

УДК 539.23

Посвящается юбилею академика Ф.А. Кузнецова

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛЕНОК  $BC_xN_y$ ,  
МЕТОДАМИ РФЭС И ОЖЕ-СПЕКТРОСКОПИИВ.Г. Кеслер<sup>1</sup>, М.Л. Косинова<sup>2</sup>, Ю.М. Румянцев<sup>2</sup>, В.С. Суляева<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск<sup>2</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, e-mail: marina@niic.nsc.ru

Статья поступила 12 декабря 2011 г.

Методами РФЭС и Оже-спектроскопии выполнены исследования химического состава пленок  $BC_xN_y$ , синтезированных методом PECVD из различных исходных газовых смесей в диапазоне температур 473—723 К. Установлены основные закономерности и особенности формирования пленок. Показано, что химический состав пленок  $BC_xN_y$  существенно зависит от параметров процесса синтеза, что позволяет целенаправленно управлять их физическими свойствами. Проведено обсуждение полученных закономерностей.

**Ключевые слова:** рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, Оже-спектроскопия, PECVD, пленки  $BC_xN_y$ .

## ВВЕДЕНИЕ

Твердые и химически стойкие материалы, принадлежащие тройной системе В—N—С, являются предметом многочисленных исследований. Уникальные физико-химические свойства обуславливают их привлекательность для различных технических применений. В частности, тонкие пленки нитрида и карбида бора могут быть использованы как износостойкие защитные покрытия на различных устройствах, работающих в окислительных и высокотемпературных средах. Интересны также диэлектрические, оптические и полупроводниковые свойства этих материалов. Наиболее изученными в настоящее время являются диэлектрические слои нитрида бора. В последние годы большое внимание уделяется тонким слоям карбонитрида бора, под которым понимают соединение, содержащее связи В—N, В—С и С—N. Пленки  $BC_xN_y$ :H рассматриваются как низкотемпературный диэлектрик, который может быть использован в качестве защитного покрытия или основного диэлектрика в МДП-структурах на основе  $A_3B_5$  (поскольку бор и азот изовалентны компонентам данных полупроводников), в том числе в качестве альтернативы пленок, получаемых методом низкотемпературного плазменного окисления полупроводников типа  $A_3B_5$  [ 1 ]. Для синтеза таких пленок используются различные газофазные процессы и разнообразные исходные вещества, газообразные или легколетучие. Наибольший интерес представляют летучие элементоорганические соединения, содержащие в себе все необходимые элементы для синтеза карбонитрида бора, и среди них соединения класса алкиламинборанов. Алкиламинбораны довольно устойчивы в нормальных условиях, малотоксичны и невзрывоопасны, так что их использование в технологиях предпочтительнее агрессивных или взрывоопасных неорганических соединений бора и углерода. Пары алкиламинборанов разлагаются при высоких температурах, образуя тонкие слои различного состава в зависимости от условий осаждения. Кроме того, используя методы нетермической активации газовой фазы, можно существенно понижать температуру синтеза без ухудшения физико-химических свойств получаемых слоев. В литературе имеется ограниченное количество статей, где изучаются указан-

ные процессы [2]. Ранее нами были разработаны методики синтеза и исследованы некоторые свойства пленок  $BC_xN_y$ , полученных методом химического осаждения из газовой фазы с использованием триметилборазина, триметиламинборана (ТМАБ) и триэтиламинборана (ТЭАБ) [3—5].

Настоящая работа посвящена исследованию зависимости химического состава пленок  $BC_xN_y$ , синтезированных методом плазмостимулированного химического осаждения из газовой фазы (PECVD) с использованием ТМАД и ТЭАБ, от условий синтеза.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования являлись тонкие пленки  $BC_xN_y$ , синтезированные методом PECVD из различных исходных газовых смесей на кремниевых подложках Si(100). Химическую обработку поверхности подложек осуществляли в аммиачно-перекисном и соляно-перекисном травителях с последующей обработкой в HF, отмывкой деионизованной водой и сушкой в потоке азота непосредственно перед их загрузкой в камеру реактора.

Процесс осаждения пленок  $BC_xN_y$  осуществляли в кварцевом реакторе туннельного типа с емкостным способом возбуждения плазмы от генератора УВЧ-66 (частота — 40,68 МГц). Удельная мощность ВЧ-разряда составляла  $0,3 \text{ Вт/см}^3$ . Реактор представлял собой кварцевую трубу длиной 0,5 м, диаметром 0,32 м. Зону роста нагревали до температуры 473—723 К с помощью печи сопротивления, при этом контроль температуры осуществляли Pt—Pt/Rh термопарой с точностью  $\pm 0,5 \text{ К}$ . Откачку системы осуществляли с помощью форвакуумного насоса 2НВР-5Д и ловушки с жидким азотом. Перед экспериментом реактор откачивали до остаточного давления  $\sim 3 \times 10^{-3}$  Торр. Пары исходного вещества триметиламинборана  $(CH_3)_3N \cdot BH_3$  (ТМАБ) или триэтиламинборана  $(C_2H_5)_3N \cdot BH_3$  (ТЭАБ) подавали в реактор из термостатированного источника. Температуру источника ТМАБ поддерживали равной 273 К для всех экспериментов, при этом парциальное давление ТМАБ в реакторе равнялось  $1,5 \times 10^{-2}$  Торр. В качестве газа-активатора использовали гелий или аммиак. Условия синтеза пленок  $BC_xN_y$  представлены в таблице. Скорость роста пленок составляла от 10 до  $50 \text{ \AA/мин}$  в изученном интервале температур синтеза. Последующие отжиги образцов с целью их очистки проводили непосредственно в вакуумной камере РФЭ-спектрометра с использованием радиационного нагрева держателя образца.

Микрорельеф поверхности синтезированных пленок исследовали методом атомной силовой микроскопии (АСМ, атомно-силовой микроскоп NT MDT "Solver-Pro"), толщину пленок определяли методом эллипсометрии (эллипсометр ЛЭФ-3М). Химический состав пленок контролировали с помощью Оже- и рентгеновской фотоэлектронной (РФЭ) спектроскопии. Пойслойный элементный анализ состава пленок осуществляли методом Оже-спектроскопии в сочетании с ионным распылением на анализаторе OPC-200 фирмы "Riber". Распыление выполняли ионами  $Ar^+$  с энергией 3 кэВ при токе пучка около 500 нА. Спектры получены в дифференциальном режиме при энергии первичного электронного пучка 3 кэВ.

Исследование химического состава пленок  $BC_xN_y$  методом РФЭС выполняли на спектрометре MAC-2 фирмы "Riber" с использованием Mg источника рентгеновского излучения

Условия синтеза пленок  $BC_xN_y$

Номер серии образцов	Исходная смесь	$T_{\text{осаж.}}$ , К	$P$ , Торр
1	ТМАБ+ $NH_3$	473—723	$P_{\text{ТМАБ}} 1,5 \times 10^{-2}$ , $P_{NH_3} 4 \times 10^{-3}$
2	ТМАБ+ $NH_3$	473—723	$P_{\text{ТМАБ}} 1,5 \times 10^{-2}$ , $P_{NH_3} 7 \times 10^{-3}$
3	ТМАБ+ $NH_3$	673	$P_{\text{ТМАБ}} 1,5 \times 10^{-2}$ , $P_{NH_3} 0—22 \times 10^{-3}$
4	ТЭАБ+ $NH_3$	673	$P_{\text{ТЭАБ}} 1,5 \times 10^{-2}$ , $P_{NH_3} 0—22,5 \times 10^{-3}$
5	ТМАБ+He	473—723	$P_{\text{ТМАБ}} 1,5 \times 10^{-2}$ , $P_{He} 3 \times 10^{-3}$

с энергией линии  $MgK_{\alpha}$  1253,6 эВ. Мощность источника составляла 240 В, разрешение спектрометра составляло менее 0,5 эВ (ширина пика меди  $Cu2p_{3/2}$  на полувысоте 1,26 эВ) и было постоянным во всем диапазоне измеряемых энергий электронов. Калибровку шкалы энергии выполняли по фотоэлектронным пикам меди  $Cu2p_{3/2}$  (932,7 эВ) и  $Cu3p_{3/2}$  (75,1 эВ), что обеспечивало точность регистрации положения фотоэлектронов не менее 0,1 эВ. Регистрацию сигнальных электронов осуществляли под углом  $20^{\circ}$  относительно нормали к поверхности образца. Поскольку поверхность исследуемых диэлектрических пленок  $BC_xN_y$  заряжалась в процессе облучения рентгеновским пучком, необходимо было проводить калибровку шкалы энергии связи. В наших экспериментах такую калибровку выполняли по пику  $C1s$  с энергией связи 284,6 эВ и шириной 1,8 эВ. Данный пик обусловлен в основном углеводородными загрязнениями поверхности образцов при их экспозиции на воздухе и в остаточной атмосфере вакуумной камеры спектрометра. Поскольку углерод входит также в состав исследуемых пленок, в ряде случаев пик углерода  $C1s$  имел сложную структуру, что затрудняет выделение компоненты относящейся к адсорбированным углеводородным загрязнениям. В процессе дополнительных исследований, связанных с прогревом образцов непосредственно в камере спектрометра, было установлено, что в большинстве случаев к ним относится компонента пика  $C1s$  с наибольшей интенсивностью.

Разделение перекрывающихся фотоэлектронных пиков на отдельные компоненты, представляющие собой смесь функций Гаусса и Лорентца, осуществляли с использованием программы XPSPEAK95 Version 2.0. Параметры формы фотоэлектронных линий определяли на основе измерения эталонных образцов нитрида бора ( $h$ -BN) и карбида бора ( $B_4C$ ). Скол образца  $h$ -BN получен на воздухе непосредственно перед загрузкой в камеру спектрометра. Энергии связи и ширины пиков  $B1s$  и  $N1s$  на полувысоте для  $h$ -BN составили 190,3 эВ (1,35 эВ) и 398,0 эВ (1,5 эВ) соответственно. Для образца  $B_4C$  выполняли очистку поверхности посредством бомбардировки ионами аргона. Энергия связи и ширина пиков на полувысоте составили  $B1s$  187,8 эВ (2,2 эВ) и  $C1s$  282,2 эВ (2,1 эВ) соответственно. При этом установлено, что ионная бомбардировка приводит к значительному уширению регистрируемых фотоэлектронных пиков до 0,3—0,5 эВ.

Расчет относительных концентраций химических элементов в исследуемых образцах выполнялся на основе использования метода коэффициентов относительной элементной чувствительности (КЭЧ), в котором значительно нивелируются матричные эффекты [6]. КЭЧ определялись на основе измерения эталонных образцов в тех же экспериментальных условиях.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Толщину синтезируемых пленок варьировали в диапазоне 120—300 нм. Показатель преломления пленок изменяли от 1,5 до 2,4 в зависимости от условий синтеза. Во всех случаях пленки характеризовались бездефектной гладкой поверхностью с высокой степенью морфологической однородности (рис. 1), что позволяло использовать методы Оже и РФЭ-спектроскопии для исследования их химического состава и распределения компонентов по толщине пленок.

**Исследования методом Оже-спектроскопии.** Данный метод характеризуется высокой локальностью (диаметр зондирующего пучка составляет несколько микрометров), что позволяет использовать его для послойного элементного анализа в сочетании с ионным распылением. При этом использование ионной бомбардировки приводит к эффектам, искажающим количественный элементный анализ. Тем не менее, и в этом случае остается возможность проведения сравнительного полуколичественного элементного анализа образцов  $BC_xN_y$ , синтезированных в различных экспериментальных условиях.

На рис. 2 представлены экспериментальные спектры и профиль ионного распыления образца  $BC_xN_y$  толщиной 200 Å, синтезированного из ТМАБ при  $T_{\text{осаж}} = 673$  К и  $P(NH_3) = 7 \times 10^{-3}$  Торр. В Оже-спектрах наблюдаются только линии основных элементов соединения  $BC_xN_y$  и пик кислорода. Относительная концентрация компонентов практически неизменна в протяженной основной части пленки и изменяется лишь вблизи поверхности и на границе раздела пленка—подложка, что свидетельствует о высокой однородности пленки.

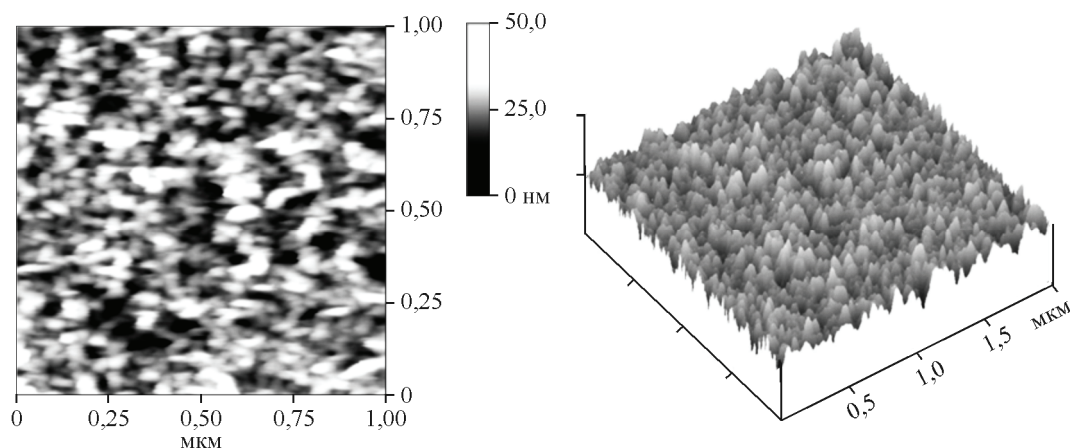


Рис. 1. Типичное АСМ изображение микрорельефа поверхности пленок  $BC_xN_y$

Зависимость состава поверхности от температуры подложки в процессе формирования пленки  $BC_xN_y$  при  $P(NH_3) = 4 \times 10^{-3}$  Торр представлена на рис. 3. Расчет выполнен с учетом экспериментально измеренной относительной элементной чувствительности бора и азота.

Аналогичные зависимости были получены и при других давлениях аммиака, причем установлено, что увеличение давления аммиака приводит к менее выраженному эффекту встраивания углерода с ростом температуры синтеза. Таким образом, изменение температуры синтеза и давления аммиака позволяет значительно варьировать химический состав синтезируемых пленок карбонитрида бора.

**Исследования методом РФЭС.** Одним из наиболее информативных методов исследования химического состава приповерхностной области твердых тел является метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Данный метод позволяет получить информацию не только об относительной концентрации элементов, но и о типе их химических связей. Однако для таких

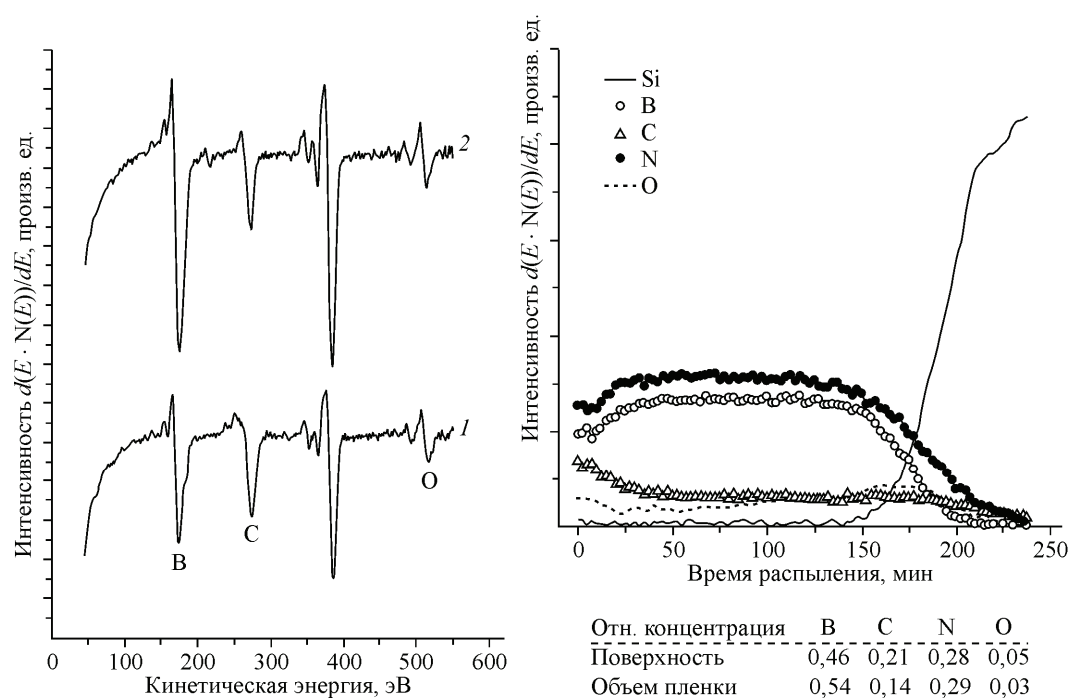


Рис. 2. Оже-спектры: с исходной поверхности (1), из центральной части пленки и зависимость интенсивности Оже-линий регистрируемых химических элементов от времени ионного распыления в пленке  $BC_xN_y$ , толщиной 200 Å, синтезированной из ТМАБ при  $T_{\text{осаж}} = 673$  К и  $P(NH_3) = 7 \times 10^{-3}$  Торр (2)

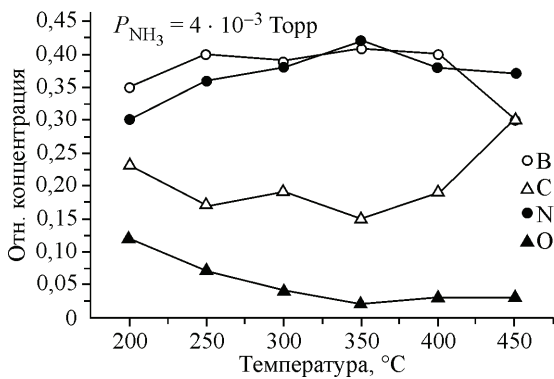


Рис. 3. Зависимость состава поверхности от температуры подложки в процессе формирования пленки  $BC_xN_y$ . Пленки синтезированы с использованием ТМАБ при  $P(NH_3) = 4 \times 10^{-3}$  Торр

исследований необходимо решить сложную проблему подготовки образцов для анализа. Метод РФЭС является поверхностно-чувствительным (глубина анализа составляет около 2—4 нм), любые поверхностные загрязнения, а также окисная пленка значительно искажают результаты. Для

получения информации о составе в глубине образца необходимо удалять верхние слои пленки.

**Процедура очистки поверхности образцов перед анализом.** Одним из возможных способов очистки поверхности является ионное распыление в высоком вакууме. Однако нами было установлено, что ионное распыление приводит к искажению формы пиков (особенно углерода и бора), возникающему из-за разрыва химических связей. Таким образом, ионная бомбардировка не может быть использована для очистки поверхности образцов  $BC_xN_y$ . В результате проведенных исследований было установлено, что наиболее эффективным способом очистки поверхности пленок  $BC_xN_y$  является их химическая обработка в растворе  $HCl:H_2O$  (2:1) в течение 20—60 мин непосредственно перед загрузкой образцов в камеру анализа и последующий отжиг в вакуумной камере при температуре  $\sim 400$  °C в течение 60 мин.

В качестве примера, подтверждающего факт очистки поверхности, на рис. 4 приводятся рентгеновские фотоэлектронные спектры поверхности образца  $BC_xN_y$ : до и после обработки в растворе  $HCl:H_2O$  (2:1) и после дополнительного прогрева в камере спектрометра при температуре 400 °C в течение 60 мин. Как следует из рис. 4, использование раствора соляной кислоты не приводит к заметному искажению пиков азота и бора. Кроме того, дополнительный прогрев образца в вакууме при температуре, сравнимой с температурой синтеза (400 °C) приводит

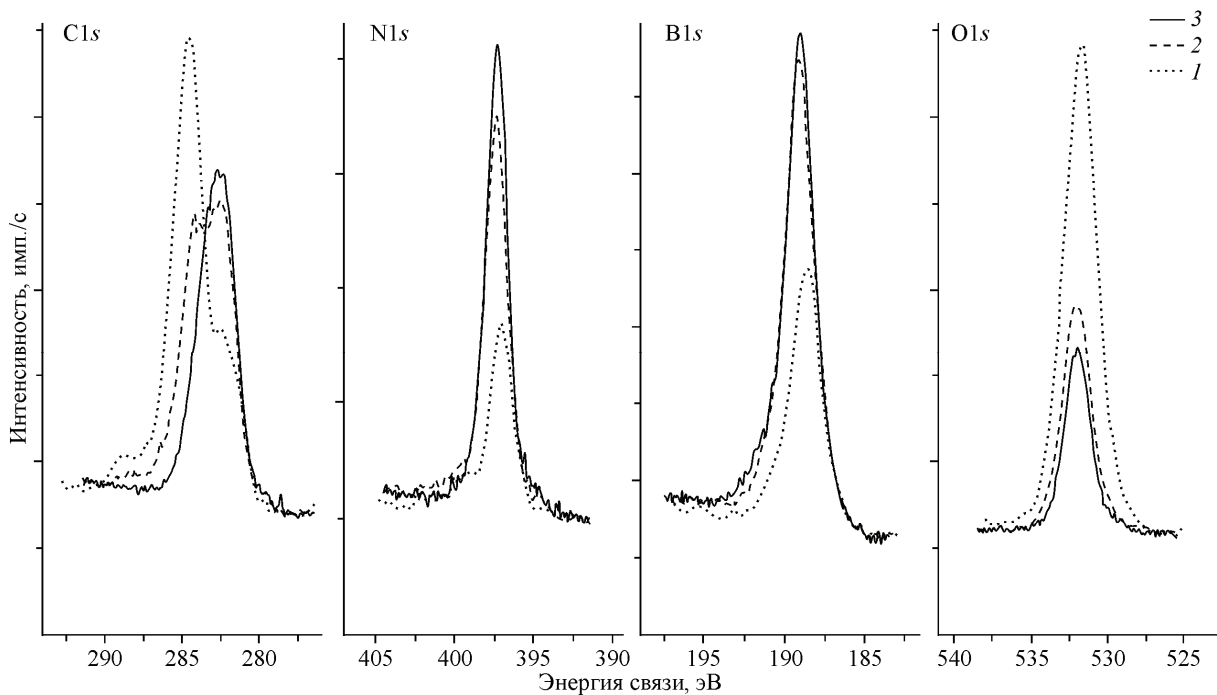


Рис. 4. Рентгеновские фотоэлектронные спектры поверхности образца  $BC_xN_y$ : исходная поверхность (1), после обработки в разбавленной кислоте  $HCl$  (2), после дополнительного прогрева образца в вакууме при  $T = 400$  °C в течение 60 мин (3)



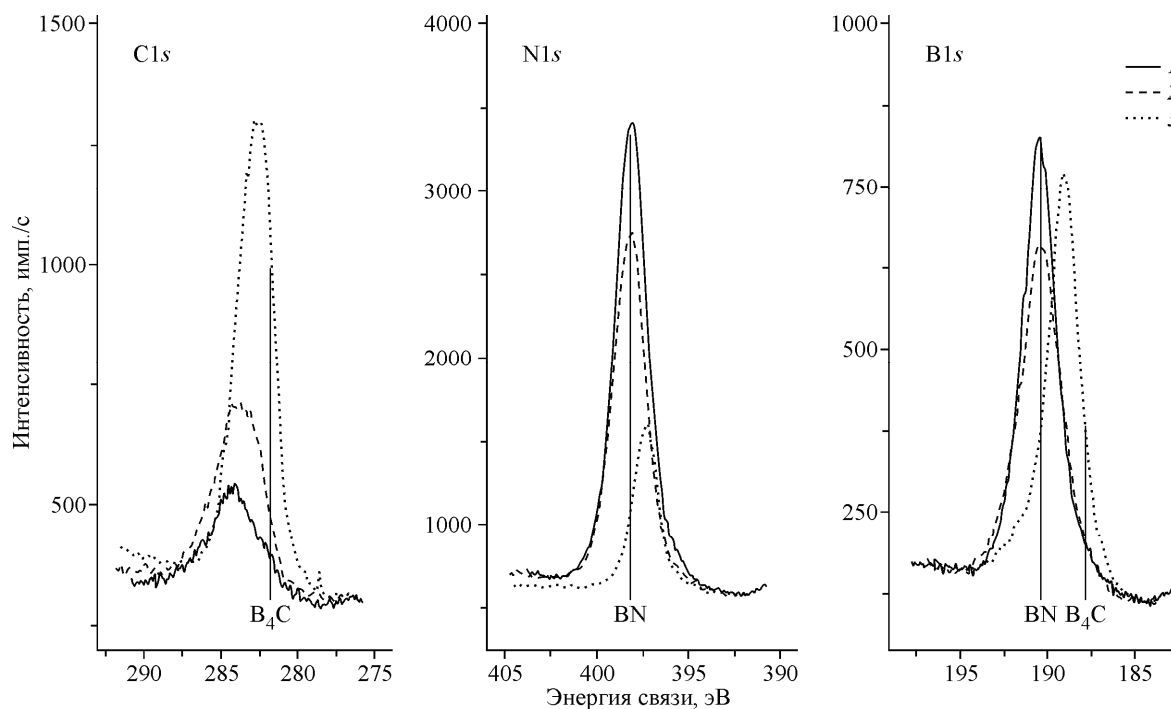


Рис. 5. Рентгеновские фотоэлектронные спектры поверхности образцов  $BC_xN_y$ , синтезированных из ТЕАБ при температуре  $400\text{ }^\circ\text{C}$  при давлении аммиака (Торр):  $22,5 \times 10^{-3}$  (1),  $5 \times 10^{-3}$  (2) и 0 (3)

к десорбции углеводородных загрязнений с его поверхности. Дальнейшее повышение температуры отжига нецелесообразно, так как ведет к изменениям формы фотоэлектронных линий и отношения их компонентов.

**Сравнительный химический анализ образцов  $BC_xN_y$ , полученных в различных условиях.** Рентгеновские фотоэлектронные спектры с поверхности пленок  $BC_xN_y$ , синтезированных из ТЕАБ при температуре  $400\text{ }^\circ\text{C}$  при различных давлениях аммиака, представлены на рис. 5. Исследуемые образцы были предварительно очищены согласно вышеизложенной процедуре, все представленные спектры получены в одинаковых экспериментальных условиях и могут быть непосредственно использованы для сравнения.

Из сравнительного анализа площадей фотоэлектронных пиков, представленных на рис. 5, следует, что при постоянной температуре синтеза ( $400\text{ }^\circ\text{C}$ ) с уменьшением относительного давления аммиака монотонно увеличивается относительное содержание углерода в пленках. При этом изменение относительной концентрации углерода в пленках приводит также к изменению формы и положения всех фотоэлектронных пиков. Для всех исследуемых образцов  $BC_xN_y$  фотоэлектронные линии бора и азота были значительно шире соответствующих линий для эталонных образцов. Поэтому для компонентного анализа были использованы экспериментально подобранные параметры полуширины на полувысоте  $1,7\text{ эВ}$  для линии углерода и  $1,8\text{ эВ}$  для линий бора и азота. Регистрируемые фотоэлектронные линии имеют сложную структуру и представляют собой суперпозицию из двух и более компонент с различной величиной вклада. Аналогичные исследования были выполнены для образцов, синтезированных с использованием ТМАБ, при этом установлено, что изменение давления аммиака приводит к сходным изменениям химического состава синтезируемых пленок.

Результаты компонентного анализа фотоэлектронных пиков  $B1s$ ,  $C1s$ ,  $N1s$  и относительные концентрации химических элементов в зависимости от относительной концентрации углерода в исследуемых образцах представлены на рис. 6. Необходимо отметить, что на графиках приведены средние величины значений энергий связи отдельных компонент, максимальный разброс значений от среднего в отдельных случаях составлял величину до  $\pm 0,3\text{ эВ}$ .

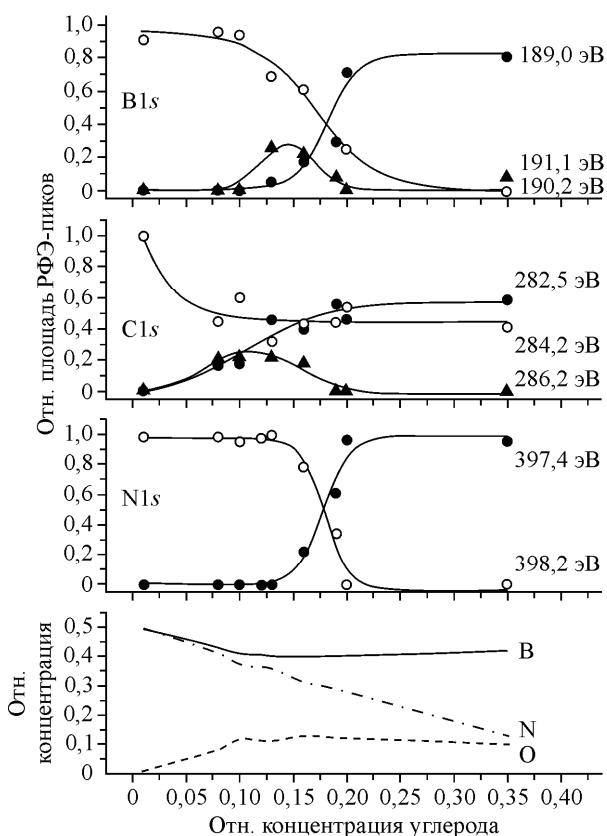


Рис. 6. Зависимость относительной концентрации бора, азота и кислорода и интенсивности компонент фотоэлектронных линий от концентрации углерода в пленках  $BC_xN_y$ , синтезированных при температуре  $400^\circ C$  с использованием предшественников ТМАВ и ТЕАВ

Фотоэлектронный пик бора  $B1s$  представляет собой суперпозицию как минимум трех компонент. Одна из них локализована вблизи энергии связи  $190,2$  эВ и соответствует соединению  $BN$  ( $190,5$  эВ [7],  $190,3$  эВ — результаты измерения эталонного образца  $h-BN$ ,  $190,2$  эВ  $B-N$  [8, 9]). Другая компонента с энергией  $189,0$  эВ может быть интерпретирована как  $B_xC$  в  $BCN$  ( $187,8$  эВ — эталон  $B_4C$ ,  $187,5$  эВ —  $B_4C$  [10],  $189,4$  эВ —  $BC_{3,4}$  [9]). И, наконец, компонента с энергией  $191,1$  эВ может быть интерпретирована как  $B-O-N$  и гибридные связи  $B-C-N$  ( $189,9$  эВ —  $BC_2O$  [11],  $189,5$  эВ  $B-C-N$  гибридные связи [12],  $190,8$  эВ —  $BN_3$  и  $BC_2N$  координации [13]).

Фотоэлектронный пик  $C1s$  также представляет собой суперпозицию, как минимум,

трех компонент. Основная компонента фотоэлектронного пика углерода  $C1s$ , присутствующая в спектрах всех образцов, локализована вблизи энергии связи  $284,2$  эВ ( $284,3$  эВ —  $BC_3$  [12],  $284,3$  эВ —  $sp^2C$  [14],  $BC_{3,4}$  [9],  $284,4$  эВ —  $C-C$  [7]). Вторая компонента имеет энергию связи около  $282,5$  эВ ( $282,9$  эВ —  $B_4C$  [12, 15],  $281,9$  эВ — эталон  $B_4C$ ,  $281,7$  [16]) и третья компонента локализована вблизи  $286,2-285,5$  эВ ( $285,2$  эВ —  $sp^3C$  [14],  $C=N$  [15],  $285,7$  эВ —  $C-N$  [17]).

Фотоэлектронный пик азота  $N1s$  аппроксимируется двумя компонентами:  $398,2$  эВ ( $BN$  —  $398,1$  эВ [7],  $398,0$  эВ наши измерения  $h-BN$ ,  $N-B$   $398,3$  эВ [8]) и  $397,4$  эВ ( $397,1$  эВ — предположительно  $C-N$  [18], либо слабо связанный азот). Отсутствие эталонов для идентификации связей  $C-N$  по пику  $N1s$  не позволяет идентифицировать данную компоненту в экспериментальном спектре.

В пленках  $BC_xN_y$  обнаружена примесь кислорода, концентрация которого монотонно увеличивается до 10 % при увеличении концентрации углерода в пленках до 10 % и в дальнейшем остается неизменной. Присутствующий в спектрах фотоэлектронный спектр  $O1s$  представляет собой суперпозицию двух пиков с энергиями связи около  $532,4$  эВ и  $530,1$  эВ соответственно. Причина встраивания и источник примесного кислорода требуют дополнительных исследований.

С ростом относительной концентрации углерода увеличивается вклад компоненты  $C1s$  с энергией связи  $282,5$  эВ, при этом одновременно растет интенсивность компоненты пика бора  $B1s$  с энергией  $189,0$  эВ, что соответствует росту числа связей  $B-C$ . Увеличение относительной концентрации углерода приводит также к монотонному относительному уменьшению интенсивности компоненты пика бора с энергией  $190,2$  эВ, что свидетельствует об уменьшении доли связей  $B-N$ . Начиная с концентрации углерода  $\sim 19\%$ , наблюдается монотонное уменьшение компоненты пика  $N1s$   $398,2$  эВ ( $BN$ ), появляется и нарастает компонента  $N1s$  с энергией связи  $397,4$  эВ. В диапазоне концентраций углерода  $0,05-0,20$  наблюдается максимум компонент  $B1s$  ( $191,1$  эВ) и  $C1s$  ( $286,2$  эВ), что свидетельствует об образовании тройного соединения с гибридными связями  $B-C-N$ .

## ВЫВОДЫ

Методами Оже- и РФЭ-спектроскопии получена информация о химическом составе пленок  $BC_xN_y$ , синтезированных методом RPECVD из различных исходных газовых смесей (триметил-аминборан, триэтиламинборан и аммиак) в диапазоне температур 473—723 К. Показано, что синтезированные пленки характеризуются высокой однородностью химического состава по толщине и бездефектной гладкой поверхностью с высокой степенью морфологической однородности.

Установлено, что при фиксированной температуре синтеза состав исходной газовой фазы оказывает влияние на химический состав осажденных пленок. Уменьшение содержания аммиака приводит к увеличению относительного содержания углерода в пленках и соответствующему уменьшению концентрации азота. Данная зависимость имеет монотонный характер. Изменение концентрации бора при этом незначительно. Изменение соотношения доли связей В—N и В—С в пленках  $BC_xN_y$  носит пороговый характер с пороговой концентрацией углерода ~20 %. В диапазоне концентраций углерода 5—20 % наблюдается максимум компонент  $B1s$  (191,1 эВ) и  $C1s$  (286,2 эВ), что свидетельствует об образовании тройного соединения с гибридными связями В—С—N.

Увеличение температуры синтеза при фиксированном составе газовой среды приводит к монотонному увеличению концентрации углерода в пленках, уменьшению концентрации бора и кислорода.

Результаты выполненных исследований демонстрируют возможность выращивания тонких пленок  $BC_xN_y$  контролируемого химического состава и представляют интерес для использования в микроэлектронике в качестве защитных и рабочих диэлектрических покрытий и, в частности, в технологии МДП-структур на основе соединений  $A_3B_5$ .

Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта СО РАН № 97 и при частичной поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований 10-03-91332 и 11-07-12067. Авторы благодарят д.т.н. Б.М. Аюпова (ИНХ СО РАН, Новосибирск) за исследование образцов методом эллипсометрии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кеслер В.Г. // Журн. структур. химии. – 2011. – **52**. – С. S156.
2. Hoffmann P., Fainer N., Kosinova M., Baake O., Ensinger W. In: Silicon Carbide – Materials, Processing and Applications in Electronic Devices / Ed. M. Mukherjee. – InTech., 2011. ISBN 978-953-307-968-4. – P. 487 – 546.
3. Шаяпов В.Р., Косинова М.Л., Смирнов А.П., Максимовский Е.А., Аюпов Б.М., Румянцев Ю.М. // Неорган. матер. – 2011. – **47**, № 3. – С. 312 – 316.
4. Суляева В.С., Косинова М.Л., Румянцев Ю.М., Голубенко А.Н., Файнер Н.И., Алферова Н.И., Аюпов Б.М., Гевко П.Н., Кеслер В.Г., Колесов Б.А., Максимовский Е.А., Мякишев К.Г., Юшина И.В., Кузнецов Ф.А. // Неорган. матер. – 2010. – **46**, № 5. – С. 555 – 562.
5. Косинова М.Л., Румянцев Ю.М., Голубенко А.Н., Файнер Н.И., Аюпов Б.М., Долговесова И.П., Колесов Б.А., Каичев В.В., Кузнецов Ф.А. // Неорган. матер. – 2003. – **39**, № 4. – С. 447 – 455.
6. Wagner C.D., Riggs W.M., Davis L.E., Moulder J.F., Muilenberg G.E. Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy. – Eden Prairie, Minnesota: Perkin – Elmer Corporation, 1978. – 190 p.
7. Briggs D., Seah M.P. Practical surface analysis. Vol.1. – Chichester: John Willey & Sons Ltd, 1995.
8. Kim D.H., Byon E., Lee S., Kim J.-K., Ruh H. // Thin Solid Films. – 2004. – **447-448**. – P. 192.
9. Zhou Z.F., Bello I., Lei M.K., Li K.Y., Lee C.S., Lee S.T. // Surface and Coatings Technology. – 2000. – **128-129**. – P. 334.
10. Cermignani W., Paulson T.E., Onneby C., Pantano C.G. // Carbon. – 1995. – **33**, N 4. – P. 367.
11. Koh M., Nakajima T. // Carbon. – 1998. – **36**, N 7-8. – P. 913.
12. Kunzle H., Gantenbein P., Steiner R., Oelhafen P. // Fresen. J. Anal. Chem. – 1993. – **346**. – P. 41.
13. Uddin Md.N., Shimoyama I., Baba Y., Sekiguchi T., Nath K. G., Nagano M. // Applied Surface Science. – 2005. – **252**. – P. 4185.
14. Diaz J., Paolicelli G., Ferrer S., Comin F. // Phys. Rev. B. – 1996. – **54**, N 11. – P. 8064.
15. Scharf T.W., Ott R.D., Yang D., Barnard J.A. // J. Appl. Phys. – 1999. – **85**, N 6. – P. 3142.
16. Shirasaki T., Derre A., Menetrier M., Tressaud A., Flandrois S. // Carbon. – 2000. – **38**. – P. 1461.
17. Zhou F., Adachi K., Kato K. // Wear. – 2006. – **261**. – P. 301.
18. Ulrich S., Kratzsch A., Leiste H., Stuber M., Schlobmacher P., Holleck H. // Surface and Coatings Technology. – 1999. – **116-119**. – P. 742.