На правах рукописи

Ли Цзень Фень

Осаждение пленок GaAs из абляционной плазмы, формируемой импульсным мощным ионным пучком

05.09.02 – Электротехнические материалы
и изделия
01.04.04 – Физическая электроника

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Томск – 2006

Работа выполнена в ФГНУ НИИ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ, г.Томск

Научный руководитель: д.т.н., Ремнев Геннадий Ефимович.

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор ТПУ
Кабышев Александр Василевич

к.ф-м.н., доцент ТГУ
Коротаев Александр Григорьевич

Ведущая организация:

ОАО ”Научно- исследовательский институт полупроводников ”, г.Томск

Защита состоится 3 июля 2006г. в 15 часов на заседании диссертационного совета при Томском политехническом университете К 212.269.02 (г.Томск, пр.Ленина 2а).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета.

Автореферат разослан« » июня 2006г.

Ученый секретарь
диссертационного совета , к.т.н, с.н.с. Соловьев М.А.

Актуальность проблемы. Успехи в создании источников мощных ионных пучков (МИП) с плотностью мощности $P = 10^6 - 10^9$ Вт/см^2 открыли широкие возможности для изучения взаимодействия концентрированных потоков энергии с конденсированными средами и решения многих задач, имеющих большое научное и практическое значение. В связи с возрастающим интересом к практическому использованию тонких пленок и покрытий различного назначения, большой интерес представляют исследования процессов осаждения тонких пленок из абляционной плазмы, формируемой импульсным мощным ионным пучком на мишени. Среди различных видов импульсных концентрированных потоков энергии, которые могут быть использованы для создания абляционной плазмы (импульсные электронные пучки, импульсное лазерное излучение, искровой пробой, импульсные плазменные потоки) импульсные мощные ионные пучки (МИП) выделяются рядом объективных преимуществ. Пробег ионов для металлов и полупроводников сравним с глубиной поглощения энергии, определяемой температуропроводностью материала и длительностью импульса – это определяет высокий коэффициент использования энергии, переносимой ионным пучком. Сечение пучка имеет размеры в единицы и десятки квадратных сантиметров, что позволяет получать достаточно равномерные по толщине пленки без сканирования пучка и может быть обеспечена потенциально высокая производительность в осаждении пленок при практической реализации данного метода.

Существующие методы вакуумного осаждения тонких пленок имеют ряд проблем, связанных с низким коэффициентом использования материала мишени, не сохранением стехиометрического состава мишени при получении пленок сложного химического состава, низкой средней скоростью осаждения. Многие из этих проблем могут быть решены при осаждении с помощью импульсного МИП. Особенностью данного метода осаждения является использование плотной ($\sim 10^{18} - 10^{19}$ см$^{-3}$) абляционной плазмы, имеющей узкую направленность и высокую скорость распространения ($\sim 10^5$ см/с), что позволяет реализовать высокоскоростное осаждение с регулируемой толщиной осаждаемых пленок за один импульс от $\sim 10^{-9}$м до 10^{-6}м. Метод позволяет при использовании широкоапертурных МИП и сканировании пучка получать покрытия на значительных площадях, определяемых только размерами рабочей камеры.

В данной работе проведены исследования импульсной эрозии арсенида галлия и осаждения тонких пленок при последовательном воздействии серии

импульсов тока ионного пучка. Работа имеет выраженную практическую направленность, заключающуюся в возможности использования этого метода для создания солнечных фотоэлементов на основе этого материала. Выбор и обоснование параметров ионного пучка, при которых сохраняется стехиометрический состав пленки двухкомпонентного химического соединения (GaAs), взятого в качестве материала мишени для импульсной эрозии, представляет самостоятельное научное значение.

С конца 50-х годов арсенид галлия привлек к себе внимание как полупроводниковый материал, способный в будущем в ряде специальных случаев заменить кремний в технологиях микроэлектроники и солнечной энергетики (СЭ). Это объясняется такими его особенностями, как:

- почти идеальная для однопереходных солнечных элементов ширина запрещенной зоны 1,43 эВ;
- повышенная способность к поглощению солнечного излучения: требуемая толщина слоя составляет единицы микрометров;
- высокая радиационная стойкость, что совместно с высокой эффективностью делает этот материал чрезвычайно привлекательным для использования в космических аппаратах;

Главное достоинство арсенида галлия и сплавов на его основе — широкий диапазон возможностей для проектирования СЭ. Фотоэлемент на основе GaAs может состоять из нескольких слоев различного состава. Это позволяет разработчику с большой точностью управлять генерацией носителей заряда. Основной недостаток затрудняющий широкое использование арсенида галлия в солнечных элементах – их высокая стоимость, включающая и стоимость осаждения пленок. Развитие импульсных методов осаждения, характеризующихся низкими удельными энергозатратами, высоким коэффициентом использования дорогостоящего материала, и потенциально высокой производительностью, может в значительной степени снизить стоимость получения полупроводниковых пленок.

Целью настоящей работы является исследование импульсной эрозии мишеней из GaAs, получение и исследование тонких пленок GaAs полученных методом осаждения из абляционной плазмы, образуемой на поверхности мишени из GaAs при воздействии МИП наносекундной длительности с плотностью мощности 40─150 МВт/см^2.

Основными задачами данной работы являются:

Исследование коэффициента импульсной эрозии массивных мишеней из GaAs и угловой зависимости распространения абляционного материала.

Исследования морфологии поверхности мишени из GaAs и её влияние на коэффициент импульсной эрозии при воздействии МИП с варьируемым числом импульсов.

Исследование стехиометрического состава мишени и размера формируемых кристаллитов при воздействии МИП.

Исследование морфологии поверхности и определение структуры пленок GaAs.

Измерение стехиометрического состава пленок GaAs.

Исследование осаждения пленок GaAs на диэлектрические подложки.

. Научная новизна работы заключается в том, что:

1. Впервые показано, что МИП с плотностью 40─150 МВт/см^2 могут использоваться для осаждения пленок GaAs на диэлектрические и полупроводниковые подложки.

2. При воздействии МИП на монокристаллическую мишень из GaAs в поверхностном слое (5-6 мкм) формируется поликристаллическая структура, размер кристаллитов составляет величину 20 ± 10 нм.

3. Показано, что при осаждении пленок GaAs на диэлектрические полимерные подложки формируется структура на основе наноразмерных кристаллитов со средним размером зерна приблизительно 20 нм и действием растягивающих усилий на кристаллиты.

4. Угол распространения абляционного материала (θ/2), формируемого на поверхности мишени из GaAs значительно меньше, чем при импульсной эрозии металлических материалов и составляет величину $12^0 \pm 2^0$.

Практическая ценность работы заключается в том, что на основе выполненных исследований разработан метод осаждения пленок GaAs на диэлектрические и полупроводниковые материалы, который позволяет значительно снизить себестоимость получения полупроводниковых пленок и создать в перспективе солнечные фотоэлементы. Пленки GaAs представляют практическую ценность для применения в полупроводниковой электронике.

Реализация работы. Результаты диссертационной работы использованы в ФГНУ НИИ высоких напряжений (г. Томск) и ОАО “НИИ ПП” для разработки солнечных фотоэлементов.

Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждается использованием независимых экспериментальных методик,

сопоставлением результатов экспериментов и численных расчетов. Полученные результаты не противоречат существующим представлениям о механизме получения тонких пленок методом импульсной абляции.

На защиту выносят следующие научные положения:

Полупроводниковые пленки GaAs, получаемые путем импульсного осаждения из абляционной плазмы, формируемой на поверхности мишеней мощным ионным пучком наносекундной длительности с плотностью мощности 40─150 МВт/см^2, являются макросплошными объектами. На диэлектрических подложках формируются поликристаллические пленки со средним размером кристаллитов 20нм при растягивающих напряжениях, на кремниевых подложках с более высокой теплопроводностью формируются нанокомпозитные пленки на основе аморфной фазы с нанокристаллитами размером около 20 нм.

Коэффициент импульсной эрозии мишени из GaAs и его разброс от импульса к импульсу тока МИП зависят от шероховатости её поверхности и уменьшаются с увеличением параметра шероховатости (R_z). Область шероховатости поверхности мишени - R_z более 30 мкм является областью с наименьшим разбросом коэффициента эрозии от импульса к импульсу и значением коэффициента импульсной эрозии за импульс 0,2 мГ/см^2.

При воздействии МИП на мишень из GaAs и числе импульсов более 10 формируется регулярная волнистая структура рельефа поверхности мишени в виде чередующихся выступов и впадин.

Пространственный угол распространения абляционного материала при воздействии МИП составляет $24^0 \pm 4^0$.

Стехиометрический состав пленки идентичен составу мишени, при средней скорости осаждения до 5 нм за импульс из абляционной плазмы, получаемой на поверхности мишени при воздействии МИП с плотностью энергии 3.8 Дж/см^2.

Апробация. Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

Российской конференции «Технологии Урала», Екатеринбург, 2002, Международной конференции «Korus 2005», Новосибирск, 2005, The Sixth International Conference Interaction of Radiation with Solids (IRS - 2005), Minsk, Belarus. 2005, Российской конференции «Демидовские чтения», Томск февраль 2006, Российской конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики», Москва февраль 2006. The 4th Asian-

European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2003)

Структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 132 стр., содержит 42 рис., 5 таблиц. Диссертация состоит из ведения, четырех глав и заключения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, дана кратная характеристика исследуемых проблем, сформулирована цель работы. Перечислены основные результаты, полученные в работе. Во введении также изложены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе проведен анализ применения тонких плёнок в современной технике и различных методов выращивания тонких пленок GaAs, использующихся в настоящее время. Показано, что за последнее время круг применения тонкоплёночных технологий значительно расширился. Практически все отрасли промышленного производства используют нанесение тонких плёнок, которые придают конструкционным материалам необходимые технологические и эксплуатационные свойства. Особенно успешно тонкие плёнки применяются в быстроразвивающейся полупроводниковой электронике - технологии интегральных схем. Основной тенденцией развития современной технологии интегральных схем является уменьшение размеров приборов и увеличение уровня интеграции схем. За последние 25 лет в твёрдотельной электронике произошёл полный переход к планарной технологии, позволяющей разместить элементы с высокой плотностью компоновки на кристалле. Эта технология включает нанесение тонких плёнок распылением мишени или испарением в вакууме, создание рисунков методами оптической, рентгеновской и электронно-лучевой литографии, совершенствование известных и разработку новых методов и способов их нанесения. Непрерывный рост объёма производства приборов микроэлектроники с одновременным увеличением степени интеграции можно обеспечить разработкой и освоением новых высокопроизводительных, экологически чистых и экономичных методов нанесения слоёв металлов, полупроводников и диэлектриков, отличающихся однородностью свойств и качеством. С возрастанием требований этой отрасли промышленности приходится отказываться от ряда традиционных технологических операций, связанных с применением светового облучения, диффузионных и некоторых других процессов и переходить к качественно новым, в основе которых лежит взаимодействие излучений и потоков заряженных частиц с поверхностью кристалла. К таким процессам относятся

рентгеновская, электронная и ионная литография, ионная имплантация, лазерный отжиг, а также метод осаждения тонких пленок из абляционной плазмы, развиваемый в настоящей работе.

Во второй главе описана экспериментальная установка на базе ускорителя ТЕМП. Параметры ускорителя «ТЕМП»: ускоряющее напряжение 250 – 300 кВ, длительность импульса напряжения 80 нс, Состав пучка (по основным компонентам) С (70%), Н (30%), плотность энергии на мишени 1,2 – 5 Дж/см^2, частота следования импульсов 15 – 20 имп/мин.

На рис.1 представлена геометрическая схема расположения мишени, подложки и ионного пучка. Мишень устанавливается вблизи фокуса диода на расстоянии R от анода, под углом φ=30 – 60° (отсчёт от поверхности) к направлению распространения ионного пучка. В направлении нормали к поверхности мишени на расстоянии d = 20 – 110 мм от мишени устанавливается подложка, параллельно или под небольшим углом к поверхности мишени (<30°). Откачка рабочей камеры ускорителя производится до остаточного давления на уровне ~ 10^{-5} Торр с помощью диффузионного насоса.

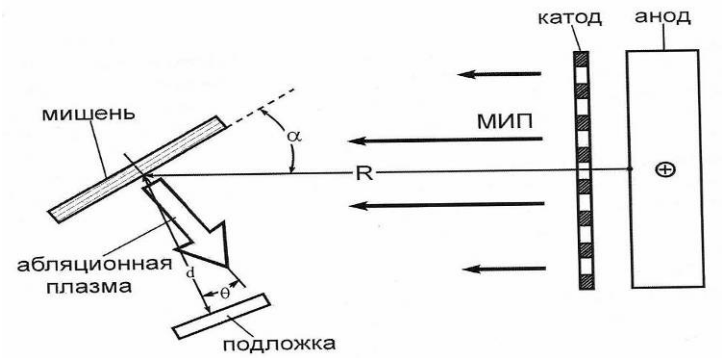


Рис.1. Схема процесса осаждения тонких плёнок: R – расстояние от анода до центра мишени; α – угол падения пучка на поверхность мишени; d – расстояние между мишенью и подложкой; θ – угол наклона подложки к мишени.

Сформированный пучок ионов распространяется к мишени, и при взаимодействии с материалом мишени образует абляционную плазму, которая, в свою очередь распространяется по нормали к мишени в узком телесном угле и осаждается с высокой импульсной скоростью на подложку. Осаждение пленок осуществляется либо одиночным импульсом, либо серией из нескольких импульсов (до сотен импульсов).

Изучение структуры тонких пленок позволяет установить связь между физическими свойствами пленок и условиями их осаждения. Распространенными методами контроля структуры поликристаллических и монокристаллических пленок являются электронная микроскопия,

электронография и рентгенография. Для получения информации о составе и профиле концентрации использовалось несколько аналитических методов. Методом спектроскопии Резерфордовского рассеяния ионов количественно определялся состав пленки, толщина и распределение элементов по глубине, методами вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС) и электронной оже-спектроскопии(ЭОС) получали дополнительную информацию о распределении по глубине легких примесей и профили относительной концентрации с более высоким разрешением по глубине.

В работе, для определения основных характеристик пленки использовалось следующее диагностическое оборудование: рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD – 600 и Rigaku (D/max-2400); атомно-силовой микроскоп (NSVIa AEM), спектрометр LAS-3000, просвечивающий электронный микроскоп 100CXII, Рамановский спектрометр T64000 с аргоновым лазером на длине волны 488 нм, мощностью 50 мВт.

В третьей главе приведены результаты исследований коэффициента импульсной эрозии мишени из GaAs (рис.2), угловой зависимости распространения абляционного материала, морфологии поверхности мишени, химический состав мишени в зависимости от числа импульсов МИП.

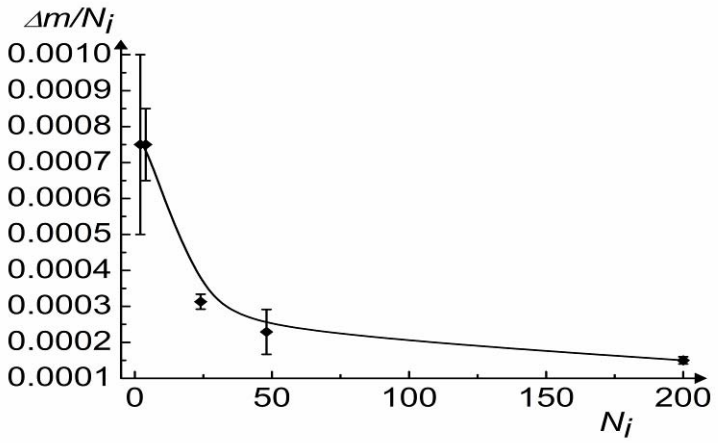


Рисунок .2 . Зависимость величины массы эрозии образцов, нормированной на один импульс (Δm/Ni) от числа последовательных импульсов тока пучка на мишень.

Многократное воздействие импульсов тока пучка приводит к эрозии мишени с образованием жидкой фазы на поверхности и пароплазменного факела. На рис.3 приведена схема формирования абляционного материала по результатам исследования морфологии поверхности. Часть продуктов пароплазменного факела оседает на поверхности выступов, приводя к увеличению их размера. Из впадин материал мишени будет вытесняться в

жидкой фазе за счет начального гидродинамического давления, создаваемого быстрым нагревом и охлаждаться на стенках впадины и вершинах. Часть продуктов эрозии мишени в виде образуемых капель и микрочастиц также будет оседать на поверхности выступов. Таким образом, следует ожидать увеличения высоты рельефа с увеличением числа импульсов за счет следующих 3-х факторов: осаждение части пароплазменной фазы на боковые поверхности выступа и на вершину выступа (Δh1, Рис.3), вытеснение жидкой фазы из углубления и остывание её на вершине и боковой поверхности выступа (2), оседание жидких капель и микрочастиц (продуктов эрозии мишени) на боковые поверхности выступа (3).

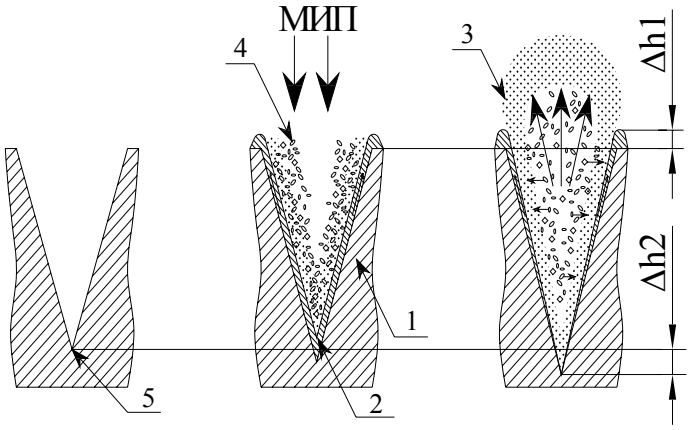


Рис. 3. Схема формирования абляционного материала на фрагменте мишени при воздействии МИП. (1) -мишень из GaAs, (2) - жидкая фаза, (3) - пароплазменная фаза, (4) - жидкие капели и фрагмент мишени, (5) - впадина поверхности до воздействия МИП.

Частичное остывание происходит вместе с движением жидкого слоя по боковой поверхности углубления уже на спадающей части импульса тока пучка. На этой же стадии происходит оседание капель и фрагментов мишени на боковую поверхность данного углубления и на соседние боковые выступы.

Из рис.4 видно, что уже после 24 - 48 последовательных импульсов тока пучка на мишени формируется явно выраженная регулярная волнообразная структура поверхности, характер профиля которой сохраняется при дальнейшем увеличении числа импульсов.

По результатам электронной ОЖЭ спектроскопии и рентгенографических исследований, проведенных до облучения и после облучения 8 и 200 импульсами, сделаны следующие выводы: стехиометрический состав в пределах ошибки измерения методом ожэ-анализа сохраняется при количестве воздействий импульсов МИП на мишень до 200 импульсов; при воздействии МИП на монокристаллическую мишень

из GaAs в поверхностном слое (5-6 мкм) формируется поликристаллическая структура, размер кристаллитов составляет величину 20 ± 10 нм.

Угловая зависимость распространения абляционного материала является важной характеристикой при осаждении пленок. Для проведения исследования абляционный материал осаждался на прозрачные подложки из лавсана. По результатам денситометрирования осажденной пленки построены пространственные корреляционные зависимости толщины пленки и оптической прозрачности. С учетом корреляционного коэффициента построены профили толщины пленок по которым определялся угол разлета на различных расстояниях от мишени. Половинный угол разлета абляционного материала (θ/2) составил 12^0 +/- 2^0. Малое значение угла распространения абляционного материала при количестве воздействий МИП более 10 связано с формированием специфического рельефа поверхности мишени определяющего более низкое значение угла распространения абляционного материала чем например для металлических материалов.

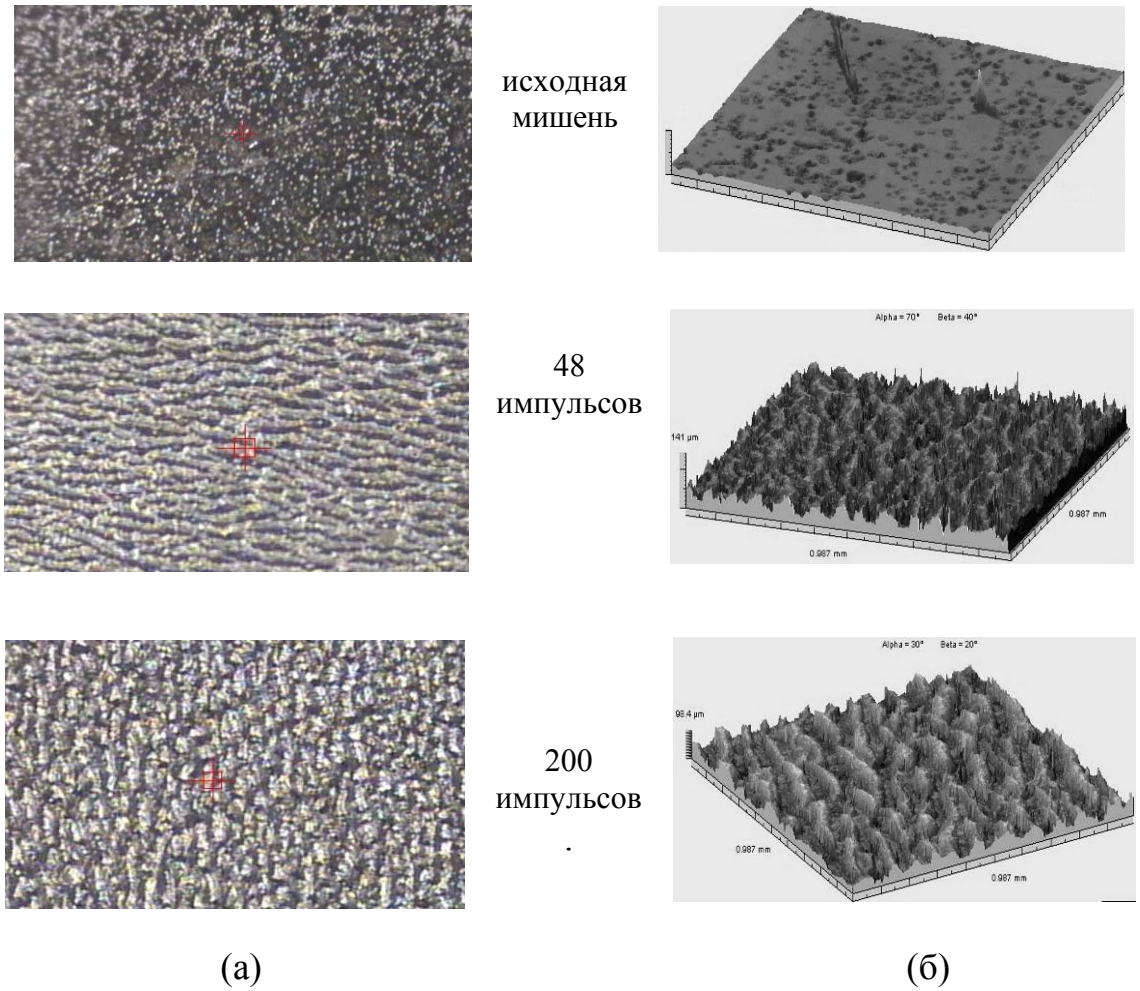


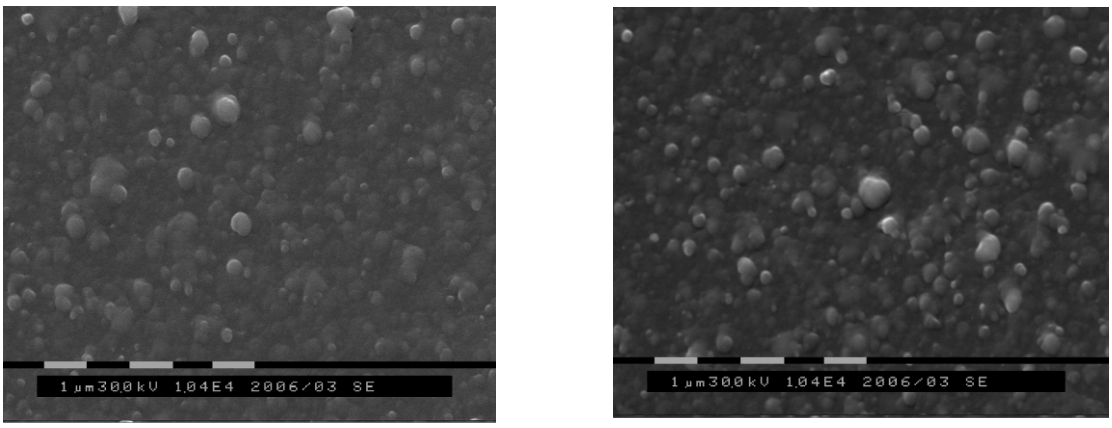
Рис.4. Фотографии поверхности мишени, полученные с помощью оптической микроскопии (а) и профили поверхности, полученные атомно-силовой микроскопией (б).

Характеристикой, определяющей экономичность процесса осаждения, является коэффициент использования рабочего вещества (материала мишени), который зависит, в том числе и от расстояния между мишенью и подложкой. Пленка, осажденная на расстоянии 6 - 7 см и менее, имеет меньшую толщину в центральной части. Это связано с распылением осаждаемой пленки той же абляционной плазмой, которая на близких расстояниях от мишени имеет высокую плотность в осевой зоне потока и ее энергии достаточно для возникновения явления эрозии самой пленки, осажденной в предыдущих импульсах. На больших расстояниях плотность абляционной плазмы, также как и плотность переносимой энергии, снижается, интенсивной эрозии осажденного материала при этом не наблюдается.

Оптимальное значение расстояния мишень-подложка при данных параметрах МИП составляет величину 9-12 см. Это расстояние соответствует ситуации, когда, с одной стороны, не происходит заметной эрозии пленки абляционной плазмой, а с другой стороны, максимально используется материал мишени.

В четвертой главе приведены результаты исследования пленок GaAs. В качестве материала подложек использовались кремниевые пластины, керамика и полимерный материал - лавсан. Пленки исследовались методами резерфордовского обратного рассеяния, мало-углового рентгеновского рассеяния, сканирующей электронной микроскопии (рис.5), атомно-силовой микроскопии (рис.6), просвечивающей электронной микроскопии. Для измерения параметров пленки на диэлектрической подложке использовалась Рамановская спектроскопия.

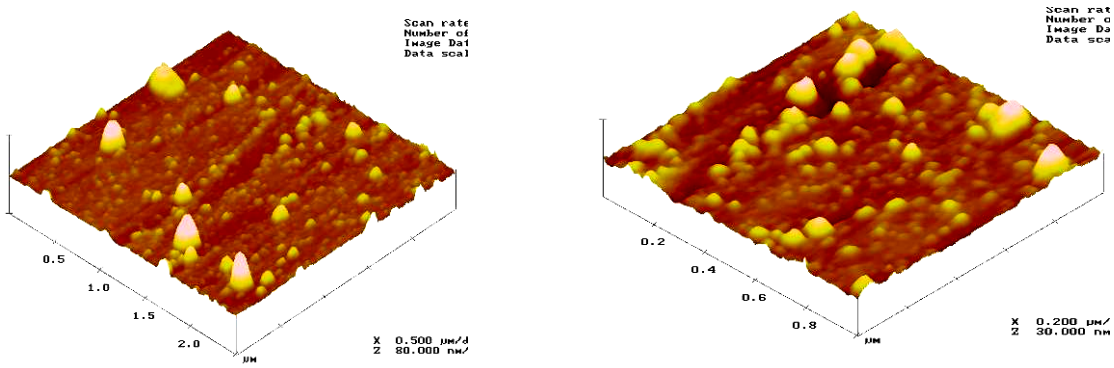
С увеличением количества импульсов ионного пучка, количество и средние размеры кристаллитов на поверхности пленки увеличиваются. Размеры кристаллитов находятся в диапазоне от 20 до 160 нм для различных материалов подложки. При увеличении числа импульсов осаждения абляционного материала на подложку средняя толщина слоя пленки, осажденного за один импульс, снижается, и при значениях плотности энергии МИП 5Дж/см^2 и числе импульсов более 50 составляет приблизительно 4.5 - 4,9 нм за импулс. Шероховатость поверхности пленки с увеличением числа импульсов осаждения абляционного материала на подложку уменьшается, достигая значения Ra 18,9 нм при шероховатости подложки Ra равной 8,6 нм.



(а) (б)

Рис. 5. Структура поверхности пленки, полученная с помощью сканирующего электронного микроскопа , при количестве импульсов осаждения 50 (а) и 100 (б).

Методом резерфордовского обратного рассеяния показано, что на подложке Si формируются пленки GaAs, имеющие стехиометрический состав, приблизительно совпадающий с составом мишени. Содержание мышьяка по отношению к галлию во всей пленке составляет 87% атомных процентов. Пленка включает также примеси элементов O, C, рис.7. Содержание этих элементов в пленке менее 4%, которые находятся, в основном, на поверхности пленки.



(а) (б)

Рис.6. Изображения поверхности пленок, полученные с помощью атомно-силового микроскопа, при количестве импульсов осаждения 50 (а) и 100 (б).

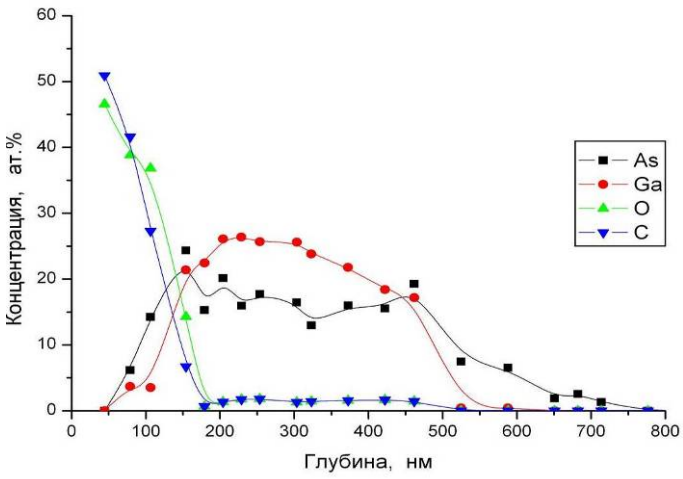


Рис. 7. Концентрационный профиль пленки GaAs.

Просвечивающая электронная микроскопия и мало-угловой рентгено-фазовый анализ фиксируют изменения фазового состава плёнки с увеличением числа импульсов осаждения. В первоначально аморфной структуре возникает и растет доля частиц, имеющих кристаллическую фазу с ориентацией (220) при ориентации кристаллической структуры мишени в плоскости (110).

Разработка метода осаждения пленок GaAs на диэлектрические подложки и, в частности, на полимерные пленки, имеет большое значение для создания дешевых солнечных элементов. Такой материал для подложки как лавсан имеет хорошую упругость и намного меньшую стоимость, чем кремний, что открывает новые возможности, особенно при производстве солнечных элементов. Перспективность импульсных методов осаждения пленок GaAs на диэлектрические подложки заключается в том, что абляционный факел, распространяющийся от мишени, в целом нейтрализован по заряду. Дополнительным положительным фактором является тот факт, что в голове факела присутствует более высокоэнергетичная компонента, которая, распыляя поверхностный адсорбированный слой загрязнений на диэлектрической подложке и нагревая поверхность пленки, способствует повышению адгезии пленки GaAs к подложке. Методом рамановской спектроскопии показано, что на диэлектрическом материале (лавсане) сформированы пленки GaAs. По сравнению со спектром мишени линии поперечной частоты оптической моды (TO) 268.6 см$^{-1}$ и частоты продольной моды (LO) 292 см$^{-1}$ оказались сдвинуты в пленке на 5 см$^{-1}$ и составили величины соответственно 264 см$^{-1}$ и 287 см$^{-1}$. Для кристаллов типа цинковой обманки, к которым относится и GaAs такое

смещение частот связано с действием растягивающих усилий ~ 10 кбар. Это давление может сформироваться из-за неравновесного импульсного процесса формирования кристаллитов из сгустков абляционного материала, имеющего высокую температуру. Методом малоугловой рентгеновской спектроскопии и просвечивающей электронной микроскопии определено, что пленка состоит из кристаллитов, имеющих средний размер приблизительно 20 нм. Важным является наличие дефектных пиков (обозначенных на рисунке D), как на мишени, так и в пленках, рис.8. К достоинству метода также следует отнести то, что в нашем случае пленки получены при комнатной температуре.

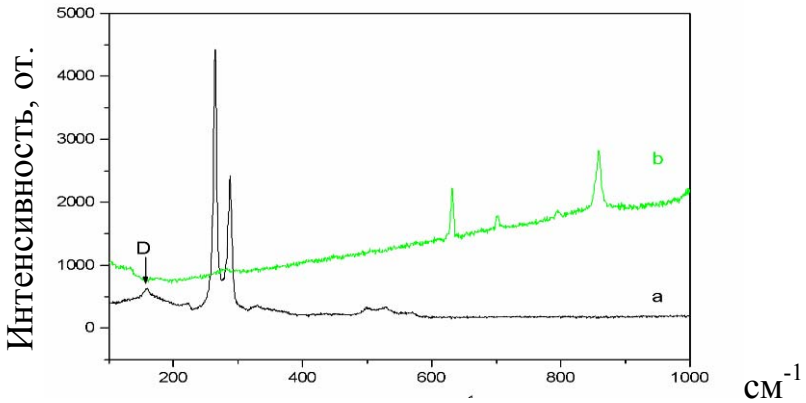


Рис.8. Рамановский спектр пленки GaAs , полученной импульсным осаждением из абляционной плазмы (a), (b)- спектр подложки (лавсан).

Измерения температурной зависимости электрического сопротивления пленки GaAs проведены при осаждении пленки на керамическую подложку (Al_2O_3) при остаточном давлении в камере 10^{-4} Па при тех же условиях, что и осаждение на лавсановую пленку. На полученную пленку, затем были напылены серебряные контакты. Измерения силы тока и проводимости производились по стандартной методике при постоянном напряжении 3,6В и при переменной частоте 1 - МГц. Зависимость удельного сопротивления от температуры отжига приведена на рис.9. Резкое снижение сопротивления пленок наблюдается при температуре 690 – 710 К. Это вызвано деградацией соединения GaAs и несколько ниже температуры для массивных образцов GaAs 973 К. Проведены исследования зависимости удельной проводимости пленок GaAs от температуры предварительного отжига в диапазоне температур 450 – 1120 К с шагом в 100 К. При температуре отжига 950 К и выше зависимость от 1/T носит практически линейный характер со слабым возрастанием удельного сопротивления.

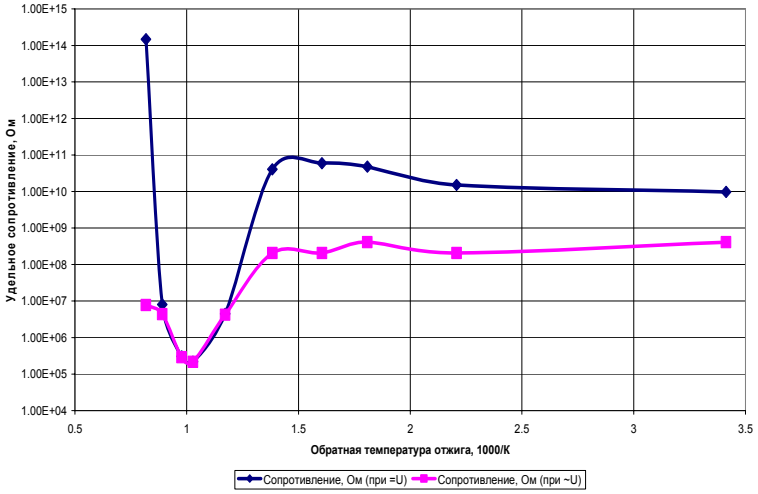


Рис.9. Зависимость удельного сопротивления от температуры отжига

В заключении приведены основные результаты работы**.**

Основные результаты работы

1. Пленки полупроводникового GaAs, осаждаемые из абляционной плазмы, полученной при облучении массивной мишени GaAs импульсным мощным ионным пучком с плотностью мощности 40─150 МВт/см^2, обладают нанокристаллической структурой с размерами кристаллитов в диапазоне от 20 до 600 нанометров. Осаждаемые пленки являются макросплошными объектами и имеют зеркально-гладкую поверхность.

2. Стехиометрический состав мишени в пределах ошибки измерения методами Оже-спектроскопии и обратного резерфордовсного рассеяния сохраняется при количестве импульсов воздействия МИП до 200.

3. При воздействии МИП на монокристаллическую мишень из GaAs в поверхностном слое (5-6 мкм) формируется поликристаллическая структура, размер кристаллитов составляет величину 20 ± 10 нм.

4. Угол распространения абляционного материала (θ/2), формируемого на поверхности мишени из GaAs, при воздействии пучка с плотностью энергии 5 Дж/см^2, составляет величину $24^0 \pm 4^0$. Низкое значение угла распространения абляционного материала при числе импульсов МИП более 10 может быть связано с формированием развитого рельефа поверхности мишени.

5. При увеличении числа импульсов осаждения абляционного материала на подложку средняя толщина слоя пленки, осажденного за один импульс, снижается, и при значениях плотности энергии МИП 5 дж/см^2 составляет приблизительно 4,5 - 4.9 нм за импульс.

6. Шероховатость поверхности пленки с увеличением (до 200) числа импульсов осаждения абляционного материала на подложку уменьшается, достигая значения Ra 18,9 нм при шероховатости подложки Ra равной 8,6 нм.

7. Пленки GaAs при разных толщинах пленки: 50 – 500 нм сохраняют стехиометрическое отношение к составу мишени и включают примеси элементов остаточного газа – кислород и углерод.

8. На полимерном материале (лавсан) сформированы пленки GaAs, имеющие наноразмерную структуру со средним размером кристаллитов 20 ± 10 нм.

Список публикаций по теме диссертации

1. Г.Е.Ремнев, Ли Цзень Фень, М. С.Салтымаков, И.В.Ивоннин. Абляция и сверхбыстрое осаждение пленок GaAs // Физика. 2006, № 8 с.169-174.

2. Li Jian Feng, Makeev V.A., Saltemakov M.C., Remnev G. E. Forming of GaAs thin films by ablation plasma produced high impulse phase ion beam // Proceedings of International Conference, “Korus 2005”, Novosibirsk, 2005. pp. 234-235.

3. Li Jian feng, G.E. Remnev, V.I. Guselnikov at all. GaAs Thin Film Deposition from Ablation Plasma forming High Power Ion Beam // Proceedings of the Sixth International Conference Interaction of Radiation with Solids (IRS - 2005), Minsk, Belarus. 2005, pp. 313 – 315.

4. Ли Цзень Фень, М.С. Салтымаков. Коэффициент абляции и угловое распределение абляционной плазмы формируемой МИП // Российская конференция “Демидовские чтения ”, Томск , февраль 2006г, с.122-123.

5. Г.Е.Ремнев., А.И.,Пушкарев., Э.Г.Фурман., В.С.Лопатин., В.В.Ежов., Ли Цзень Фень., Источник импульсных электронных и ионных пучков на основе наносекундного генератора напряжения с согласующим трансформатором. // Известия ТПУ, 2006, №. 2, с.93-97.

6. М.С. Салтымаков, Ли Цзень Фень . Исследование коэффициента эрозии мишени из GaAs // Конференция “ Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики” Москва,2006г. с.222-223.

7. Liu Cui, Li Jianfeng, Wang Lige, Plasma-enhanced magnetron sputtering deposition technology // Proceedings of The 4th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2003), pp.79-83.

8. Li Guoqing, Liu Cui, Li Jianfeng, Zhang Chengwu, Mu Zongxin, Long Zhenhu Plasma-ion beam source enhanced deposition system surface and coating

technology // Proceedings of The 5th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2004), pp.127-134.

9. Guoqing Li, Cui Liu, Jianfeng Li, Chengwu Zhang, Zongxin Mu, Zhenhu Long. Plasma-ion beam source enhanced deposition system // Surface & Coatings Technology 193, 2005. pp.112– 116.

Подписано к печати 30.05.2006 г. Формат 60x84/16.
Бумага офсет № 1. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,11. Уч.-изд. л. 1,0.
Заказ 154. Тираж 120 экз.

Отпечатано в типографии ЗАО «М-Принт».
634009, г. Томск, ул. Пролетарская, 38/1.