравнения Колмогорова.

1-1277

3. В изучении на основе оптического интерференционного метода влияния ионного облучения на кинетику конденсации и структуру пленки конденсата.

4. В изучении радиационностимулированной реактивной диффузии под воздействием ионного облучения.

5. В изучении влияния ионного облучения на процесс реактивной диффузии посредством влияния на структуру исходного вещества.

Практическая полезность работы заключается:

1. В разработке физической основы методики локальной конденсации вещества и локальной диффузии компонентов под воздействием ионного облучения.

2. В возможности управления структурой конденсата под воздействием ионного облучения и тем самым управления оптическими и электрическими характеристиками конденсированной пленки.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано две статьи, семь докладов на Всесоюзных конференциях.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 138 машинописных страницах текста, иллюстрируется рисунками и фотографиями на 61 странице, состоит из 4-х глав, списка использованной литературы из 101 наименования.

В первой главе. Рассмотрено влияние ионного облучения на процесс конденсации. В терминах термодинамики процесс конденсации определяется теплотой и энтропией конденсации, которые в свою очередь определяются энергией связи адатомов на поверхности подложки, а также плотностью центров конденсации. Для количественной оценки влияния каждого типа центров конденсации необходима статистическая модель, последовательное проведение которой дает экспериментально наблюдаемые величины критического потока конденсации, скорости зародышеобразования и т.д.

В начале главы приводится обзор литературы, в котором представлены наиболее распространенные подходы к этому вопросу. Таких подходов в широком смысле два: а) термодинамический, в котором процесс конденсации рассматривается как макроскопический квазиравновесный процесс, б) статистический, в котором рассматриваются многочисленные вероятностные флуктуации и соответствующие им члены статистической суммы. Наличие критического зародыша как фактора, затрудняющего начало конденсации устойчивого осадка, — одно из основных положений теории конденсации и роста пленок.

Экспериментальная часть. Экспериментально изучалась конденсация цинка на подложку из закиси меди в условиях ионного облучения (ионы аргона, неона) с фиксированными параметрами плотности ионного тока и энергии ионов E . Подложка состоит из медной пленки покрытой тонким слоем Cu_2O . В процессе конденсации подложка подвергалась бомбардировке ионами аргона или неона ($0 < E < 700$ эВ, $0 < j < 10$ мкА/см²). Экспериментально определялась зависимость критического давления конденсации $P_{кр}$ от параметров ионного облучения E и j (рис.1).

Как видно из рис.1, имеет место эффект ионной стимуляции, приводящий к понижению критического давления в присутствии ионного облучения.

Исследование изменения адсорбционных свойств подложки, облучаемой ионным потоком, проводилось путем определения критического давления $P_{кр}$ как функции от температуры подложки T . Экспериментальная зависимость в координатах $\ln P_{кр}$ от T^{-1} представлена на рис. 2.

Линии 1 соответствует режим стимулированной ионами конденсации ($j = 10$ мкА/см², $E = 2$ кэВ), линии 2 — режим обычной конденсации. Обе линии терпят излом при $T = 450^\circ K$ и параллельны на прямолинейных участках. Поскольку угол наклона графика к оси обратной температуры характеризует энергию связи адатома на поверхности, то можно заклю-

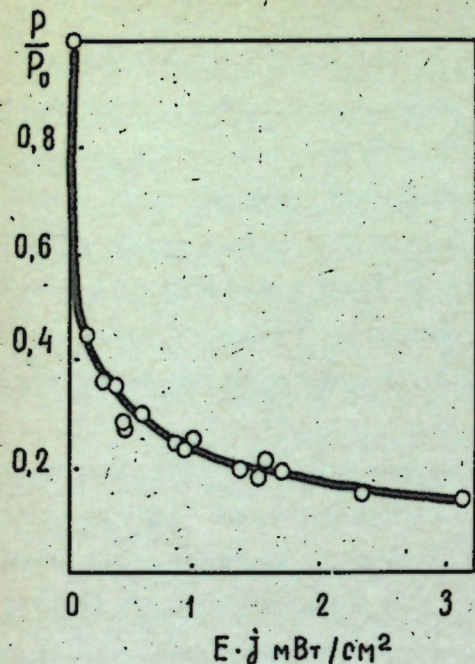


Рис.1
Зависимость $P_{кр} = f(E, j)$
при конденсации на Cu_2O
пленки цинка.

читать, что поток ионов с такими параметрами не изменяет энергию связи. Параллельный сдвиг графика ионностимулированной конденсации в область меньших давлений свидетельствует об увеличении числа центров конденсации.

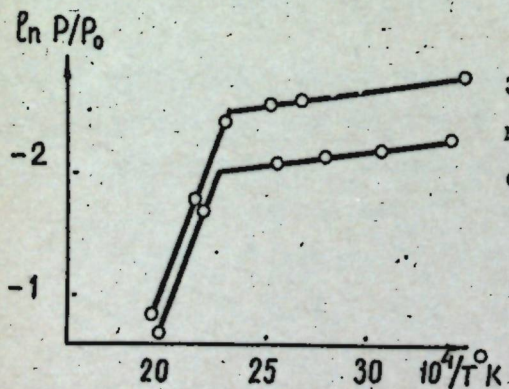


Рис.2
Экспериментальная зависимость $P_{кр}(1/T)$ для конденсации цинка на закиси меди.

Экспериментально показано, что присутствие в экспериментальной камере паров диффузионного масла приводит к образованию на подложке пленки полимера под действием ионного облучения, что ведет к увеличению критического давления конденсации.

При объяснении экспериментально полученных результатов автор исходит из представления о том, что формирование пленки конденсата происходит на центрах конденсации, которыми являются точечные дефекты в поверхностном слое подложки. Ионное облучение в процессе конденсации увеличивает концентрацию прежде всего точечных дефектов на поверхности в результате радиационного воздействия, что приводит к понижению $P_{кр}$.

Теоретический анализ дает следующее значение критического потока $P_{кр}$ от параметров ионного облучения:

$$P_{кр} = P_{кр0} / \sqrt[n+1]{1 + \sqrt{\beta I E}} \quad (I)$$

где $P_{кр0}$ - критическое давление конденсации в отсутствии ионного облучения; E - энергия, а I - плотность ионного потока, облучающего подложку; β - параметр, зависящий от скорости рекомбинации вакансий и междоузельных атомов, исходной концентрации точечных дефектов и энергии смещения атомов подложки; n - размер критического зародыша конденсации.

Проводится сравнение теории с экспериментом для конденсации цинка на поверхности закиси меди, облучаемой ионами аргона ($E \cdot j = 0 - 8$ мВт/см²) и ионами неона ($E \cdot I = 0 - 3$ мВт/см²). Показано, что для $n = 0$ экспериментальные точки хорошо ложатся на теоретическую кривую, при этом зависящим только от $E \cdot I$, как и следует из (I).

Электронномикроскопическое исследование показало, что пленка, полученная при конденсации с одновременным облучением ионами инерт-

ного газа, всегда имеет более мелкозернистую структуру по сравнению с пленкой, осаждаемой чисто термически. Размеры зерен уменьшаются, а плотность их возрастает с увеличением плотности тока и энергии ионов, что очевидно связано с увеличением числа центров конденсации под воздействием ионного облучения.

Микроскопическое изучение границы пленки цинка, сформированной на закиси меди путем маскирования ионного потока показывает, что локализация пленки цинка оказывается более совершенной в случае стимулированной конденсации, чем в случае локализации маскированием конденсируемого потока.

Эффект ионной стимуляции наблюдался при одновременном облучении в условиях вакуума $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-8}$ мм.рт.ст. Однако он отсутствовал при предварительном облучении с интервалом времени порядка минуты. Такая обратимость воздействия ионного облучения объясняется в рамках принятой модели быстрым отжигом радиационных дефектов в поверхностном слое подложки.

В работе экспериментально исследуется генерация и отжиг радиационных дефектов в закиси меди при облучении ионами аргона ($E = 600$ эВ, $j = 3$ мкА/см²) путем измерения температурной зависимости удельного сопротивления пленки закиси меди, облученной ионами аргона. Показано, что в облученном материале, в отличие от необлученного, появляется примесная проводимость с энергией активации 0,07 эВ. Полчасовой отжиг при $T = 200^\circ\text{C}$ приводит к исчезновению эффекта ионного облучения, что очевидно, связано с отжигом радиационных дефектов, ответственных за данный тип проводимости.

В облученном материале обнаружено два типа наведенной проводимости одна из которых менее устойчива и отжигается при $T < 200^\circ\text{C}$. через несколько минут после выключения облучения, другая же имеет тенденцию к накоплению в процессе облучения.

Рассмотрение кинетики отжига с учетом рекомбинации и генерации точечных дефектов позволило получить выражение для изменения проводимости как функции от времени облучения и отжига. Сравнение полученных выражений с экспериментом показывает, что ионное облучение увеличивает концентрацию точечных дефектов в хорошем соответствии с принятой моделью.

Таким образом, экспериментально показано, что ионное облучение увеличивает концентрацию центров конденсации в соответствии с законом изменения концентрации точечных дефектов в поверхностном слое подложки. Это дает основание связывать центры конденсации с точечными дефектами подложки. Поскольку, например, вакансии в катионной решетке Cu_2O соответствует дырка или примеси акцепторного типа, то в соответствии с теорией физико-химической адсорбции такой центр может служить центром сильной связи при адсорбции атомов конденсирующегося пара. Увеличение плотности таких центров приводит к понижению критического давления конденсации (эффект ионной стимуляции). Отжиг точечных дефектов в рамках принятой модели объясняется отсутствием "памяти" явления ионной стимуляции.

Во второй главе. Рассмотрено влияние ионного облучения и параметров конденсации на кинетику заполнения поверхности конденсатом. В начале главы дается краткий обзор литературы по процессам роста пленки конденсата. Основная часть этих работ является развитием классической работы А.Н. Колмогорова, в которой рассматривалась статистическая задача заполнения объема исходной фазы случайно возникающими с известной частотой и растущими с постоянной линейной скоростью центрами кристаллизации. Математическая обработка результатов эксперимента по заполнению объема или поверхности конденсирующейся фазы дает информацию о таких параметрах, как скорость зародышеобразования, кинетика

роста отдельного островка, кинетика слияния островков.

В случае конденсации островковой пленки на поверхности подложки в литературе применяется модифицированное уравнение Колмогорова

$$X(t) = J \int_0^t s(t-\xi)(1-X(\xi)) d\xi \quad (2)$$

где $X(t)$ - коэффициент заполнения поверхности (КЗП) конденсатом;

$S(t)$ - закон изменения площади островка во времени; J - частота зарождения островков на 1 см^2 свободной поверхности.

До последнего времени наиболее распространенным методом исследования кинетики заполнения поверхности конденсатом являлся метод электронной микроскопии *in situ*. При больших достоинствах этого метода (большое разрешение, одновременность) у него имеются серьезные недостатки: электронные пучки существенно влияют на конденсацию. Поэтому большой методологический интерес представляют работы по исследованию возможности применения оптических методов для изучения кинетики роста островковых пленок.

Существующие способы интерпретации оптических свойств тонких пленок в большинстве основываются на представлении о тонкой пленке как непрерывной структуре с некоторыми эффективными оптическими параметрами и, таким образом, неприменимы для оценки степени заполнения поверхности конденсатом. В ряде других работ по этому вопросу характеристика пленки оказывается функцией от формы и размера островка. Результаты расчета сложны для интерпретации и несправедливы при слиянии островков конденсата.

В данной работе рассмотрена задача нахождения оптических свойств островковой металлической пленки на проводящей подложке без каких-либо ограничений на форму островков.

Рассматривается волна, отраженная от подложки. Считается, что

средний размер островков много меньше длины волны света и что расположены они хаотично. Амплитуда отраженной волны находится из выражения

$$R = \sqrt{J_2} x e^{i\varphi_2} + \sqrt{J_1} (1-x) e^{i\varphi_1} \quad (3)$$

где X - относительная площадь, занятая пленкой или КЗП; $\varphi_{1,2}$ - фазы отражения от поверхности, занятой пленкой и от свободной поверхности соответственно; $\sqrt{J_{2,1}}$ - амплитуды отражения от пленки и подложки соответственно.

Интенсивность отраженной волны

$$J = |R|^2 = ax^2 - bx + c, \quad \text{где}$$

$$a = J_1 + J_2 - 2\sqrt{J_1 J_2} \cos \Delta\varphi,$$

$$b = 2(J_1 + \sqrt{J_1 J_2} \cos \Delta\varphi),$$

$$c = J_1, \quad \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

Для обработки экспериментальных результатов выражение (3) представляется в виде векторной диаграммы (рис.3). Конец вектора R лежит на прямой $O-I$, соединяющей концы векторов $\sqrt{J_1} e^{i\varphi_1}$ и $\sqrt{J_2} e^{i\varphi_2}$, и делит эту прямую в отношении $X/(1-X)$. Видно, с увеличением КЗП, конец вектора R перемещается от точки O к точке I .

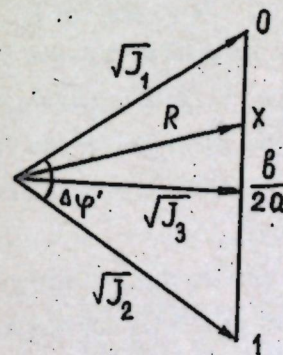


Рис. 3. Векторная диаграмма амплитуд отражения.

Высота островка определяется из соотношения

$$\Delta\varphi' = \Delta\varphi + \frac{4\pi h}{\lambda}$$

где угол $\Delta\varphi'$ определяется из диаграммы рис.4.

Экспериментальная часть. Сущность экспериментальной методики заключалась в следующем. Оптически гладкая поверхность подложки облучается параллельным пучком света. Интенсивность отраженного света J измеряется фотоэлементом и фиксируется электронным потенциометром. В процессе напыления пленки измеряется интенсивность отраженного света. По мере напыления пленки интенсивность отраженного света вначале падает, и проходя через некоторое минимальное значение при определенной сплошности пленки, вновь достигает максимума при 100% заполнении поверхности конденсатом, что и следует из рассмотрения диаграммы рис.3.

Изучалась конденсация цинка на зеркальную медную подложку покрытую тонким закисным слоем в вакууме $1 \cdot 10^{-6}$ мм.рт.ст. Для определения степени заполнения поверхности на разных этапах напыления пленки цинка параллельно использовались два метода: 1) электронной растровой микроскопии, 2) оптический интерференционный метод (ОИМ). Проводилось сравнение двух методов. Показано, что оба метода дают хорошее совпадение как по коэффициенту заполнения поверхности, так и по размеру островков. Показано, что описанный метод в определенных случаях применим и к островковым металлическим пленкам на прозрачных подложках, причем для построения диаграмм рис.3 необходимо иметь данные по интенсивности отраженного света со стороны подстилающей подложки. Данные со стороны вакуума получаются автоматически.

На основе ОИМ исследовалась кинетика заполнения поверхности конденсатом. Для построения зависимости КЗП от времени конденсации использовались кривые изменения интенсивности отраженного света в процессе конденсации. Для анализа экспериментальных результатов используется модифицированное уравнение Колмогорова (2), в котором принимается, что площадь островка растет по механизму "ячеек", рассмотр-

ренному в литературе. Методом преобразования Лапласа найдено точное решение $X(t)$ и его асимптотики при $t \rightarrow 0$ и $t \rightarrow \infty$. На основе полученных соотношений показано, что при конденсации цинка на закиси меди скорость зародышеобразования пропорциональна потоку конденсирующегося вещества, что в соответствии с теорией Уолтона соответствует нулевому размеру критического зародыша.

Рассмотрено влияние ионного облучения на кинетику конденсации цинка. Показано, что облучение ионами инертного газа с параметрами $E = 300$ эВ, $j = 0-1,2$ мкА/см² увеличивает скорость роста пленки (рис.4).

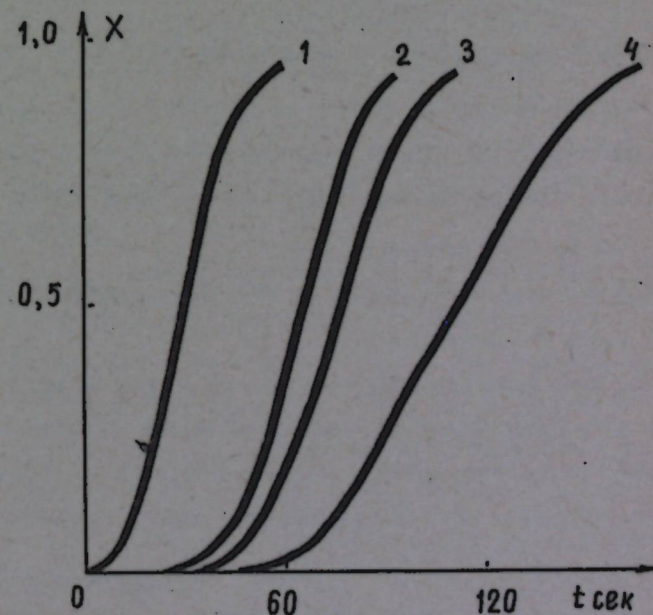


Рис.4 Зависимость КЗП X от времени t конденсации цинка на Cu_2O при одновременном облучении ионами аргона

при :

1 - 1,2; 2 - 0,6; 3 - 0,2; 4 - 0 мкА/см²; $E = 300$ эВ.

Показано, что действие ионного облучения аналогично увеличе-

нию потока конденсирующегося вещества, что, очевидно, связано с увеличением числа центров конденсации в условиях ионного облучения. Исследовалось влияние ионного облучения на кинетику роста пленки на различных стадиях. Показано, что чем раньше производилось включение ионного облучения, тем больше его влияние на характер конденсации в целом. Во-первых, облучение увеличивает скорость конденсации, во-вторых, уменьшает размер островка, в-третьих, чем раньше произведено включение облучения, тем существеннее вышеперечисленные изменения.

Уменьшение размера островка приводит, в частности, к увеличению коэффициента отражения сплошной пленки.

Воздействие ионного облучения на заключительной стадии приводит к радикальным изменениям структуры, которые сильно сказываются на оптических свойствах пленки. Показано, что в этом случае пленка "проскакивает" стадию заполнения поверхности мелкими островками и переходит к росту крупными островками.

Данные о структуре пленки по ОИМ подтверждаются данными электронной растровой микроскопии.

Исследовалась кинетика конденсации сурьмы на медной подложке при различных потоках конденсирующегося вещества, а также при различных давлениях остаточных газов в экспериментальной установке. Скорость коалесценции островков существенно возрастает при улучшении вакуума от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-6}$ мм.рт.ст., что, по-видимому, связано с влиянием адсорбированных на поверхности адатомов остаточных газов. Размер островков в случае более высокого вакуума увеличивается.

В третьей главе. Рассмотрено формирование химического соединения под воздействием ионного облучения.

В начале главы дается обзор литературы по радиационностимулированной диффузии. Указывается три основных эффекта, способных влиять на скорость протекания реактивной диффузии, при облучении твердого те-

ла: 1) стимулированная диффузия, 2) стимуляция зародышеобразования, 3) разрушение скоплений адатомов.

Рассматривается вакансионный механизм диффузии и анализ простых, но достаточно реальных моделей радиационностимулированной диффузии. Показано, что изучение зависимости коэффициента диффузии от температуры может указать на механизм исчезновения дефектов в решетке.

Экспериментальная часть. Кинетика нарастания толщины химического соединения изучается на основе измерения фототока в процессе активировки фотослоя. С учетом поглощения фотоэлектронов в толще фотослоя по Спайсеру и роста фотослоя по механизму реактивной диффузии получен закон роста фототока J во времени t проработки:

$$J = J_0 (1 - e^{-\sqrt{\delta} t}), \quad (4)$$

где δ - коэффициент, характеризующий коэффициент диффузии цезия в проработанном слое.

Производится сравнение полученного выражения с экспериментом, которое дало хорошее совпадение. Показано, что в процессе активировки фотослоя с помощью (4) можно выявить несколько последовательно образующихся фоточувствительных фаз с разными коэффициентами δ . Для всех наблюдаемых фаз лимитирующим фактором реактивной диффузии оказывается скорость диффузии цезия сквозь проработанный слой.

Экспериментальная установка состоит из I-ионного источника, 2-экспериментальной камеры, 3-системы откачки, позволяющей получать вакуум $4 \cdot 10^{-8}$ мм.рт.ст. в экспериментальной камере с помощью паромасляного диффузионного насоса.

Формирование фотоактивного соединения производилось при пониженных температурах с целью получения наибольшего эффекта ионного облучения.

Обработка экспериментальных результатов производилась путем построения экспериментальной зависимости в координатах $\ln J$ от t и сравнения ее с теоретической зависимостью (4), откуда определялся коэффициент γ , характеризующий исследуемый процесс проработки фотокатода.

Изучалось влияние ионного облучения на формирование фоточувствительного соединения. Использовались ионы инертных газов с энергией $E = 3000$ эВ. Показано, что в условиях ионного облучения формирование фотокатода происходит в более равновесных условиях. Введение ионного облучения уменьшает концентрацию избыточного цезия в активированном слое. На рис.5 представлена величина относительного увеличения

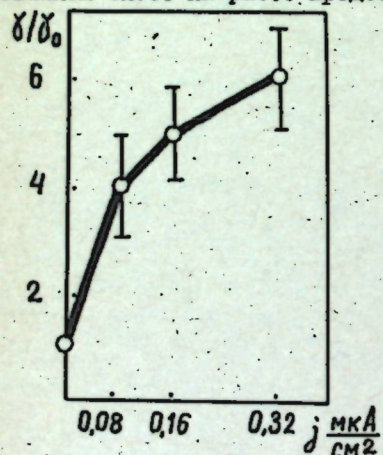
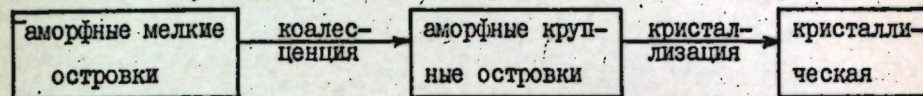


Рис.5 Относительное увеличение γ/γ_0 в зависимости от плотности ионного тока.

коэффициента γ как функция плотности тока ионов j . Полученные данные говорят о том, что ионное облучение увеличивает произведение $\gamma = D \cdot N_1$, где D — коэффициент диффузии цезия в активированном слое, а N_1 — концентрация адатомов на его поверхности. Показано, что на завершающем этапе формирования фотослоя происходит выделение жидкой фазы раствора $Cs-Sb$ в областях максимальной плотности ионного потока. Выделение фазы локализовалось в облучаемой ионами области и положение этой области изменялось в соответствии с отклонением ионного потока.

Показано, что на сплошных пленках сурьмы в результате зарядки эффект ионного облучения противоположен вышеописанному. В результате проработка фотослоя замедляется.

Рассмотрено влияние ионного облучения на структуру слоя сурьмы. Результат воздействия ионов аргона ($E = 3$ кэВ, $j = 0,5-5$ мкА/см², $t = 2-8$ мин) схематически можно представить в виде диаграммы



откуда следует, что ионное облучение приводит к стимуляции процессов коалесценции и кристаллизации пленки сурьмы.

Показано, что увеличение размера островка пленки сурьмы под воздействием ионного облучения при малых потоках цезия приводит к локализации химического соединения в облучаемой области как результат резкого понижения равновесного давления паров цезия над сферической поверхностью островка радиуса r с увеличением r .

Обсуждается механизм влияния ионного облучения на структуру пленки сурьмы как результат зарядки островков.

В четвертой главе. Исследовано влияние ионного облучения в безмасляном вакууме ($P = 10^{-8}$ мм.рт.ст.) на эпитаксиальный рост пленок Aq на KCl . На основе анализа оптических спектров поглощения кристаллов KCl , облученных ионами аргона, установлено, что эпитаксиальное зарождение ориентации $(100) Aq \parallel (100) KCl$ в условиях ионного облучения, в основном объясняется преимущественным зарождением конденсата Aq на F-центрах, генерируемых в поверхностном слое кристалла KCl . Ориентирующее действие поверхностных F-центров объясняется симметрией микрополя данного центра. Показано влияние атмосферы воздуха на спектр поглощения поверхностных F-центров.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Бабаев В.Г., Гусева М.Б., Изв.АН СССР, сер. физ., т. XXXII, №12, 1973, стр.2596.
2. Бабаев В.Г., Быков Ю.В., Гусева М.Б., ЖТФ, т.46, I, 1976, стр.206.

3. Бабаев В.Г., Гусева М.Б., Корелин Н.М., в сб. "Взаимодействие атомных частиц с твердым телом", часть I, "Наукова думка", Киев, 1974, стр. 103.

4. Babayev V.G., Vukov Ju.V., Guseva M.B.
Thin Sol. Films, 38, 1, 1977.

Результаты работы докладывались на Всесоюзных конференциях по взаимодействию атомных частиц с твердым телом (Москва 1973, Харьков 1976), Всесоюзной конференции по росту нитевидных кристаллов и тонких пленок (Воронеж 1976, в сб. "Материаловедение"), III Украинской конференции по электронной оптике и ее применениям (Харьков, 1974), IV Всесоюзном симпозиуме по процессам роста и синтеза полупроводниковых кристаллов и пленок (Новосибирск, 1975), III Всесоюзном совещании по радиационной физике и химии ионных кристаллов (Рига 1975).

Подл. к печати 2/II-77г. Л. 89297 Ф.
Физ. п. л. 10 Уч.-изд. л. Заказ 1277
Тираж 100

Изд-во Московского университета, Москва, К-9,
ул. Герцена, 5/7.
Типография Изд-ва МГУ, Москва, Ленгоры