

Д. т. н. А. Ф. БЕЛЯНИН, д. ф.-м. н. М. И. САМОЙЛОВИЧ,  
к. т. н. В. Д. ЖИТКОВСКИЙ, к. т. н. А. Л. КАМЕНЕВА

Россия, г. Москва, ЦНИТИ "Техномаш",  
г. Березники, Пермский гос. технический ун-т  
E-mail: samoylovich@technomash.ru, kameneva@pstu.ru

Дата поступления в редакцию  
05.07 2005 г.

Оппонент д. т. н. Ю. А. ЗАГОРУЙКО  
(Ин-т монокристаллов, г. Харьков)

## УДАРСТОЙКИЕ ЗАЩИТНЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ AlN В ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКЕ

*Для формирования защитного покрытия AlN, стойкого к воздействию ударных нагрузок, пригодны методы магнетронного и диодного распыления, а также распыления ионным пучком.*

Защитные покрытия элементов электронной техники изготавливают, как правило, многослойными, где каждый из слоев играет определенную роль. Например, в покрытии SiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, используемом в устройствах термопечати, слой SiO служит для защиты термопечатающих элементов от окисления, а слой Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> предохраняет от механического воздействия. Вместе с тем известные защитные покрытия не предохраняют от воздействия ударных нагрузок. Рассмотрению этой задачи и посвящена настоящая работа.

Для защиты различных элементов электронной техники в условиях воздействия ударных механических нагрузок наиболее перспективны тонкопленочные покрытия на основе AlN. Выбор AlN обусловлен его высокой твердостью (7—8 по шкале Мооса) и теплопроводностью (140...280 Вт/(м·К)), а также химической инертностью и, в частности, стойкостью к воздействию кислот и щелочей.

Пленочные покрытия AlN могут быть сформированы эпитаксией из паровой фазы, реактивной молекулярно-лучевой эпитаксией, магнетронным ВЧ- и на постоянном токе распылением, диодным реактивным ВЧ-распылением, распылением ионным пучком, а также ионной имплантацией азота в алюминиевое пленочное покрытие [1—4]. Ряд методов из вышеприведенных непригоден для получения защитных покрытий элементов электронной техники. Например, проведение эпитаксии из паровой фазы и реактивной молекулярно-лучевой эпитаксии связано с высокими (1300 К) температурами и применением монокристаллических подложек. В свою очередь ионная имплантация азота в Al требует нанесения сплошного пленочного покрытия алюминия (что приводит к короткому замыканию проводников).

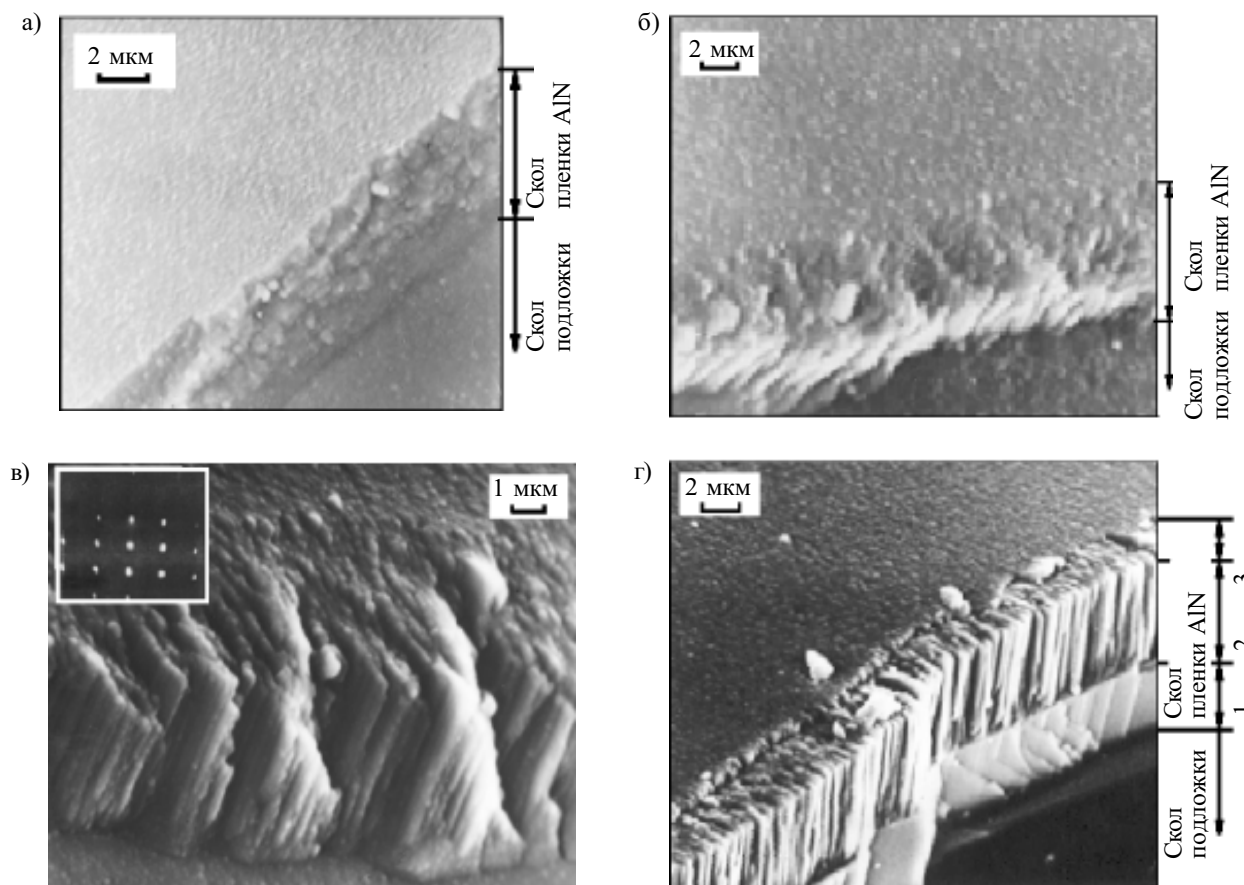
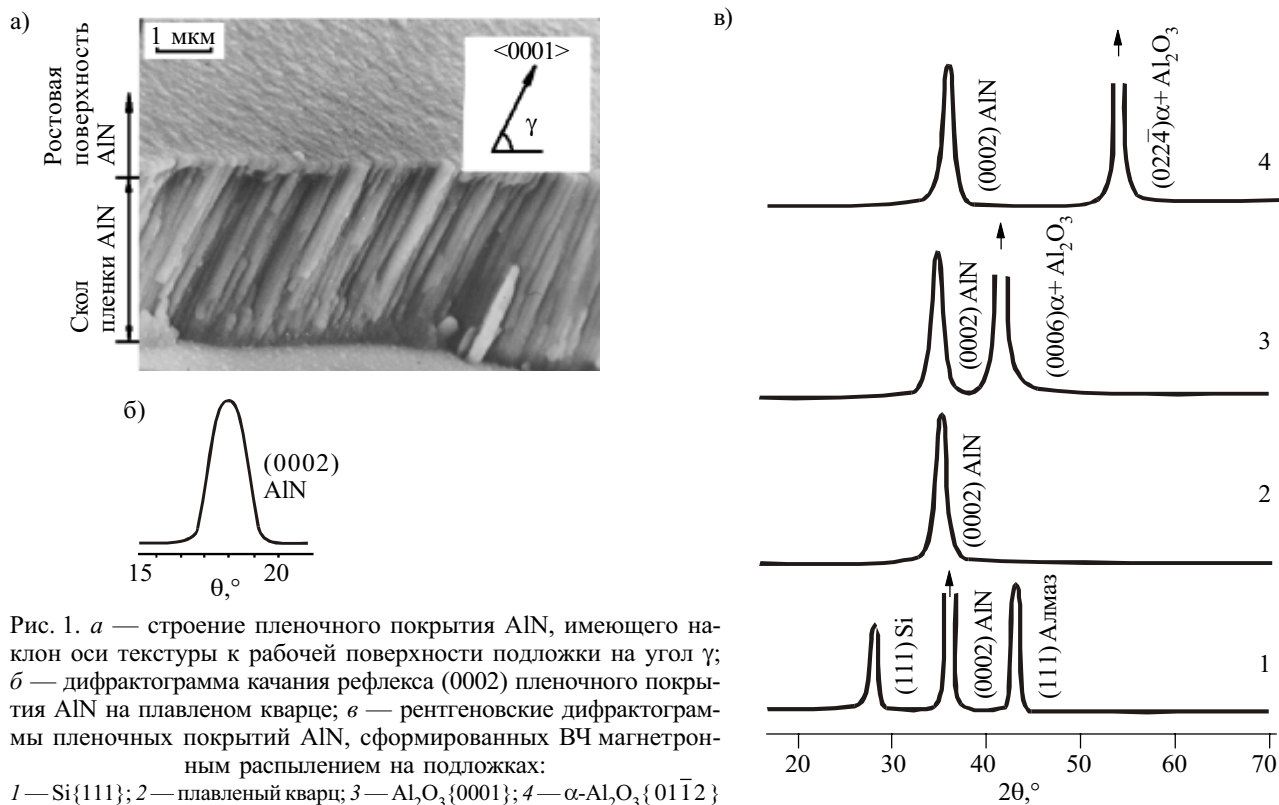
Для формирования защитного покрытия, стойкого к воздействию ударных нагрузок, пригодны методы магнетронного и диодного распыления, а также распыления ионным пучком [5—7]. Данные методы характеризуются направленностью потока пленкообразующих частиц и неравновесными условиями формирования пленочного покрытия. В зависимости от

условий проведения процесса это приводит к различной степени кристалличности (содержание кристаллической фазы в объеме пленочного покрытия,  $J$ ), а при определенных параметрах процесса — к образованию совершенных аксиальных текстур пленочных покрытий, проявляющихся у веществ с алмазоподобной решеткой в виде волокнистого строения. Для пленочных покрытий AlN (структура вюрцита) нормальный рост происходит в направлении  $\langle 0001 \rangle$ . При формировании AlN в неравновесных условиях ось текстуры всегда совпадает с направлением оси волокон (рис. 1, а).

В объеме пленочного покрытия формируются иглообразные зерна диаметром 0,2—1 мкм, вытянутые по направлению оси  $\langle 0001 \rangle$  текстуры. Метод магнетронного ВЧ-распыления позволяет получать текстурированные пленочные покрытия AlN, имеющие волокнистое строение, независимо от материала защищаемой поверхности (ситалл, металлические контакты, резистивный слой).

На рентгеновских дифрактограммах (рис. 1, б), снятых с пленочных покрытий AlN, в области брэгговских углов  $2\theta = 10...140^\circ$  наблюдаются дифракционные максимумы, соответствующие отражениям только (0002) и (0004) AlN ( $2\theta = 36,04^\circ$  и  $2\theta = 76,45^\circ$ ,  $Cu_{K\alpha}$ -излучение), которым соответствуют межплоскостные расстояния  $d/n$ , равные 0,2492 и 0,1246 нм. Отсутствие других отражений у всех полученных пленочных покрытий AlN обусловлено наличием текстуры роста с осью по  $\langle 0001 \rangle$ . Разориентация зерен относительно оси  $\langle 0001 \rangle$ , измеренная по дифрактограммам качения, находится в пределах  $0,5—2,5^\circ$  (рис. 1, б).

При малых скоростях осаждения пленочных покрытий, а также в отсутствие или при малой величине положительного электрического смещения на подложкодержателе, формируются пленочные покрытия, состоящие из равноосных разупорядоченных кристаллитов (рис. 2, а). Изменение условий синтеза способствует формированию кристаллитов в виде волокон (рис. 2, б). Угол разориентации смежных волокон в плоскости подложки невелик, поэтому в ряде случаев имеет место объединение соседних волокон, что характеризует еще большее упорядочение структуры пленочного покрытия и формирование ограниченной текстуры (рис. 2, в, на врезке представлена электронограмма, полученная на отражение). Строение поверхности образования и скола пленочного покрытия AlN, полученного на подложке из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (01  $\bar{1}2$ ), показыва-



ет (при соответствующих изменениях параметров процесса осаждения) переход пластинчатого строения в волокнистое и мелкозернистое с равноосными зернами (рис. 2, з).

Угол наклона оси текстуры ( $\gamma$ ) к рабочей поверхности подложки определяли по дифрактограммам качания. Угол наклона оси текстуры, зависящий только от направления потока пленкообразующих частиц, равен  $90^\circ$  (ось текстуры перпендикулярна рабочей поверхности подложки) для пленочных покрытий, сформированных на подложках, установленных против центра мишени.

Величина угла наклона оси текстуры к рабочей поверхности подложки зависит от конструкции магнетронного источника и взаимного положения подложки и мишени. Например, уменьшение угла наклона оси текстуры к рабочей поверхности подложки по мере удаления подложки от центра мишени составляет примерно  $1^\circ$  на 5 мм при дистанции "мишень — подложка" 60 мм, расстоянии 17 мм от центра мишени до внутреннего кольцевого ряда магнитов и 50 мм до внешнего кольцевого ряда магнитов.

Устойчивость текстурированных пленочных покрытий AlN к истирающим нагрузкам выше, чем у защитного покрытия на основе  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ . Она обеспечивается как при большой концентрации в защитном покрытии кристаллического AlN, так и при контакте термочувствительной бумаги с поверхностью защитного покрытия по наиболее твердому направлению кристаллической решетки AlN —  $\langle 0001 \rangle$  (в защитном покрытии на основе  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ , сформированном известными методами, текстура отсутствует). Наибольшая твердость AlN в направлении  $\langle 0001 \rangle$  объясняется тем, что указанное направление является направлением наиболее плотной упаковки его атомов в кристаллической решетке. Максимальный защитный эффект поликристаллического слоя при ударных и истирающих нагрузках достигается при расположении оси текстуры  $\langle 0001 \rangle$  и совпадающих с ней осей кристаллитов под углом  $\gamma > 75^\circ$  к плоскости подложки.

Повышение устойчивости к ударным нагрузкам игольчатой структуры зерен, ориентированных параллельно оси текстуры и параллельно действию ударных нагрузок, определяется рядом факторов. В кристаллах AlN со структурой вюрцита имеется две основных системы скольжения —  $\{10\bar{1}0\}$  и  $\{0001\}$ . Возможность участия той или иной системы скольжения в пластической деформации оценивается фактором Шмида ( $m$ ):  $m = \cos\varphi - \sin\alpha$ , где  $\varphi$  — угол между направлением нагрузки и нормалью к плоскости скольжения, а  $\alpha$  — угол между направлением нагрузки и сдвига. При совпадении направления удара и оси зерен (волокон) фактор Шмида для обеих систем скольжения равен нулю (в случае  $\{10\bar{1}0\}$   $\varphi=0$ ,  $\alpha=0$ , а для  $\{0001\}$   $\varphi=1$ ,  $\alpha=0$ ), тогда как при несовпадении направления удара и оси волокон фактор Шмида отличен от нуля. Если имеет место отклонение оси текстуры (оси волокон) от направления удара (нормаль к плоскости подложки) на  $10^\circ$ , фактор Шмида для системы скольжения  $\{0001\}/[11\bar{2}0]$  равен 0,15 (максимально возможное значение фактора Шмида 0,5). Поскольку образование трещин в хрупких те-

лах возможно на пересечении полос скольжения, возникновение пластической деформации в зонах механически стойких покрытий крайне нежелательно.

Помимо процесса пластической деформации и связанного с ним разрушения возможно хрупкое разрушение по границам зерен и по плоскостям спайности внутри зерен (плоскость спайности для кристаллов со структурой вюрцита  $\{10\bar{1}0\}$  параллельна направлению удара). Следует заметить, что отдельные волокна пленочного покрытия состоят из когерентных мелких волокон (размер области когерентного рассеяния пленочных покрытий AlN равен 40—60 нм). В случае пленочного покрытия, состоящего из равноосных кристаллов с той же текстурой по  $\langle 0001 \rangle$ , нагружение приводит к образованию сетки мелких трещин по плоскостям  $\{10\bar{1}0\}$  (которые являются как плоскостями спайности, так и границами таких зерен), а также к последующему окислению тонкопленочных проводников, выкрашиванию и полному истиранию защитного слоя.

В тонковолокнистом защитном слое, формируемом магнетронным ВЧ-распылением, промежутки между волокнами заполнены аморфной фазой AlN. Это подтверждается а) заниженными интенсивностями рефлексов (0002), несмотря на сильно выраженную текстуру; б) отсутствием гладких сколов, характерных для обычных мелкокристаллических пленочных покрытий (где разрушение идет в основном по спайности). В рентгеноаморфном пленочном покрытии обычно наблюдается гладкий раковистый скол, способный распространяться по всему тонкопленочному покрытию из-за изотропного строения. В рассматриваемом случае структура пленочного покрытия представляет композит, армированный тонкими игольчатыми волокнами с сильно шероховатой боковой поверхностью, промежутки между которыми полностью заполнены когерентной с ними аморфной фазой.

**В**ыход из строя при работе с ударными нагрузками таких элементов электронной техники, как термопечатающие головки, обусловлен растрескиванием и отслоением защитного покрытия. Наклон оси текстуры, совпадающей с осью зерен пленочного покрытия, к рабочей поверхности подложки на угол меньше  $75^\circ$  приводит к резкому увеличению пластической деформации и выходу термопечатающей головки из строя при растрескивании защитного покрытия и связанным с ним процессом окисления тонкопленочных проводников и резисторов. Разрушение по спайности может происходить не только при механических ударах, но и при термоциклах, что нежелательно для термопечатающих головок, работающих только на истирание.

При толщине защитного покрытия  $< 1$  мкм термопечатающая головка (ТПГ) выходит из строя в результате хрупкого разрушения, происходящего, очевидно, из-за невысокой степени кристалличности и, как следствие этого, недостаточно яркой выраженности игольчатого (волокнистого) строения, проявляющейся на ранней стадии формирования текстуры. При толщине защитного покрытия более 10 мкм ТПГ через 20—40 часов выходят из строя в результате растрескивания и отслаивания защитного покрытия по

причине увеличения внутренних напряжений в пленочном покрытии и достижении критической величины при толщине пленочного покрытия примерно 10 мкм.

В качестве защитных покрытий устройств термопечати могут быть использованы пленочные покрытия AlN, входящие в состав многослойных структур.

Таблица 1  
Параметры получения защитных покрытий для термопечатающих матриц

Слой	Давление P, Па	Состав газовой смеси C	Расстояние "мишень—подложка" H, мм	Температура разогрева T <sub>п</sub> , К	U <sub>см</sub> , В
AlN <sub>ам</sub>	0,8	60 об.% N <sub>2</sub> + 40 об.% Ar	90	573 (473*)	-50
AlN <sub>кр</sub>	0,8	60 об.% N <sub>2</sub> + 40 об.% Ar	90	573 (473*)	+45
Al <sub>2</sub> O <sub>3 ам</sub>	0,8	60...70 об.% O <sub>2</sub> + 40...30 об.% Ar	90	573 (473*)	-50

\*Для защитного покрытия ТТМ-28.

Многослойные защитные покрытия получали последовательным нанесением на поверхности термопечатающих матриц [8] слоев аморфных AlN и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (AlN<sub>ам</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3ам</sub>), а также кристаллического AlN (AlN<sub>кр</sub>) с внутренним волокнистым строением слоя. Четырехслойное защитное покрытие AlN<sub>ам</sub>/AlN<sub>кр</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3ам</sub>/AlN<sub>кр</sub> тонкопленочных термопечатающих матриц (ТТМ) формировали ВЧ-распылением Al-мишени. В процессе распыления последовательно устанавливали газовую смесь из Ar+N<sub>2</sub> или Ar+O<sub>2</sub> и отрицательное или положительное электрическое смещение на подложкодержателе (U<sub>см</sub>) (табл. 1). Слой AlN<sub>ам</sub> (толщина 0,2—0,4 мкм, теплопроводность λ≈200 Вт/(м·К)) обеспечивал адгезию многослойного покрытия и защиту Ta-резисторов термопечатающей матрицы от окисления при осаж-

дении Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Слой аморфного Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,2—0,4 мкм, λ≈13 Вт/(м·К)) фокусировал тепловые потоки от Ta-резисторов, обеспечивая качество печати. Качество печати регулировали также созданием в слое AlN<sub>кр</sub> прослойки из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·AlN толщиной 0,4 мкм, формируемой распылением Al в газовой смеси Ar+O<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>.

Механическим напряжением защитного покрытия и его износостойкостью управляли изменяя степень кристалличности (J) формируемых слоев AlN<sub>кр</sub> (толщина 1,0—1,5 мкм и 2,6—3,6 мкм, λ=200...280 Вт/(м·К)). Ориентация зерен кристаллической фазы соответствовала направлению воздействия механических нагрузок в процессе эксплуатации матрицы. Суммарная толщина защитного покрытия термопечатающей головки определялась условиями формирования резисторов и проводников.

Защитные покрытия наносились с использованием модернизированных промышленных установок УВН-62П-3, КАТОД-1М [4] и специально разработанной установки, оснащенной цилиндрическим магнетроном, ПЛАЗМА-3МЦ [1]. Микросхемы изготавливались на ситалловых подложках со слоем TaAlO<sub>y</sub>. Слой TaAlO<sub>y</sub> получали окислением металлического пленочного покрытия с градиентом состава по толщине от Al до Ta, сформированного распылением составной мишени (Al+Ta, 1:1 по поверхности). Суммарная толщина защитного покрытия должна обеспечивать Δh=2,5 мкм (рис. 3, а).

Применение процесса анодирования позволило уменьшить (по сравнению с процессами травления) высоту ступеней на поверхности матрицы до 0,3—0,5 мкм при суммарной толщине Al-проводников и Ta резистивного слоя, равной 2 мкм, а следовательно, и минимально необходимую толщину защитного покрытия, суммарное значение которой составляло 3—5 мкм (рис. 3, б). Строение скола слоя Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, полученного методом анодирования, показано на рис. 4.

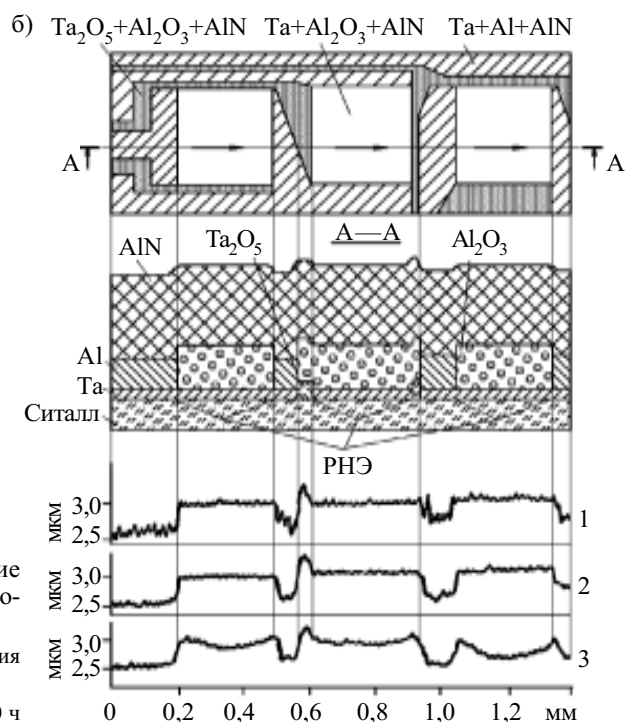
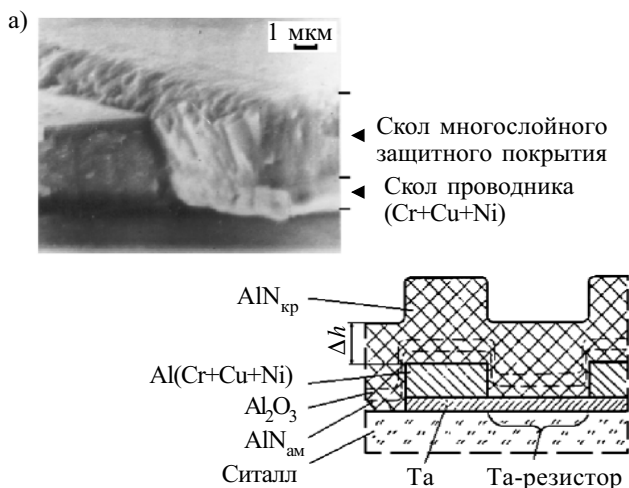


Рис. 3. Электронно-микроскопический снимок и строение фрагментов поперечных разрезов ТТМ, в которых резисторы и проводники сформированы:

а — методом химического травления; б — методом анодирования (РНЭ — резистивный нагревательный элемент)

1 — до начала эксплуатации; 2 — через 100 ч; 3 — через 600 ч

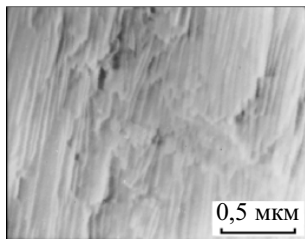


Рис. 4. Электронно-микроскопический снимок скола слоя  $Al_2O_3$ , сформированного электролитическим окислением Al

Результаты испытаний работоспособности многослойных защитных покрытий, нанесенных магнетронным распылением, представлены в табл. 2.

Формирование слоев  $AlN_{ам} + Al_2O_3_{ам} + AlN_{кр}$  защитного покрытия ТГМ-28 для термопечатающих матриц проводилось при  $T_{п} < 473$  К в связи с применением сплава Sn–Bi (температура плавления 503 К), наносимого на контактные площадки.

Проведены испытания матриц в условиях воздействия ударных нагрузок: частота ударов термопечатающей головки 20 Гц; давление, действующее на поверхность ТПГ в момент ее контакта с теплочувствительной бумагой  $3 \cdot 10^2$  кПа; длительность импульса печати 10 мс. Эксплуатация указанных матриц строчного типа осуществлялась при скорости печати 21 знак/с, давлении прижима  $0,3 \cdot 10^2$  кПа, длительности импульса печати 15 мс. Танталовые резисторы в процессе эксплуатации матриц разогревались до 573 К.

В результате испытаний было обнаружено, что после эксплуатации в течение 600 ч уменьшение толщины защитного покрытия составляет <15%. Изменение электрического сопротивления Та-резистора в конце испытаний не превышает +10%. После 600 ч эксплуатации ( $4,3 \cdot 10^7$  циклов печати) матрица остается работоспособной (рис. 3, б). Ресурс работы испытуемых матриц с защитным покрытием из AlN толщиной 2,5—3 мкм более чем в 200 раз превышает ресурс работы аналогичных матриц, выполненных с двухслойным защитным покрытием на основе  $SiO_2$  (2,5 мкм) и  $Al_2O_3$  (2,5 мкм). За время испытаний (>600 ч) изменений в защитном покрытии не обнаружено.

Испытания показали, что матрицы с защитным покрытием на основе AlN работоспособны в диапазоне температур от 213 до 355 К и влажности 80—90% [9]. Использование покрытия в составе термопечатающих матриц позволило увеличить срок служ-

Таблица 2

Результаты испытаний работоспособности покрытий  $AlN/Al_2O_3/AlN$  устройств термопечати

Толщина покрытия, мкм			Время наработки, ч	Размытие пятна при печати, %	Примечание
AlN	$Al_2O_3$	AlN			
0,2	0,1	2	>250	65	—
0,2	0,2	2	>250	15	—
0,2	0,4	2	>250	12	—
0,2	0,5	1,5	—	—	Отслаивание защитного покрытия в процессе нанесения
0,2	0,3	0,8	15	16	Разрушение ТПГ из-за растрескивания и выкрашивания защитного слоя

бы термопечатающих устройств примерно в 3 раза. Нанесение многослойного защитного покрытия на основе AlN (вместо  $SiO_2/Si/Si_3N_4$ ) на матрицы с мезоструктурой увеличило их ресурс более чем в 2 раза.

Была рассмотрена возможность получения защитных покрытий на основе AlN для измерительных датчиков.

Проведенный анализ показал, что пленочные покрытия, осажденные методами распыления, содержат рентгеноаморфную фазу, состоящую, по результатам оже-электронной спектроскопии (оже-электронный микроанализатор электронного микроскопа TESLA BS-350), из азота и алюминия (1:1). Степень кристалличности пленочных покрытий AlN в зависимости от условий проведения процесса осаждения изменяется от 0 (аморфные пленочные покрытия) до 100%. Сформированные магнетронным распылением пленочные покрытия AlN имеют волокнистое (столбчатое) строение с ориентированием волокон по <0001>, соответствующему направлению оси текстуры (рис. 5). Рентгеноаморфная фаза пленочных покрытий заполняет промежутки между волокнами.

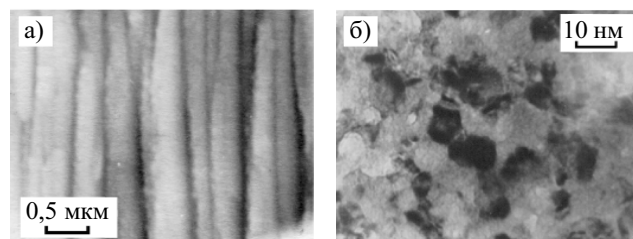


Рис. 5. Строение пленочных покрытий AlN, используемых в качестве защитных покрытий датчиков:

а — поперечный скол пленочного покрытия толщиной 5 мкм (растровая электронная микроскопия); б — пленочное покрытие толщиной 30 нм (просвечивающая электронная микроскопия)

Для практического применения в качестве защитных покрытий измерительных датчиков требуются пленочные покрытия со степенью кристалличности 50—60 об.%. С защитным покрытием из поликристаллического, текстурированного по <0001> AlN были изготовлены датчики линейных и круговых микроперемещений [10, 11], которые устанавливались в координатных механизмах и устройствах позиционирования для объектов микроэлектроники. Изготовленные датчики работали с трением и без трения. Толщина наносимого слоя AlN подбиралась таким образом, чтобы она соответствовала максимуму пропускания на рабочей длине волны и составляла  $\lambda_0 = 0,3 \dots 0,5$  мкм. Зависимость оптического пропускания ( $\tau$ ) от  $\lambda_0$  стекла К-8, используемого для изготовления оптических растров, и стекла К-8 с пленочным покрытием AlN толщиной 1 мкм приведена на рис. 6.

Изготовленные растры имели различные геометрические размеры и представляли собой оптическое стекло с нанесенной на него сеткой полос из Cr (толщина 0,1 мкм, минимальная ширина 2 мкм и шаг 4 мкм, рис. 7). Область с сеткой полос Cr покрывалась защитным пленочным покрытием AlN.

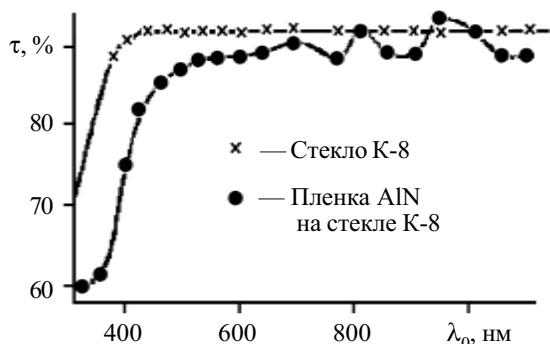


Рис. 6. Зависимость оптического пропускания от длины волны для образцов из стекла и стекла с пленочным покрытием AlN

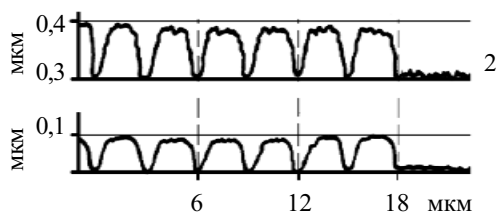


Рис. 7. Профилограммы поверхности раstra: 1 — полосы Si на плавленом кварце; 2 — та же структура с пленочным покрытием AlN

У датчика, работающего с трением, растры находятся в контакте. Ресурс работы измерительных растров без защитного покрытия, работающих с использованием иммерсионной жидкости, — 12 часов. С защитным пленочным покрытием на основе AlN ни один растр не вышел из строя после эксплуатации в течение более 200 ч. Ресурс работы в  $10^6$  перемещений растров в две стороны с амплитудой 5 мм (усилие прижима растров 0,1 кПа) не приводит к видимым изменениям защитного покрытия. Разрешающая способность устройства — 0,1 мкм.

Аналогичная конструкция, предназначенная для работы в режиме без трения, была использована в датчике линейного перемещения фотоприемного устройства измерителя апертуры световодов Фотон-3-02. Размеры датчика 17×45 мм, размеры элементов датчика  $3 \times 0,05 \pm 0,002$  мм, шаг между элементами датчика от 0,209 до 2,8 мм. Пластины датчика перемещаются с зазором 0,1 мм.

Нанесение защитных покрытий проводили при следующих условиях:  $P=0,8$  Па,  $C_{N_2}=60$  об.%,  $H=90$  мм,  $T_{II}=473$  К. Использовались модернизированные установки УВН-62П-3 и КАТОД-1М. Защитное покрытие AlN (как аморфного, так и кристаллического строения) позволило довести гарантийный срок службы устройства до  $2 \cdot 10^4$  ч при нормальных условиях эксплуатации в не защищенной от пыли среде.

Для сопоставления были исследованы защитные пленочные покрытия SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которые наносились методом электронно-лучевого испарения на установке УВН-2М-1. Полученные пленочные покрытия были рентгеноаморфными или мелкокристаллическими с величиной областей когерентного рассеяния рентгеновских лучей (ОКР) 2—4 нм и, по данным электронной микроскопии, не имели внутреннего волокнистого строения. Толщина нарощенных пленочных покрытий SiO<sub>2</sub> составляла 0,5—1,5 мкм, а Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 2,5—5 мкм при суммарной толщине защитного покрытия 4—6 мкм.

Испытания показали, что в условиях воздействия истирающих нагрузок целостность защищаемых элементов с защитным покрытием на основе AlN намного превышает аналогичные параметры устройств с защитным покрытием из SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — материалов, превосходящих AlN по микротвердости. В табл. 3 приведены покрытия, используемые для защиты от истирания [12].

Таблица 3

Состав и свойства покрытий, используемых для защиты от истирания

Состав защитного покрытия	Толщина защитного покрытия, мкм	Максимальная толщина слоя Si, мкм	Наличие текстуры	Строение защитного покрытия	Наклон оси текстуры, °	Работа при максимальной нагрузке, ч	Особенности поведения при максимальной нагрузке
AlN	2,1	1	Аксиальная <0001>	Волокнистое	82	>250	—
AlN	9,5	1	То же	То же	75	>250	—
AlN	11	1	"	"	80	26	Растрескивание и отслаивание
SiO+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,4 (0,5+4,9)	1	—	Рентгеноаморфное	—	16	То же
SiO+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4 (1,5+2,5)	1	—	Равноосные зерна	—	20	"
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,3 (2,5+3,8)	1	—	То же	—	12	"
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,7 (0,5+6,2)	1	—	Рентгеноаморфное	—	8	"

**Заключение**

Использование защитного покрытия ТТМ-28 на основе AlN в составе термопечатающих матриц позволило увеличить срок службы термопечатающих устройств почти в 3 раза. Нанесение многослойного защитного покрытия на основе AlN (вместо SiO<sub>2</sub>/Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) на матрицы с мезаструктурой увеличило их ресурс более чем в 2 раза. Защитное покрытие AlN (как аморфного, так и кристаллического строения) позволило довести гарантийный срок службы устройства до 2·10<sup>4</sup> ч при нормальных условиях эксплуатации в не защищенной от пыли среде.

Для обеспечения комплекса необходимых свойств термопечатающих матриц (направленность теплоотвода, износостойкость, электросопротивление, защита от окисления и др.) необходимо формировать многослойное покрытие, содержащее не только слои различных материалов, но и одного материала различного строения.

Формирование пленочных покрытий AlN, содержащих заданное количество ориентированной (текстура) кристаллической фазы, позволяет на порядок повысить износостойкость элементов электронной техники по сравнению с защитными материалами, имеющими большую твердость.

**ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ**

1. Белянин А. Ф., Самойлович М. И. Пленки алмаза и алмазоподобных материалов: формирование, строение и применение в электронике / В кн.: Высокие технологии в промышленности России (материалы и устройства электронной техники).— М.: ОАО ЦНИТИ «Техномаш», 2003.— С. 19—110.
2. Белянин А. Ф., Житковский В. Д., Пашенко П. В. Пленки нитрида алюминия: получение, строение и применение в устройствах электронной техники // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания.— 1998.— Вып. 1.— С. 29—37.

3. Белянин А. Ф., Бульенков Н. А., Тер-Маркарян А. А. и др. Структурные особенности пленок нитрида алюминия, полученных высокочастотным магнетронным распылением // Техника средств связи. Сер. ТПО.— 1983.— Вып. 1.— С. 41—45.

4. Белянин А. Ф. Применение в электронной технике легированных пленок ALN, выращенных ВЧ-магнетронным распылением // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания.— 2002.— № 1-2.— С. 74—82.

5. Каменева А. Л., Житковский В. Д., Александров Д. В., Самойлович М. И. Изучение физико-химического взаимодействия на границах раздела фаз в слоистых материалах и покрытиях / Тр. XI междунар. науч.-техн. конф. «Высокие технологии в промышленности России».— Москва.— 2003.— С. 158—167.

6. Каменева А. Л., Александров Д. В., Белянин А. Ф. и др. Пленки ALN, ZrN, TiZrN: технологические особенности формирования / Тр. II Межрегион. семинара «Нанотехнологии и фотонные кристаллы».— Калуга.— 2004.— С. 232—249.

7. Каменева А. Л., Александров Д. В., Белянин А. Ф. и др. Структурные и морфологические особенности упрочняющих покрытий, получаемых методами магнетронного распыления и вакуумного испарения / Там же.— С. 126—168.

8. Belyanin A. F., Bouilov L. L., Zhirnov V. V. et al. Application of aluminium nitride films for electronic devices // Diamond and Related Materials.— 1999.— Vol. 8.— P. 369—372.

9. Белянин А. Ф., Самойлович М. И., Семенов А. П. Пленки алмаза и алмазоподобных материалов: формирование, строение и применение в электронике / В кн.: Материалы, оборудование и технологии нанoeлектроники и микрофотоники.— Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2003.— С. 77—180.

10. Самойлович М. И., Белянин А. Ф., Житковский В. Д., Багдасарян А. С. Наноструктурные углеродные материалы в тонкопленочной технологии // Инженерная физика.— 2004.— № 1.— С. 37—56.

11. Белянин А. Ф., Самойлович М. И., Александров Д. В. и др. Пленочные покрытия на основе AlN для оптических датчиков / Тр. Междунар. науч.-практ. конф. «INTERMATIC-2004».— Москва.— 2004.— С. 54—56.

12. Белянин А. Ф., Самойлович М. И., Александров Д. В. и др. Многослойные защитные покрытия термопечатающих матриц на основе AlN / Там же.— С. 50—53.

**ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ**

**ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**



**КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО  
ЭЛЕКТРОНИКИ**

**1 декабря 2005 г., Москва, конференц-центр «Экстрополис»**

Уважаемые господа, приглашаем Вас принять участие во второй Всероссийской конференции «Контрактное производство электроники в России». За два года рынок контрактного производства в России качественно изменился, и если первая конференция проходила во время зарождения рынка, то к настоящему времени определились позиционирование и стратегия участников рынка, сформировались бизнес-альянсы, конкурентные противостояния. Мы приглашаем Вас обсудить новые возможности и проблемы рынка контрактного производства электроники, обменяться опытом с коллегами и партнерами, вместе с ведущими контрактными производителями России обсудить реализацию перспективных проектов.

*Иван Покровский, директор ИД "Электроника"*

**ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ: тел/факс: (095) 741-7701; 741-7702; e-mail: conf@ecomp.ru; www.elcp.ru**