

## МЕТОДЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 539.231

В. Н. Гаштольд, С. А. Кутолин, Л. М. Шакарян,  
Л. Ф. Белова, Г. М. Комарова

### ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОК КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА МЕТОДОМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РЕАКТИВНОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Исследованы элементы технологии получения пленок кубического нитрида бора на различных подложках. Существующими физико-химическими методами идентифицирована структура, свойства таких пленок и МДП структур. Обсуждается механизм перехода между гексагональной и кубической модификациями BN, идентифицированы свойства оксинитридов бора. Обнаружен эффект «памяти» на структурах BN-SiO<sub>2</sub>-Si. Методом планарной технологии на основе структуры BN-SiO<sub>2</sub>-Si получены сэндвич-транзисторы. Предполагается возможность получения более плотных модификаций пленок неорганических материалов в условиях высокочастотного распыления без применения высоких давлений и температур.

Исследованию процессов термического получения, изучению физико-химических свойств и применению нитридов лития, алюминия, галлия, кремния, нитридов переходных металлов посвящены наши предыдущие работы [1—7].

Процесс получения пленок нитрида кремния методом реактивного распыления на постоянном токе приводил, по нашим данным, к синтезу материала определенного состава [8], структура которого зависит от способа получения. Хотя «электронная» температура получения пленок методом реактивного распыления и велика, тем не менее температура газовой среды в процессе распыления несущественно отличается от 300°K [11].

Для получения пленок нитрида бора методом распыления аморфного бора в атмосфере азота применялось высокочастотное реактивное распыление.

Применение диэлектрических пленок нитрида бора, обладающих высокой термической стойкостью, перспективно не только в отношении пассивации полупроводниковых приборов [12], но и для получения МДП структур, используемых при изготовлении полевых транзисторов и элементов памяти [9—10]. В настоящей работе излагается способ получения пленок нитрида бора методом высокочастотного реактивного распыления и методика контроля физико-химических свойств получаемых пленок и МДП структур; обсуждаются возможности их применения.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для получения пленок использовалась установка ВЧ распыления, собранная на базе вакуумного агрегата ВА-05-4. Схема рабочей камеры представлена на рис. 1. ВЧ электрод присоединен к высокочастотному источнику питания через разделительный конденсатор, позволяющий осуществлять распыление полупроводников и металлов. Конденсатор препятствует протеканию тока в цепи и, вследствие этого, на ВЧ электроде образуется отрицательное смещение. Частота применяемо-

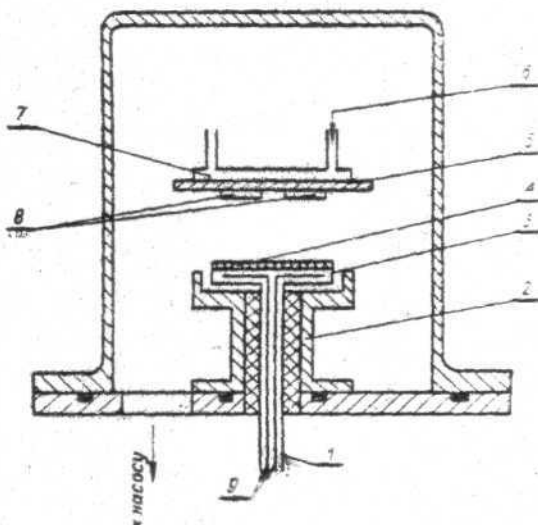


Рис. 1. Схема установки высокочастотного реактивного распыления.

1 — к ВЧ источнику мощности; 2 — экран; 3 — ВЧ электрод; 4 — разделяемая мишень; 5 — печь подогрева подложки; 6 — охлаждение водой; 7 — держатель подложки; 8 — подложка; 9 — охлаждение водой

го электрического напряжения составляла  $13,5 \text{ Мгц}$ . В установке такого типа ВЧ тлеющий разряд может устанавливаться при остаточном давлении  $(1 \pm 2) \cdot 10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$  Приложение магнитного поля ( $\approx 15 \text{ гс}$ ), перпендикулярного мишени, позволило уменьшить остаточное давление в системе до  $1 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$

Азот, подаваемый в систему, очищался от механических примесей, влаги, кислорода (до 0,001% об.) по методике, описанной в работе [8]. В качестве материала, содержащего бор, использовался бор аморфный квалификационной чистоты (сорт 1).

Для обезгаживания стенок камеры и подколпачной арматуры использовалась ртутно-кварцевая лампа типа ПРК-2. Предварительная УФ обработка подложки способствовала улучшению адгезии в системе подложка — напыляемая пленка, что согласуется с данными работы [13].

Для изучения свойств МДП систем с целью получения на их основе полевых транзисторов применялись методы планарной технологии.

В качестве подложек для нанесения пленок нитрида бора применялись сколы хлористого натрия (111) или пластины монокристаллического кремния КДБ-0,5, КЭФ-7,5, вырезанные по плоскостям (111) и (100).

Для идентификации физико-химических свойств пленок использовались следующие методы контроля. Измерение толщины пленок осуществлялось методом интерференции на МИИ-4. Кроме того, по интерференционным экстремумам пропускания и отражения в соответствующей спектральной области [14, 16] на спектрометрах СФ-10 и UR-20 определялась не только толщина, но и показатель преломления пленки. Показатель преломления чистой подложки ( $n_2$ ) и пленки ( $n$ ), нанесенной на подложку, а также толщина пленки из спектроскопических данных оценивались по формулам (1)–(3), приведенным в работах [23–25], справедливость которых апробирована на большом экспериментальном материале:

$$T_{\lambda} = \frac{2 n_2}{n_2^2 + 1}, \quad (1)$$

$$T_{\min} = \frac{4 n_2 n_0 n^2}{(n^2 + n_2 n_0)^2}; \quad (2)$$

$$d = \frac{m}{2(\sigma_2 - \sigma_1)n}, \quad (a) \quad (3)$$

$$d \approx \frac{m \lambda}{2n}, \quad (б) \quad (3)$$

- где  $T_{\lambda}$  — пропускание чистой подложки на длине волны;  
 $T_{\min}$  — минимум пропускания;  
 $n_0 n_2 n$  — показатели преломления окружающей среды (воздух), подложки и пленки соответственно;  
 $m = \left[ \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{\Delta \lambda} \right]$  — порядок интерференционного максимума;  
 $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  — полные числа.

В таблице 1 приведены сравнительные данные определения толщины пленок нитридов алюминия и бора на кремнии методом интерференции на МИИ-4 (3б) и по спектроскопическим данным (3а).

Таблица 1

Определение толщины пленок

Шифр пленки	Материал пленки	Толщина пленки (измерения на МИИ-4), Å	Показатель преломления ( $\lambda = 0,54 \text{ мк}$ )	Толщина пленки по спектроскопическим данным, Å
$\lambda - 63$	нитрид алюминия	$5400 \pm 300$	2,20	$5550 \pm 50$
$\tau - 1$	нитрид алюминия	$8100 \pm 300$	2,20	$8690 \pm 50$
НТ-144	нитрид кремния	$2000 \pm 300$	2,05	$2480 \pm 50$
В - 55	нитрид бора	$9500 \pm 300$	1,88	$4330 \pm 50$
			1,90	
В - 58	нитрид бора	$12500 \pm 300$	1,88	$12600 \pm 50$
			1,90	

Электронные и молекулярные спектры поглощения исследуемых материалов регистрировались в спектральном диапазоне 0,2—25,0 мк методом зеркального и диффузного отражения на спектрометрах типа СФ-4А с приставками ПЗ0-1 и ПДО-1, а спектры поглощения на спектрометре UR-20. Кристаллооптические характеристики пленок контролировались на поляризационном микроскопе МИН-8. В распоряжении исследователей находились иммерсионные наборы жидкостей от 1,398 до 2,100 (тип ИЖ-1, ВИЖ). Структура пленок контролировалась электронографическим методом на электронографе ЭГ-100А при ускоряющем напряжении 80 кВ.

Исследовалась химическая стойкость пленок нитрида бора относительно кипящей воды и минеральных кислот, например, плавиковой.

Электрофизические свойства пленок нитрида бора контролировались по ранее описанным методикам [3, 7, 8], что позволяло достаточно точно определять диэлектрическую постоянную, тангенс потерь, удельное сопротивление; С-V-характеристики МДП структур снимались на установке, описанной в работе [15]. В качестве контактов в исследуемых структурах использовался алюминий марки АВ-000.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Свойства пленок нитрида бора, получаемых высокочастотным реактивным распылением, существенно зависят от удельной мощности разряда.

При удельной мощности разряда  $0,85 \text{ вт/см}^2$  полученные пленки нитрида бора взаимодействуют с водой, видимо, с образованием гидратированных оксинитридов бора. Эти пленки имеют показатели преломления в интервале значений  $1,560-1,630$ ; инфракрасные спектры поглощения таких пленок характеризуются наличием значительного числа размытых полос поглощения в области  $500-800 \text{ см}^{-1}$ , а на электронограммах присутствует несколько диффузных линий. Диэлектрическая постоянная таких пленок на частоте  $10^3 \text{ гц}$  не превышает  $\epsilon=2,4-2,7$ , т. е. практически имеет место  $\epsilon=n^2$ , а тангенс диэлектрических потерь таких пленок  $\text{tg}\delta=(2+3) \cdot 10^{-2}$ .

Пленки нитрида бора, получаемые в диапазоне мощностей реактивного разряда  $1,0-2,0 \text{ вт/см}^2$ , не взаимодействуют с кипящей водой, концентрированной плавиковой и серной кислотами. В кипящей фосфорной кислоте при температуре  $180^\circ \text{C}$ , такие пленки нитрида бора травятся со скоростью порядка  $1000^\circ \text{Å/мин}$ .

Таблица 2

Электронограмма пленки нитрида бора, получаемой ВЧ реактивным распылением

hkl	$d_{\text{экспер}}$	$d_{\text{теор}}$	$I_{\text{набл}}$	$I_{\text{теор}}$
—	3,47	—	ср.	
111	2,11	2,07	о. с.	236
200	1,81	1,81	о. о. сл.	10
220	1,258	1,262	с.	77
311	1,086	1,081	ср.	47
222		1,045		5
400	0,902	0,909	о. о. сл.	5
331	0,824	0,823	сл.	47
442	0,729	0,731	сл.	30
440	0,632	0,633	о. о. сл.	10

2. Электронографическое исследование структуры этих пленок позволило (табл. 2) обнаружить присутствие кубической модификации нитрида бора с параметром решетки  $a=3,58 \pm 0,02 \text{ Å}$  (расчетная плотность  $D_x=3,66 \text{ г/см}^{-3}$ ). Анализ электронограмм пленок нитрида бора, получаемых на подложках монокристаллов кремния и сколах хлористого натрия, обнаруживал в этих условиях присутствие линии с  $d=3,47 \text{ Å}$ , характеризующей расстояние между слоями в решетке нитрида бора в мезографитной форме. Интенсивность этой линии существенно уменьшалась по мере увеличения толщины (до  $1,2-1,3 \text{ мк}$ ) наращиваемой пленки нитрида бора. По мере роста толщины пленки нитрида бора от  $0,3 \text{ мк}$  до  $1,2 \text{ мк}$  в ИК области спектра наблюдалось смещение деформационного и валентного поглощения связей В—N в коротковолновую область (рис. 2). Поскольку интенсивность линии нитрида бора с  $d \approx 3,47 \text{ Å}$  на электронограммах уменьшается по мере роста толщины пленки, можно полагать, что полосы поглощения связи В—N для толщины пленки  $1,2 \text{ мк}$  в ИК области спектра принадлежат валентному и деформационному колебаниям связи В—N кубической модификации нитрида бора. Смещение полос поглощения в коротковолновую часть ИК спектра для кубической модификации по сравнению, например, с мезографитной не может

быть интерпретировано увеличением координационного числа бора при переходе BN(графит)  $\rightarrow$  BN(алмаз), т. к. в этом случае наблюдалось бы как раз обратное явление, т. е. смещение полос поглощения в длинноволновую часть ИК спектра.

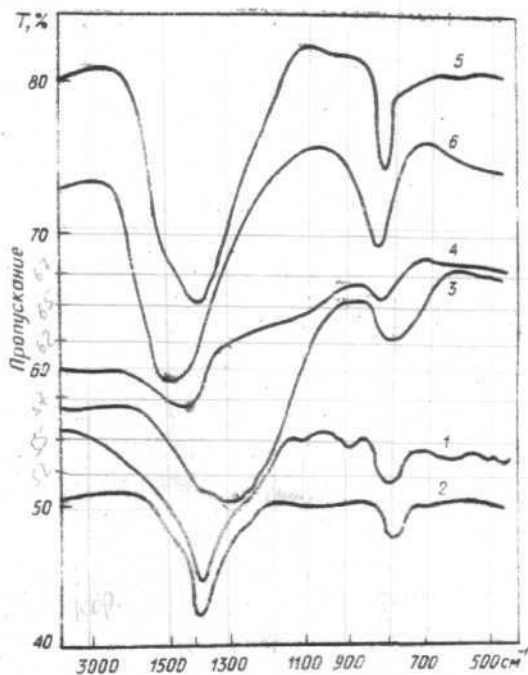


Рис. 2. ИК-спектры поглощения образцов нитрида бора:

1 — пленка оксинитрида бора ( $d=0,24$  мк, полосы поглощения:  $475$   $см^{-1}$ ,  $495-500$   $см^{-1}$ ,  $780-785$   $см^{-1}$ ,  $910$   $см^{-1}$ ,  $1105$   $см^{-1}$ ,  $1395$   $см^{-1}$ ); 2 — пленка нитрида бора мезографитной модификации ( $d=0,4$  мк; полосы поглощения:  $795$   $см^{-1}$ ,  $1395$   $см^{-1}$ ); 3 — вюрцитная модификация поликристаллического BN (ИПМ АН УССР, г. Киев); 4 — кубическая модификация поликристаллического BN (ВНИИАШ, г. Ленинград); 5 — пленка нитрида бора, содержащая смесь мезографитной и кубической модификации ( $d=0,9$  мк); 6 — пленка кубического нитрида бора ( $d=1,2-1,3$  мк, полосы поглощения:  $815-820$   $см^{-1}$ ,  $1500$   $см^{-1}$ )

В нашем распоряжении (табл. 3) находились поликристаллические образцы нитрида бора вюрцитной и кубической ( $a=3,62 \pm 0,01$  Å) модификаций\*. Анализ связи B—N в ИК спектрах поглощения нитридов бора позволяет обнаружить (см. рис. 2) отчетливое смещение в коротковолновую область спектра, изменение формы, симметрии и особенности разрешения полос поглощения B—N в системах  $BNO_x \rightarrow (BN)_{гекс} \rightarrow (BN)_{вюрцит} \rightarrow (BN)_{куб}$ . Следует отметить, что ИК спектры вюрцитной модификации ИПМ АН УССР, получаемой взрывом, резко отан-

\* Образцы нитрида бора типа вюрцита с параметрами решетки:  $a=2,55 \pm 0,01$  Å,  $c=4,24 \pm 0,01$  Å (наши данные) были получены в условиях динамического сжатия и любезно предоставлены авторам сотрудником ИПМ АН УССР И. Г. Чернышом. Им же были предоставлены нам образцы кубонита (г. Ленинград, ВНИИАШ).

чаются от вюртцитной модификации BN, полученной при ударном сжатии в работе [19], полосы поглощения для которой близки к полосам поглощения пленок оксинитридов бора (см. рис. 2), имеющих показатель преломления  $n = 1,560 - 1,630$ . Следует полагать, что молекулярное строение таких комплексов бора с кислородом и азотом может быть интерпретировано структурными единицами вида  $B-N=O$  или  $B-ONO$ , которые, как известно [20], обладают активными полосами поглощения в ИК спектре  $1100-1090 \text{ см}^{-1}$ ,  $780-810 \text{ см}^{-1}$ ,  $500-520 \text{ см}^{-1}$  и  $475 \text{ см}^{-1}$ .

Таблица 3

Рентгенометрические константы поликристаллических образцов L-кубонита и нитрида бора структуры вюртцит, получаемого ударным сжатием

L-кубонит, $a = 3,62 \pm 0,01 \text{ \AA}$				Типа вюртцит, $a = 2,55 \pm 0,01 \text{ \AA}$ ; $c = 4,24 \pm 0,01 \text{ \AA}$			
hkl	$d_{\text{эксп}}$	$d_{\text{теор}}$	$I_{\text{эксп}}$	hkl	$d_{\text{эксп}}$	$d_{\text{теор}}$	$I_{\text{эксп}}$
111	2,10	2,09	10,0	100	2,21	2,21	10,0
200	1,813	1,811	1,3	002	2,12	2,12	9,0
220	1,281	1,281	4,5	101	1,965	1,959	3,8
311	1,092	1,091	2,6	102	1,530	1,529	2,6
222	—	1,045	—	110	1,277	1,275	3,8
400	0,905	0,905	0,8	103	1,190	1,190	1,9
331	0,830	0,831	1,4	112	1,083	1,091	1,8
				202	0,980	0,980	0,3

Результаты ИК-спектроскопических исследований кубонита ВНИИАШ, осуществленные в работах [21—22], вызывают некоторые сомнения в отношении простого термического окисления кубического нитрида с образованием кристаллической окиси бора. Скорее наоборот, интерпретация широкой полосы поглощения кубонита  $800-1400 \text{ см}^{-1}$  может быть приписана существованию оксинитрида бора, термический распад которого приводит к образованию двухфазной системы, состоящей из нитрида и окиси бора. Можно простым расчетом проиллюстрировать, что отнесение полос поглощения  $1395 \text{ см}^{-1}$ ,  $780-810 \text{ см}^{-1}$  к валентному и деформационному колебаниям гексагональной модификации нитрида бора  $\nu_{B-N}^{\text{вал}} = 1395 \text{ см}^{-1}$ ,  $\nu_{B-N}^{\text{деф}} = 780 \text{ см}^{-1}$  и полосы поглощения связи B—O в оксинитриде бора к деформационному колебанию  $\nu_{B-O}^{\text{деф}} = 475 \text{ см}^{-1}$  приводит к обнаружению в спектре оксинитрида бора полос поглощения  $910 \text{ см}^{-1}$  и  $1090 \text{ см}^{-1}$ , которые получаются в результате следующей комбинации характеристик колебаний:

$$\nu = 920 \text{ см}^{-1} = (\nu_{B-N}^{\text{вал}} - \nu_{B-O}^{\text{деф}}) \text{ см}^{-1},$$

$$\nu = 1080 \text{ см}^{-1} = (\nu_{B-N}^{\text{вал}} + \nu_{B-O}^{\text{деф}} - \nu_{B-N}^{\text{деф}}) \text{ см}^{-1}.$$

Таким образом, только ИК-спектроскопический метод анализа без теоретического расчета полос поглощения не может быть использован для однозначной интерпретации и разделения фаз в системе бор-азот-кислород, а требует применения дополнительных методов контроля (рентгеновского, кристаллооптического и т. д.).

3. В литературе существуют противоречивые данные относительно положения края полосы поглощения для нитрида бора. По данным теоретической работы Клейнмана и Филлипса [32] ширина запрещенной зоны для кубического нитрида бора равна 10 эВ. Венторф [18] полагает, что величина запрещенной зоны кубического нитрида бора аналогична величине  $\Delta E_g$  для алмаза. Теоретические физико-химические методы оценки  $\Delta E_g$  для различных модификаций нитрида бора [26—27] дают

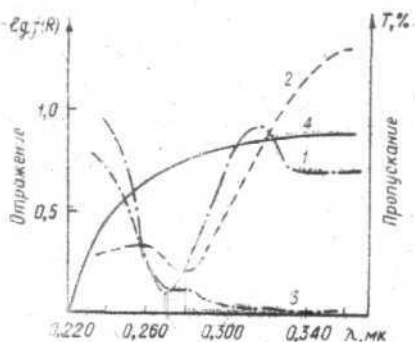


Рис. 3. Спектры диффузного отражения образцов нитрида бора:

1 — гексагональная модификация; 2 — кубическая модификация; 3 — нитрид бора типа вюрцита; 4 — пленка BN-кубический (пропускание)

ражения [29—31]. На спектре наблюдается отчетливое смещение полосы поглощения с 4,3 эв до 5,4 эв для нитридов бора различных модификаций. Величина полосы поглощения пленки кубического нитрида бора численно равна величине  $\Delta E_g$  для алмаза [18]. Тем не менее однозначная физическая интерпретация наблюдаемой полосы поглощения требует дополнительных исследований, так как максимум спектра диффузного отражения для отдельных образцов нитрида бора вюрцитной структуры имеет тенденцию к смещению в область вакуумного ультрафиолета, что не отвергает вакансионной природы наблюдаемой полосы поглощения.

4. Рефрактометрическое исследование исходной гексагональной модификации нитрида бора, а также пленок кубического нитрида бора

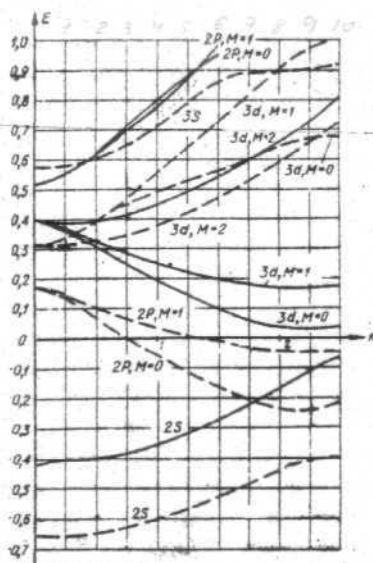
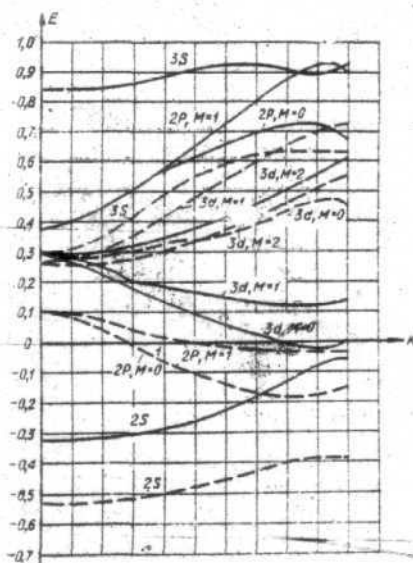


Рис. 4. Карты распределения электронных уровней в нитриде бора:

$E(k)$ ;  $0,1E = 2,72$  эв; — атомы бора; - - - атомы азота; а —  $(BN)_{\text{гекс}}$ ; б —  $(BN)_{\text{куб}}$

$\Delta E_g = 4-5$  эв, а в работе [28] для кубического BN приводится величина  $\Delta E_g = 4,6$  эв.

Делаются попытки идентифицировать полосу поглощения в этой области спектра положением вакансий атомов азота в кристаллической решетке нитрида бора. На рис. 3 представлены спектры диффузного отражения пленок и порошков нитрида бора кубической, вюрцитной и графитоподобной модификации. Спектр диффузного отражения представлен в координатах  $\lg\{f(R)\} - \lambda$ , где  $f(R) = \frac{(1-R)^2}{2R}$ , а R — процент от-



позволило обнаружить (табл. 4) существенное уменьшение рефракции при переходе  $(\text{BN})_{\text{гекс}} \rightarrow (\text{BN})_{\text{куб}}$ . Учитывая особенности изменения положения полос поглощения в ИК спектре для различных модификаций BN и результаты рефрактометрических исследований, можно полагать,

Таблица 4

Рефрактометрические константы нитрида бора

Материал	$d_{20}^{\text{гекс}}$ з.см <sup>-3</sup>	$N_g$	$N_p$	Рэл, см <sup>+3</sup>	Материал	$d_{20}^{\text{куб}}$ з.см <sup>-3</sup>	$N_g$	$N_p$	$N_{\text{ср}}$	Рэл, см <sup>+3</sup>
BN <sub>гекс</sub>	2,22	1,813	1,785	4,80	BN <sub>куб</sub>	3,66	2,01	1,79	1,88— 1,90	3,12

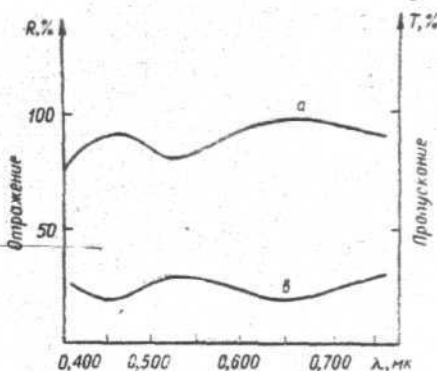
что переход  $(\text{BN})_{\text{гекс}} \rightarrow (\text{BN})_{\text{куб}}$  связан не с изменением координационного числа атомов бора, а с электронными переходами, приводящими к образованию  $sp^3$ -гибридизации из  $d^2sp^3$ , характерной для гексагонального нитрида. Это положение иллюстрируется теоретическими расчетами (рис. 4) распределения электронных уровней для  $(\text{BN})_{\text{гекс}}$  и  $(\text{BN})_{\text{куб}}$ , осуществленных по ранее описанному методу [2, 6].

Средний показатель преломления ( $N_{\text{ср}}$ ) для пленок кубического нитрида бора определялся по уравнению (2) из интерферометрических кривых (рис. 5,  $n_2=1,53$ ) пропускания и отражения для  $\lambda=5400 \text{ \AA}$ ;  $N_{\text{ср}}=1,88-1,90$  есть среднее арифметическое из кристаллооптических измерений  $N_g$  и  $N_p$  пленок кубического нитрида бора:

$$N_{\text{ср}} = \frac{N_g + N_p}{2}$$

Рис. 5. Интерферометрические кривые отражения и пропускания пленок кубического нитрида бора на кварце с  $n=1,53$ :

а — кривая пропускания; б — кривая отражения



5. Диэлектрическая проницаемость пленок кубического нитрида бора на частоте 1 кГц равна 3,12—4,38, т. е. практически  $\epsilon=n^2$ , тангенс угла диэлектрических потерь таких пленок равен  $2 \cdot 10^{-4}$ . Удельное сопротивление МДП структур с пленкой кубического нитрида бора толщиной 1500 Å на кремнии *n*- и *p*-типа составляет  $(0,82-2,45) \cdot 10^{15} \text{ ом.см}$ , диэлектрическая прочность  $(5-7) \cdot 10^6 \text{ в/см}$ , а плотность поверхностных состояний (частота 2 МГц) структур нитрид бора — кремний составляла  $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ . Такое состояние поверхности структур пленка нитрида бора — полупроводник приводило (рис. 6) к появлению четко выраженных гистерезисных *S-V*-кривых, величина которых зависит от напряжения смещения и не исчезает при комнатной температуре даже через 3 месяца. Это явление может быть использовано в элементах памяти на основе МДП структур [10].



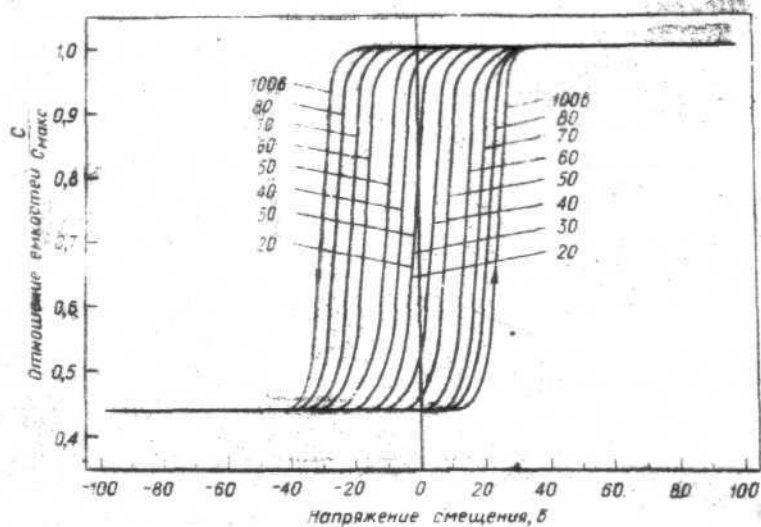


Рис. 6. Гистерезис вольтемкостных характеристик в сильных полях для системы Al—BN—SiO<sub>2</sub>—Si—Al

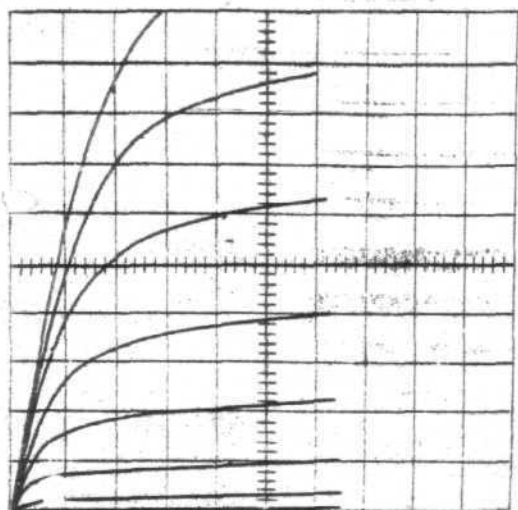


Рис. 7. Выходные характеристики транзисторов на основе структур:

BN<sub>0,76</sub>—SiO<sub>2</sub>—Si ( $U_{отс} = 10$  в;  $U_{отн} = -7$  в;  $I_2 < 10^{-8}$  а;  $I_1 = 2,0$  ма/в;  $U_{отс} = -7$  в; масштаб по V<sup>0</sup> — 1 ма/дел.

Удельное сопротивление МДП структур с пленкой нитрида бора толщиной 1000 Å, осажденной на окисленный кремний (толщина окисла 400—600 Å) составляла  $(0,45 \pm 6,34) \cdot 10^{16}$  ом·см, диэлектрическая прочность таких пленок равна  $(9 \pm 12) \cdot 10^6$  в/см, а плотность поверхностных состояний таких структур (частота 2 МГц) —  $5 \cdot 10^{11}$  см<sup>-2</sup>. На основе таких сэндвич-структур методом планарной технологии (подложка—кремний КДБ—0,5) были изготовлены МДП транзисторы с выходными характеристиками, представленными на рис. 7. Предварительные результаты позволяют надеяться на получение МДП транзисторов с более высокоэффективными выходными характеристиками.

6. Получение пленок кубического нитрида бора при отсутствии высоких давлений и температур в условиях высокочастотного реактивного распыления позволяет предполагать возможность синтеза более плотных модификаций других материалов в аналогичных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кутолин С. А., Вулик А. И. «Ж. прикл. химии», 1968, 41, 2529.
2. Кутолин С. А., Короткевич М. Н., Комарова Г. М. М., «Электроника», 1968. (ИСЛ № 000386); РИР, 3, 2055 (1970).
3. Степанов И. В., Кутолин С. А., Тепман Г. П. М., «Электроника», 1969. (ИСЛ № 000380); РИР, 13, 12071 (1969).
4. Вулик А. И., Кутолин С. А., Шаммасова А. Е. «Электронная техника», сер. 14, 1967, вып. 6, 57.
5. Кутолин С. А., Короткевич М. Н. и др. М., «Электроника», 1968. (ИСЛ № 000372).
6. Кутолин С. А., Короткевич М. Н. и др. М., «Электроника», 1969. (ИСЛ № 000811).
7. Кутолин С. А., Степанов И. В., Остаповский Л. М. и др. «Электронная техника», сер. 14, 1969, вып. 3, 32.
8. Гаштольд В. Н., Кутолин С. А., Остаповский Л. М. «Электронная техника», сер. 5, 1968, вып. 2, 35.
9. Степанов И. В., Кутолин С. А., Тепман Г. П. Труды конференции по электронной технике «Физико-химические методы контроля и технологические способы обработки материалов в микроэлектронике». М., «Электроника», 1969, стр. 5.
10. Sewell F. A. et al. «Appl. Phys. Lett.», 1969, 14, 45.
11. Богородский М. М. Автореферат диссертации. М., МГУ, 1968.
12. Булавина К. А. Материалы и методы защиты и стабилизации поверхности полупроводниковых приборов. М., «Электроника», 1969. (Обзор, вып. 27(96)).
13. «Design and Compon. Enging.», 1964, N 2, pp. 26—30.
14. Mapping R. L. «Spectrovision pye uncam», 1968, 20, 9.
15. Жолобов А. А. М., «Электроника», 1969. (ИСЛ № 000807).
16. Nazarewicz W., Rølland P. et al. «Appl. Optics», 1962, 1, 369.
17. В сб. «Твердые тела под высоким давлением». М., «Мир», 1966, стр. 258.
18. Свенсон К. Физика высоких давлений. М., ИИЛ, 1963, стр. 203.
19. Ададуров Г. А., Алнев З. Г. и др. ДАН СССР, 1967, 172, 106.
20. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. М., «Мир», 1966, стр. 391.
21. Гатилова Е. Г., Вишневский А. С., Малоголовец В. Г. Абразивы, т. 1. М., 1968, стр. 7—10.
22. Гатилова Е. Г., Малоголовец В. Г., Чистяков Е. М. «Синтетические алмазы», 1969, 5, 7.
23. Валеев А. С. «Оптика и спектроскопия», 1963, 15, 500.
24. Ляшенко С. П., Милославский В. К. «Оптика и спектроскопия», 1964, 10, 151.
25. Метфессель С. Тонкие пленки, их изготовление и измерение. М.—Л., ГИИТ, 1963.
26. Ормонт Б. Ф. «Ж. неорг. химии», 1960, 5, 255.
27. Ормонт Б. Ф. ДАН СССР 1959, 124, 129.

28. Горюнова Н. А. Сложные алмазоподобные полупроводники. М., «Сов. радио», 1968, стр. 105.
29. Kubelka P., Munk F. «Z. Tech. Physik», 1931, 12, 593.
30. Kubelka P. «J. Opt. Soc. Am.», 1948, 38, 448.
31. Ромбах В. П. Автореферат диссертации. Л., ЛГПИ, 1966.
32. Kleinman L., Phillips I. C. «Phys. Rev.», 1960, 117, 460.

*Статья поступила в феврале 1970 г.*