

05; 06

© 1991

ЭФФЕКТ ДИФфуЗИОННОГО ЛИМИТИРОВАНИЯ
СТРУКТУРНОГО ПЕРЕХОДА В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ
ВОЛЬФРАМА НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ,
РАСТУЩИХ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ

А.Ю. Потемкин, Е.Я. Черняк

В последнее время для выращивания тонких пленок тугоплавких металлов и их соединений широкое применение находит метод ионно-лучевого распыления мишени (ИЛР). Относительно более высокая по сравнению с термическими методами испарения, энергия осаждаемых частиц и присутствующая низкоэнергетическая ионная бомбардировка вносят определенную специфику в процесс роста пленки на подложке.

В настоящей работе было проведено исследование зависимости структуры пленки W на $GaAs$, выращенной методом ИЛР, от энергии распыляющих мишень и бомбардирующих подложку ионов. Структура пленок исследовалась методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ).

Структуры металл-полупроводник выращивались на полуизолирующих подложках арсенида галлия (100) типа САГ-1Б-4(7-15)Х. Перед напылением подложки прогревались в вакууме при температуре $T=300$ °С и остаточном давлении $P=10^{-5}$ Па в течение часа. Затем на подложку методом ИЛР осаждалась пленка W толщиной $k=200$ Å. При росте пленки поддерживались следующие параметры:

- скорость роста пленки $V=0.04$ Å/с;
- температура подложки $T_{п}=60$ °С;
- остаточное давление $P_{ост}=10^{-5}$ Па;
- давление аргона в камере $P_{арг}=7 \cdot 10^{-2}$ Па;
- энергия ионов, бомбардирующих мишень и подложку варьировалась от 500 до 2000 эВ;
- средняя плотность потока ионов на подложку составляла 10^{12} (см² с)⁻¹.

Было установлено, что при увеличении энергии бомбардирующих подложку ионов с 500 до 2000 эВ происходит укрупнение величины зерна растущей пленки от 200 до 500 Å. Одновременно с диффузионным ростом зерна пленки при энергии бомбардирующих подложку ионов $E=1000$ эВ наблюдается процесс структурного перехода пленки вольфрама, что показано на рис. 1. При этом состоянии „А“ пленки вольфрама начинают перекристаллизовываться в „Б“-состояние W с величиной зерна до 1000 Å. Обозначения „А“ и „Б“ состояний пленки условны; из электронограмм, приведенных

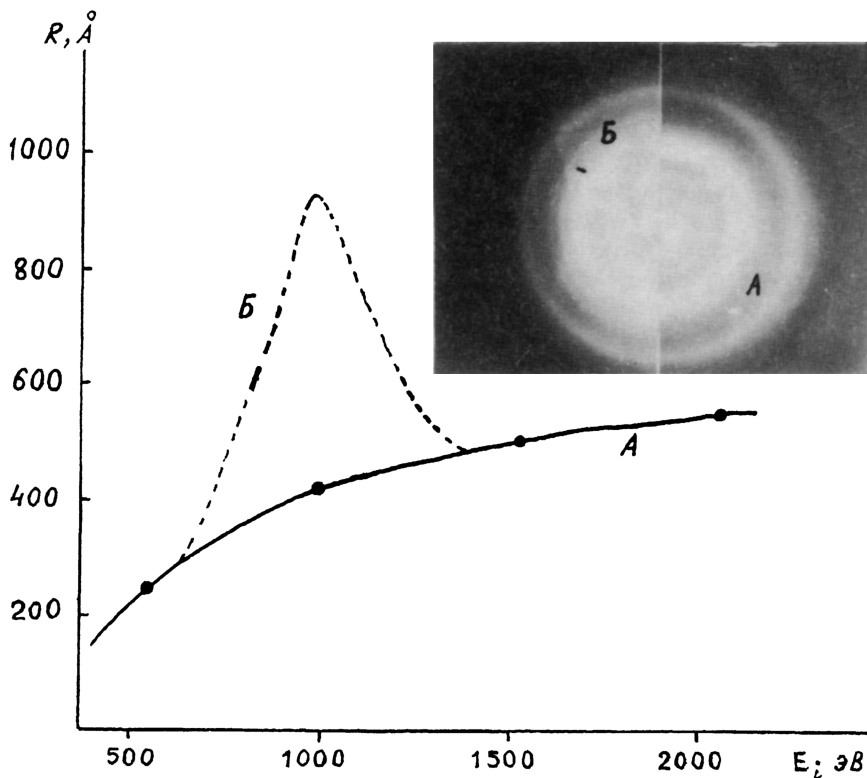


Рис. 1. Зависимость величины зерна R в пленках вольфрама на арсениде галлия от энергии E_i , распыляющих мишень и бомбардирующих подложку ионов аргона Ar^+ . А - „А“-состояние пленки, Б - „Б“-состояние.

на рис. 2, видно, что „А“- W в нашем случае представляет собой метастабильный конгломерат мелкокристаллического и аморфного вольфрама типа пленки Бейльби [1]. „Б“-состоянием является область пленки с размером зерна до 1000 Å.

Рост „Б“-структуры W идет за счет поглощения материала „А“-структуры, что видно из рис. 2. Наиболее вероятным представляется следующий механизм перехода пленки к островковой „Б“-форме пленки:

1. На начальном этапе на локальных неоднородностях перенасыщенной дефектами пленки происходит спонтанное нарушение ее устойчивости и образование отдельных островков. Центрами образования островкой являются, по-видимому, наиболее удачно расположенные зерна W , имеющие минимальный химический потенциал [2, 3]. На этом этапе островки „Б“-структуры вольфрама растут отдельно и независимо друг от друга.

2. При достижении островком определенного размера он создает вокруг себя зону, обедненную материалом, препятствующую его дальнейшему росту, то есть скорость поглощения материала расту-

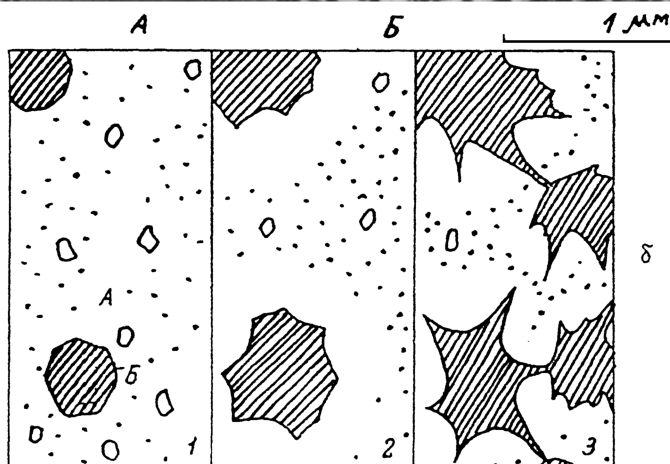
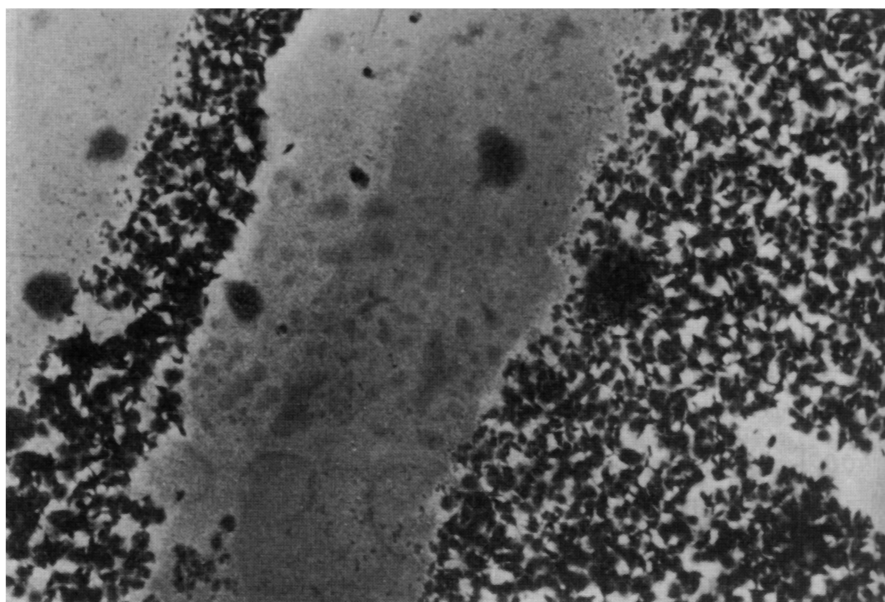


Рис. 2. а - ПЭМ-микрофотографии пленок W на $CrAs$, выращенных при бомбардировке ионами Ar^+ , имеющими энергию $E_i = 1000$ эВ. А - „А“-состояние пленки, Б - „Б“-состояние. б - развитие процесса структурного перехода в пленке W . 1 - появление единичных островков „Б“-структуры; 2 - рост островков „Б“-структуры при поглощении ими окружающего их материала „А“-пленки. Образуется обедненная вольфрамом зона, ограничивающая рост островков; 3 - выбросы металла, прошедшие обедненную зону, инициируют дальнейшее развитие структурного перехода „А“ \rightarrow „Б“.

шим островком из области, к нему прилегающей, превышает скорость диффузии материала в эту область из сплошной пленки „А“-структуры. Дальнейший рост микрокристалла „В“-пленки лимитируется поверхностной диффузией вольфрама в обедненную зону. Поверхностная диффузия, в свою очередь, зависит от температуры подложки, ионной бомбардировки и проч., что накладывает узкие граничные условия протекания процесса структурного перехода „А → В“-типа. Диффузионное лимитирование роста зародышей новой фазы в массивных образцах описывались и моделировались ранее [4], однако их практическое влияние на ростовые процессы и свойства получаемых пленок не оценивалось.

3. В условиях торможения роста островка за счет ограничения диффузионного потока наблюдаются нарушения энергетически выгодной для него формы. По периметру островка имеют место клиновидные выбросы материала длиной порядка размера островка (см. рис. 2). Направление выбросов не коррелирует с кристаллографией подложки. В том случае, когда длина выбросов превышает ширину обедненной зоны, окружающей островок, наблюдается инициация структурного перехода „А → В“ (и дальнейшее развитие островковой цепи).

Таким образом, наблюдается цепной процесс структурного перехода в пленке вольфрама, ограниченный поверхностной диффузией.

Выброс материала из островка пленки вольфрама „В“-структуры может быть объяснен непрерывным накоплением энергии в островке в виде дефектов, образующихся под действием ионной бомбардировки. Таким образом, при достаточно большой концентрации дефектов могут происходить спонтанные выбросы энергии при лавинообразной аннигиляции дефектов, спровоцированной ударной волной от единичного акта аннигиляции. Выделение этой энергии может сопровождаться направленным массопереносом, приводящим к выбросу металла за пределы островка.

Большая ширина обедненной материалом зоны может блокировать дальнейшее развитие структуры „В“-типа. Этот процесс виден на рис. 2, а на границе распространения „В“-вольфрама. Лимитирование структурного перехода в данном случае характерно только на начальном этапе роста пленки. При дальнейшем росте пленки, претерпевшей фазовый переход, сформировавшиеся островки „В“-формы пленки служат основой „столбчатой“ структуры пленки, что определяет ее механические и электрические свойства.

Образование новой фазы и „сворачивание“ растущей пленки в островки под действием ионной бомбардировки описывалось ранее в литературе [5, 6]. Возможно, что механизм этих переходов был аналогичен описанному.

Авторы настоящей работы приносят благодарность сотрудникам НИТИ Р.С. Сеничкиной и Н.М. Макиной за проведение анализа образцов методом просвечивающей электронной микроскопии.

- [1] А д а м с о н А. Физическая химия поверхностей. М.: Мир, 1979. 568 с.
- [2] Т р у с о в Л.И., Х о м я н с к и й В.А. Островковые металлические пленки. М.: Metallurgia, 1973. 321 с.
- [3] К а г а н о в с к и й Ю.С. и др. // Вопросы атомной науки и техники. 1990. Т. 4. № 12. С. 37-39.
- [4] Л ю б о в. Диффузионные процессы в неоднородном твердом теле. М.: Наука, 1981. 255 с.
- [5] К а о Et al. // J. Vac. Sci. Technol. 1989. A 7. N 5. P. 2966-2974.
- [6] W e i s m a n t e l Chr. et. al. // Neue Hütte. 1984. P. 178-183.

Поступило в Редакцию
31 января 1991 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 7

12 апреля 1991 г.

01

© 1991

МОЖЕТ ЛИ СЛУЧАЙНАЯ СИЛА ОКАЗЫВАТЬ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ?

В.М. Л о г и н о в

Хорошо известно (см., например, [1]), что действие случайных сил на динамическую систему, эволюция которой начинается от некоторого начального состояния, часто проявляется в том, что при выполнении порогового условия на интенсивность флуктуационного поля в системе развивается стохастическая неустойчивость. В противоположность этому, неоднородная высокочастотная монохроматическая или квазимонохроматическая сила, наоборот, оказывает стабилизирующее действие и приводит к появлению эффективного притягивающего потенциала [2]. Поскольку процессы в реальной физической системе всегда протекают на фоне действия сил, природа которых, вообще говоря, определяется случайными факторами, то большой практический интерес представляет вопрос о том, может ли случайная сила оказывать стабилизирующее действие или же она всегда генерирует стохастическую неустойчивость?

В работе на примере осциллятора с флуктуирующей частотой указан вид флуктуационного поля, действие которого повышает устойчивость осциллятора в среднеквадратичном. Динамика квадратичных характеристик $x^2(t)$, $x^3(t)$ и $x(t)x'(t)$ описывается уравнением