

0.6.2; 10; 11; 12

© 1992

ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
И ПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ
ИОННО-ЛУЧЕВОГО РАСПЫЛЕНИЯ

С.Г. Г а л а н и н, Е.Я. Ч е р н я к

Ряд химических соединений, привлечших интерес к себе в последнее время в плане использования их в тонкопленочной технологии, в принципе не могут быть получены традиционными термическими методами осаждения. Это, в первую очередь, силициды и нитриды металлов, получение которых прямым термическим способом требует высоких температур, неприемлемых для термически нестабильных подложек типа $A^{III}B^V$. Использование же пленок силицидов и нитридов тугоплавких металлов перспективно для применения в качестве контактов Шоттки, материалов затворов полевых транзисторов, диэлектрических покрытий [1-4]. Во-вторых, поиск новых материалов со свойствами, удовлетворяющими комплексу требований, накладываемых на различные технологические слои, приводит к целесообразности использования сложных, многокомпонентных пленок [5, 6]. Получение таких пленок с определенной стехиометрией затруднено. В-третьих, для производства законченного прибора, ИС требуются диэлектрические и проводящие слои, что делает необходимым использование нескольких технологических процессов.

Метод ионно-лучевого распыления заключается в распылении твердой мишени пучком высокоэнергетических ионов, формируемого ионным источником. Данным методом можно получать пленки химических соединений (нитридов) при распылении мишени пучком ионов азота или аргона. При этом слои данных химических соединений можно выращивать на любых типах подложек, включая термически нестабильные ($GaAs$), так как повышенная энергия реагирующих частиц (1-10 эВ) и присутствие ионной компоненты позволяет снизить температуру подложки вплоть до комнатной. Также можно получать многокомпонентные пленки всех металлов в любых пропорциях с использованием составных мишеней. Можно выращивать диэлектрические и проводящие пленки, что дает возможность в одной установке создавать практически все слои, требуемые для производства приборов.

В настоящей работе метод ионно-лучевого распыления разрабатывался с целью применения его для получения пленок нитридов металлов: диэлектрических (AlN , Si_3N_4) и проводящих (WN , NbN), а также силицидов (WSi_x , $WTaSi_x$). Схема метода приведена на рис. 1.

В то время как для кремниевых подложек проблема диэлектрика с успехом решается применением SiO_2 , то для приборов на основе полупроводников $A^{III}B^V$ требуется разработка других диэлектрических материалов и низкотемпературных методов их получения

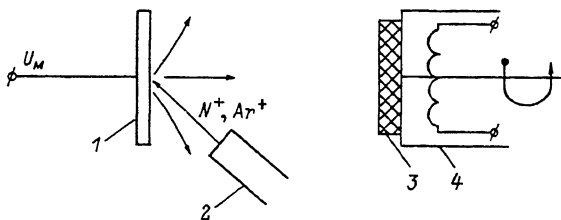


Рис. 1. Схема метода ионно-лучевого распыления. 1 - мишень, 2 - ионный источник, 3 - растущая пленка, 4 - подложкодержатель с нагревателем.

[7], SiO_2 при нагреве до температур, используемых в технологии создания приборов на основе $GaAs$, т. е. 800–900 °С обедняется кислородом и образуются каналы для диффузии атомов мышьяка к поверхности, что ведет к нарушению стехиометрии приповерхностного слоя $GaAs$. Также на поверхности арсенида галлия генерируется большое количество дислокаций, компенсирующих упругие напряжения, возникающие в системе $SiO_2 / GaAs$, что также приводит к нарушению приповерхностного слоя $GaAs$. Более перспективными для применения к $GaAs$ являются Si_3N_4 и AlN . Это бескислородные диэлектрики и могут выполнять функции капсулирующих покрытий, причем предпочтительнее AlN , как более близкий по КТР к $GaAs$.

Пленки AlN , SiN получали распылением алюминиевой (кремниевой) мишеней ионами N_2^+ , с добавлением ионов Ar^+ , осуществляемом для достижения нужной стехиометрии пленок. На поверхности подложек $GaAs$ формировались диэлектрические пленки со следующими параметрами: напряженность поля в момент пробоя $(3-6) \times 10^6$ В·см⁻¹ и 10^7 В·см⁻¹ при толщинах пленки 1000 и 500 Å соответственно; плотность пор 1–10 см⁻². Плотность пор определялась пузырьковым методом. Высокое значение напряженности поля в момент пробоя также свидетельствует о низкой пористости пленок.

Процесс образования нитрида алюминия очень критичен к содержанию кислорода в камере, который как более активный газ первым вступает в реакцию с алюминием, блокируя реакцию с азотом. Вплоть до остаточного давления $P_{ост} = 10^{-5}$ Па, образуется оксинитрид алюминия. Чистый нитрид алюминия образуется начиная с остаточного давления $P_{ост} = 10^{-6}$ Па. Это подтверждается данными эллипсометрических исследований. Показатель преломления $n = 1.6$, соответствующий оксиду алюминия Al_2O_3 , наблюдается у пленок, получаемых при $P_{ост} = 10^{-3}$ Па. Затем показатель преломления растет с улучшением вакуума: $n = 1.9$ при $P_{ост} = 10^{-5}$ Па, что соответствует AlO_xN_y . Показатель преломления $n = 2.1$, соответствующий чистому AlN , наблюдается лишь при достижении вакуума $P_{ост} = 10^{-6}$ Па. То есть процесс формирования нитрида алюминия

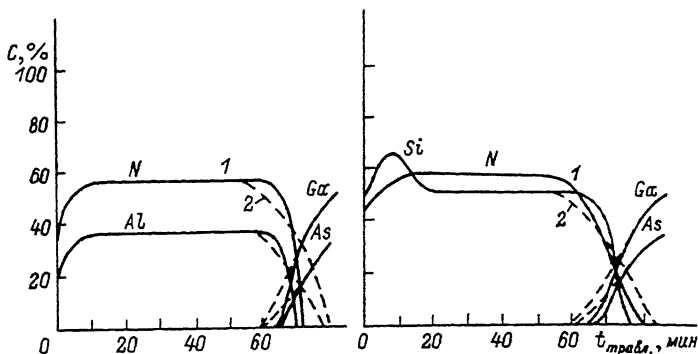


Рис. 2. Концентрационные профили AlN и Si_3N_4 на $GaAs$ до и после отжига. 1 – до отжига, 2 – после отжига $850\text{ }^\circ\text{C}$ 15 мин.

необходимо вести в глубоком вакууме, хотя незначительное количество кислорода не снижает качества диэлектрических пленок. Влияние кислорода на процесс образования нитрида кремния значительно слабее.

При температурах подложки $0\text{--}300\text{ }^\circ\text{C}$ параметры пленок существенно не меняются. Пленки находятся в аморфной фазе. Увеличение температуры подложки до $450\text{--}500\text{ }^\circ\text{C}$ приводит к увеличению размеров зерен, что характерно резким снижением напряжения пробоя из-за утечек по границам зерен. Напряженность поля в момент пробоя падает с $5 \cdot 10^6\text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$ до $1 \cdot 10^4\text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$. Состав пленок анализировался методом электронной Оже-спектроскопии с послойным спылением (ЭОС).

Для исследования термостабильности пленок слои нитридов алюминия и кремния осадились на обе стороны пластины арсенида галлия. Структуры $AlN/GaAs/AlN$ и $Si_3N_4/GaAs/Si_3N_4$ отжигались при температуре $850\text{ }^\circ\text{C}$ 15 мин. Концентрационные профили до и после отжига приведены на рис. 2.

Видно, что стехиометрия арсенида галлия не нарушалась, хотя заметно некоторое размытие границ после отжига.

Совпадение коэффициентов термического расширения пленок и подложки $GaAs$, высокая термостабильность, хорошая адгезия позволяет использовать их в качестве масок при ионной имплантации и диффузии, а также в качестве защитных покрытий при постимплантационном отжиге. Имеется принципиальная возможность использовать нитридные пленки диэлектриков как подзатворные диэлектрики и межслоевую изоляцию.

Кроме диэлектрических, получали и проводящие пленки нитридов металлов, в частности нитрида вольфрама (WN) при распылении вольфрамовой мишени ионами азота. Пленки WN также анализировались методом Оже-спектроскопии, а кроме того методом вторичной ионной масс-спектроскопии (ВИМС). Методами ЭОС и ВИМС

изучено фазообразование в пленках нитрида вольфрама и на границе пленка-подложка. Известно, что получение нитрида вольфрама требует высоких температур. Так, бедная азотом фаза W_2N образуется при азотировании при $T=825-875$ °С, а образование богатой азотом фазы WN_2 начинается только с $T=2500$ °С. Такие температуры неприемлемы для термонеустойчивых подложек. В случае ионно-лучевого распыления происходит стимулирование химических реакций за счет повышенной энергии частиц, в данном случае атомов вольфрама и азота, нахождения их в возбужденном состоянии и присутствия ионной компоненты. Образование фазы с низким содержанием азота W_2N мы наблюдали уже при комнатной температуре, а фаза WN_2 начинает образовываться при $T=400$ °С. Это делает возможным получение пленок нитрида вольфрама на термонеустойчивых подложках, что имеет большое значение из-за объединения этим материалом достоинств чистых металлов (высокая электропроводимость) и поликремния (термостабильность, химическая стойкость) и перспективности его использования в микроэлектронике в качестве материала контакта Шоттки, например, для затвора полевого транзистора.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] M o r g a n D.V., W o o d J. // Appl. Surf. Sci. 1989. N 38. P. 517-539.
- [2] U c h i t o m i N. et al. // J. Vacuum Science and Technology. B. 1986. V. 4. N 6. P. 1392-1397.
- [3] M u r a r k a S.P. // J. Vacuum Science and Technology. 1986. V. 4. N 6. P. 1325-1331.
- [4] Д о б р ы н и н А.В. и др. // Зар. Эл. Техн. 1989. № 4. С. 44-84.
- [5] M u r a k a m i M. // J. Appl. Phys. 1988. V. 64. N 4. P. 1974-1982.
- [6] M u r a k a m i M. // J. Appl. Phys. 1987. V. 62. N 8. P. 3288-3294.
- [7] Г а л а н и н С.Г., М и ч н и к М.Л., Н а з а р о в А.И., О р л о в Ю.В., П о т е м к и н А.Ю., Ч е р н я к Е.Я. // Электронная промышленность. 1990. № 10. С. 85-88.

Поступило в Редакцию
23 июня 1992 г.