

тальная кривая распределения интенсивности излучения вдоль оси X волноводной области, полученная при вводе в краевую ($X_i=1,8$ мм) область волноводного слоя излучения с длиной волны 0,85 мкм. Неравномерность распределения интенсивности оптического излучения на выходе волновода составляла не более 50%. Наблюдаемая в краевой зоне осцилляция кривой объясняется эффектом многолучевой интерференции в полосковой структуре. Четкость интерференционной картины обусловлена как достаточным качеством оптической обработки боковых поверхностей волновода, так и высокой однородностью структуры полученных образцов.

На основе полосковых волноводов были изготовлены разветвители с матрицей передачи 16×16 , предназначенные для распределения мощности в волоконно-оптических системах информационного обмена. Структура разветвителя образуется путем соединения полоскового волновода с торцевыми участками уложенных в ряд оптических волокон с диаметром сердцевин 100 мкм и числовой апертурой 0,22.

Измеренное значение вносимых потерь изготовленного образца разветвителя составило не более 5 дБ при неравномерности распределения оптической мощности $\pm 1,5$ дБ, что соответствует требованиям, предъявляемым к разветвителям современными волоконно-оптическими системами передачи информации.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Житковский В. Д., Ключник Н. Т., Яковлев М. Я. Многоплоскостные разветвители на основе слоевых структур из стекла для волоконно-оптических информационных систем // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. — 2002. — № 1–2. — С. 68—73.
2. Ключник Н. Т., Гурьянов А. В., Белянин В. Ф. и др. Формирование оптической волноводной структуры, включающей область из нанокompозитного материала / Нанотехнологии и фотонные кристаллы. Мат-лы I Межрегион. семинара. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. — С. 50—59.
3. Welling F. // J. Appl. Phys. — 1985. — Vol. 57, N 9. — P. 4441—4446.
4. Bauch H., Krause D., Paquet V. et al. Properties of PICVD-fibers with pure SiO_2 -core: the influence of the preform collapse process // J. Opt. Commun. — 1987. — Vol. 8, N 4. — P. 191—197.

К. ф.-м. н. А. Г. БОРИСЕНКО, Б. П. ПОЛОЗОВ,
к. ф.-м. н. О. А. ФЕДОРОВИЧ, к. ф.-м. н. Н. С. БОЛТОВЕЦ,
В. Н. ИВАНОВ, к. т. н. Ю. Н. СВЕШНИКОВ

Украина, г. Киев, Ин-т ядерных исследований, НИИ «Орион»;
Россия, г. Москва, «Элма-малахит»
E-mail: boris@kinr.kiev.ua, interdep@kinr.kiev.ua

Дата поступления в редакцию
05.07 2005 г.

Оппонент к. ф.-м. н. С. В. ГРУШЕЦКИЙ
(БГУИР, г. Минск)

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР НИТРИДА ГАЛЛИЯ

Описаны особенности технологии травления сложных наноструктур, содержащих эпитаксиальные слои нитрида галлия, нанесенные на подложку из сапфира. Изготовлены высокотемпературные датчики Холла.

Нитрид галлия — один из новых полупроводников, привлекающий к себе в последнее время все большее внимание со стороны исследователей и технологов. Это связано с наличием у него прямых зона-зона-переходов, ширина большой запрещенной зоны которых — 3,51 эВ для структуры вюрцита и 3,3 эВ для кубической структуры [1]. Благодаря этой особенности эпитаксиальные структуры нитрида галлия являются перспективными для применения в высокотемпературной оптоэлектронике, СВЧ-микронике, лазерной технике [2]. В частности, они используются для разработки высокоэффективных лазеров с диапазоном излучения от ультрафиолетовой до зеленой областей спектра.

Нитрид галлия используется также для изготовления других источников видимого излучения со спек-

тром, близким к солнечному, которые имеют в данный момент коэффициент преобразования электрической энергии в световое излучение $>40\%$ с планируемыми КПД до 60% [3]. Представляет интерес и разработка высокотемпературных датчиков Холла для измерений магнитных полей, которые могут работать при температурах до 600°C.

Разработка эффективной технологии травления этого нового полупроводникового материала относится к числу актуальных задач. В настоящей работе описаны особенности технологии травления сложных наноструктур, содержащих эпитаксиальные слои нитрида галлия, нанесенные на подложку из сапфира.

Исследования проводились при разработке высокотемпературных датчиков Холла. Использовались сложные наноструктурные слои, содержащие эпитаксиальные слои нитрида галлия. Эпитаксиальные структуры, которые подвергались плазмохимическому травлению, были последовательно нанесены на подложку из сапфира и содержали следующие нанослои: n -структура нитрида галлия ($n\text{-GaN}$), титан, алюминий, борид титана (TiB_2), золото или n -структура нитрида галлия ($n\text{-GaN}$), титан, алюминий, титан,

золото. На оже-профилях структуры контактной системы до и после отжига ее при температуре 700°C в течение 30 с можно не только проследить состав отдельных слоев, но и оценить их толщины [4].

В работе [5] для травления нитрида галлия применялись CCl_4 , CCl_2F_2 и их смеси с азотом. Травление происходило при индукционном разряде с максимальной мощностью высокочастотного генератора (13,56 МГц) — 5 кВт. Максимальные скорости травления GaN при этом составили $250 \text{ \AA}/\text{мин}$.

В нашем случае обработка образцов проводилась в плазмохимическом реакторе (ПХР) с замкнутым дрейфом электронов [6]. Химически активная плазма образовывалась в ПХР при высокочастотном разряде с частотой 13,56 МГц в скрещенном (по отношению к электрическому) и управляемом магнитном поле. Использование ВЧ-разряда в поперечном магнитном поле увеличивает степень диссоциации молекул рабочих газов и степень ионизации атомов, что приводит к увеличению плотности плазмы и радикалов и, соответственно, скоростей травления обрабатываемых материалов. Особенностью данного ПХР является возможность регулирования энергии химически активных ионов от 20 до 700 эВ с помощью управляемых магнитных полей (при неизменных других параметрах разряда).

Магнитное поле создавалось тремя катушками. Верхняя и нижняя катушки с регулировкой тока включены последовательно и синфазно. Средняя катушка включена отдельно, а величину и направление тока в ней можно было также менять. Поэтому в исследованиях изменялась не только напряженность магнитного поля, но и его конфигурация [7], что позволяло регулировать энергию ионов в широких пределах, как отмечено выше. Это дает возможность проводить плазмохимическое травление при низких энергиях ионов без радиационных повреждений поверхностных слоев, а также распыление обрабатываемых материалов.

При обработке эпитаксиальных слоев нитрида галлия, выращенных на сапфировых подложках, возникает несколько проблем. Во-первых, нитрид галлия при травлении в химически активной плазме, образующейся в реакторе при ВЧ-разряде в парах четыреххлористого углерода, может образовывать на поверхности обрабатываемого образца как соединение GaCl_3 с температурой испарения $201,3^{\circ}\text{C}$, так и GaCl_2 с температурой испарения 535°C [8, с. 52, 53]. Для удаления этих соединений с поверхности обрабатываемого материала нужен существенный нагрев подложки или ее достаточно мощная ионная стимуляция, необходимая для улучшения процесса десорбции продуктов реакции GaN с радикалами, атомами и ионами, возникающими в ПХР при ВЧ-разряде в парах CCl_4 . Использовать для травления GaN фторсодержащие соединения нецелесообразно, т. к. образующийся на поверхности GaF_3 имеет температуру испарения 1000°C [8, там же], а при таких высоких температурах удаление продуктов реакции с поверхности нитрида галлия без повреждения никелевой маски толщиной 0,5—1,0 мкм становится проблематичным.

Вторая, более существенная проблема — это необходимость снятия в процессе травления с поверхности образца положительного электрического заряда, который препятствует попаданию ионов хлора на поверхность, что приводит к прекращению процесса травления.

Для снятия поверхностного заряда применялась специальная схема одновременного подключения к ПХР двух высокочастотных генераторов — основного с частотой 13,56 МГц и дополнительного с частотой 440 кГц. Первый генератор создавал химически активную плазму, состоящую из ионов, электронов и радикалов. Второй генератор с частотой 440 кГц позволял снимать заряд с поверхности нитрида галлия. Влияние одного генератора на другой в процессе совместной работы сводилось к минимуму специальными разработанными и изготовленными фильтрами.

Исследования по травлению сложных эпитаксиальных слоев проводились в три этапа (см. таблицу). Первый этап *А* был посвящен исследованиям возможности травления нитрида галлия и отработке приемлемой технологии его травления. Второй этап *Б* был направлен на разработку технологии получения простых структур, содержащих нитрид галлия, с применением маски из никелевой пленки толщиной $\approx 0,5 \text{ мкм}$. И, наконец, третий этап *В* — исследование возможности травления сложных эпитаксиальных наноструктур, содержащих нитрид галлия. Каждый из этих этапов исследований требовал определенных изменений в технологической цепочке, т. к. приходилось решать совершенно разные задачи и травить другие технологические слои.

В качестве рабочих газов при травлении использовались четыреххлористый углерод, а также его смеси с кислородом или с аргонном в разных соотношениях. Давление рабочего газа в реакторе варьировалось в пределах $(1...7) \cdot 10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$ Расходы газов измерялись при помощи двух жидкостных расходомеров с одинаковыми параметрами. Разность высот уровней вакуумного масла в расходомерах измерялась в мм, а отношение высот к их сумме дает процентное отношение потока газов в ПХР.

Энергия ионов регулировалась с помощью управляемых магнитных полей от 80 до 500 эВ. Мощность основного генератора $P_{\text{ген}}$ (13,56 МГц) в двух первых сериях исследований не превышала 1 кВт при суммарном токе $I_{\text{разр}}$ в разряде 8 А и токе $I_{\text{доп}}$, создаваемом дополнительным генератором (440 кГц), не более 4,5 А. При низких энергиях ионов (80 эВ) в разряде в CCl_4 процесс травления GaN проходит очень медленно и поверхность образца при этом становится черной (загрязненной) (табл., *А*). Видимо, это связано с осаждением углерода или полимерных пленок на обрабатываемой поверхности.

На масс-спектрограммах, полученных в процессе травления (см. рисунок), наблюдаются пики CCl_3^+ , CCl_2^+ , CCl^+ , Cl^+ , C^+ и другие. Это, с одной стороны, свидетельствует о высокой эффективности работы ПХР при диссоциации исходного рабочего газа, а с другой — показывает наличие атомов углерода, которые могут сорбироваться на поверхности обрабатываемых структур. При расшифровке масс-спек-

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Режимы травления образцов на сапфировой подложке:

A — отработка технологии травления GaN; *B* — травление образцов GaN; *B* — травление эпитаксиальных слоев GaN

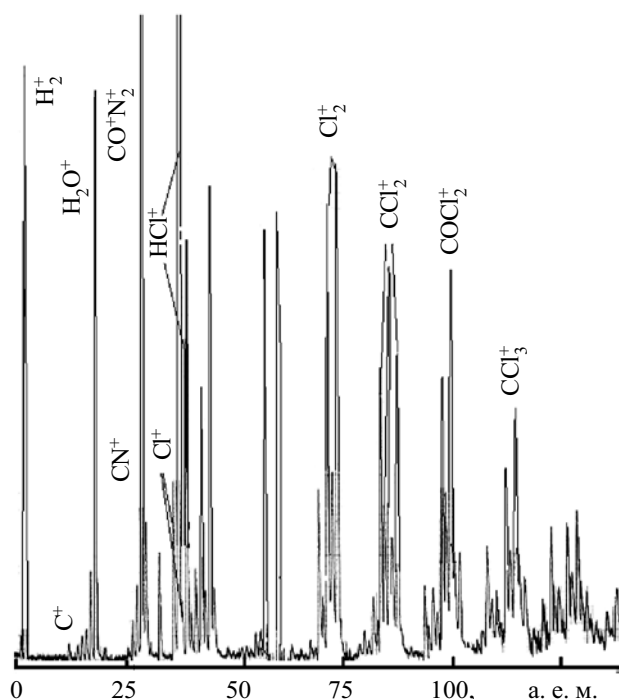
Номер образца	Рабочие газы		Давление газа в реакторе, мм рт. ст.	$P_{ген}$ Вт (13,65 МПа)	$I_{доп}$ А (440 кПа)	$I_{разр}$ А	Напряжение смещения, В	Время травле- ния, мин	Скорость травле- ния, Å /мин	Примечание
	CCl ₄	O ₂ , Ar								
А										
1	130	—	0,065	800	2,0	6,0	150	15	...	Недотравлен
1	130	—	0,067	900	2,4	6,5	220	30	...	Распыляется маска
2	130	—	0,067	800	2,0	6,0	150	55	...	Недотравлен
2	80	50 (O ₂)	0,067	800	2,0	6,0	150	7+3	...	3 мин только в O ₂
3	50	15 (O ₂)	0,040	900	3,0	7,0	100	20	...	Поверхность загрязнена
3	—	90 (O ₂)	0,035	900	3,2	8,0	150	5	...	Поверхность очистилась
3	50	15 (O ₂)	0,040	900	3,0	8,0	150	20	...	Поверхность загрязнена
3	—	50 (O ₂)	0,040	900	3,0	8,0	150	10	...	Поверхность очистилась
3	50	15 (O ₂)	0,040	900	3,2	8,0	150	30	...	Поверхность загрязнена
3	—	100 (O ₂)	0,030	800	3,6	7,5	200	22	...	Остатки резиста
3	—	100 (O ₂)	0,035	800	3,6	7,5	200	10	...	Поверхность очистилась
4	50	15 (O ₂)	0,040	900	3,0	7,0	100	32	...	Поверхность загрязнена
4	—	90 (O ₂)	0,040	900	3,0	8,0	150	10	...	Поверхность очистилась
4	60	20 (O ₂)	0,042	900	2,8	7,0	150	20	...	Недотравлен
4	60	20 (O ₂)	0,042	900	2,8	7,0	150	5	...	Протрав до подложки
Б										
5	100	—	0,010	1000	2,0	6,5	200	30	...	Под микроскопом (М): травления нет
5	100	—	0,067	1000	2,6	6,0	300	30	≈400	М: глубина травления Δ=1,2 мкм
5	125	—	0,042	1000	4,4	8,5	140	30	...	М: появились трещины
6	130	—	0,070	1000	4,4	9,0	80÷130	40	...	М: практически не травится
6	130	—	0,060	1000	4,2	8,5	80÷220	30	...	М: протрав почти полный
7	130	40 (Ar)	0,067	900	3,8	7,0	400	20	...	М: весь Ni распылился
8	130	10 (Ar)	0,048	900	4,5	8,0	250	20	≈400	М: Δ=1,2 мкм
9	130	10 (Ar)	0,067	900	4,4	8,0	250	30	≈670	Теплая вода. М: поверхность чистая, Ni цел, Δ=2 мкм
В										
10	100	10 (Ar)	0,067	1000	3,8	7,5	260	40	500	М: поверхность чистая, Δ=0,27 мкм
11	120	20 (Ar)	0,080	...	...	12	250	20	125	М: Δ = 0,75 мкм.
12	70	20 (Ar)	0,090	...	...	12	240	30	250	М: Δ= 0,75 мкм
13	70	20 (Ar)	0,075	...	...	11	260	30	250	$T_{воды}$ 50°С, Δ=0,75 мкм
14	70	20 (Ar)	0,055	...	...	12	240—260	70	...	$T_{воды}$ 70°С, снялся Ni
15	70	20 (Ar)	0,075	...	...	10	200	30	...	$T_{воды}$ 55°С, снялся Ni
16	70	20 (Ar)	0,042	...	4,5	10	190	25 +	700	$T_{воды}$ 70°С, Ni цел, Δ=1,5 мкм
			0,090	...	3,2	...	...	10	540	$T_{воды}$ 50°С, Δ=1,5 мкм, Ni распылился полностью

ров следует учитывать, что хлор имеет два устойчивых изотопа — хлор с массой 35 (75,4%) и хлор с массой 37 (24,6%) [9]. Поэтому на масс-спектрах наблюдаются одинаковые соединения с разными массами. Например, CCl₃ с массами 117, 119 и 121, СОСl₂ с массами 98, 100 и 102, CCl₂ — 82, 84 и 86, Cl₂ — 70, 72 и 74, Cl — 35, 37, HCl — 36, 38 и т. д.

Для устранения нежелательных образований (полимерных пленок), образующихся на поверхности образца после процесса травления GaN, использовался разряд в кислороде в течение 3—10 мин при энергиях ионов кислорода ≈150 эВ. В результате такой обработки поверхность образцов становилась чистой (табл. A): с поверхности удалялись также все ради-

калы и хлор, которые могли способствовать разрушению образцов при попадании на них влаги при дальнейшем хранении или работе с ними.

Для предотвращения образования полимерных пленок на поверхности образцов в процессе травления нитрида галлия при разряде в четыреххлористом углероде в реактор добавлялся кислород в соотношении 3:1. Предполагалось, что в результате сильно-экзотермической реакции соединения углерода с кислородом $C+O=CO+11,11$ эВ или $2C+O_2=2CO+17,1$ эВ будет образовываться летучее соединение СО, и поверхность, таким образом, не будет загрязняться. (Следует учитывать, что применение этой смеси может давать хорошие результаты при травлении нитрида



Масс-спектры продуктов диссоциации и продуктов химических реакций, происходящих в ПХР при высококачественном разряде в $\text{CCl}_4 + \text{O}_2$

галлия, но при травлении титана, алюминия или, тем более, сапфира ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) добавка кислорода может полностью блокировать процесс травления.) Поверхность, полученная после травления, действительно несколько улучшалась (табл., А), но для выбора оптимального режима требуется дальнейшая отработка технологии.

Вместе с тем при работе ПХР на смеси газов $\text{CCl}_4 + \text{O}_2$ на масс-спектрах наблюдается SOCl_2 (фосген), который является очень токсичным и вредным для обслуживающего персонала. Поэтому для улучшения экологичности технологии и увеличения безопасности работы на ПХР была отработана технология травления эпитаксиальных слоев нитрида галлия без добавок кислорода.

С целью увеличения ионной стимуляции поверхности образца в камеру ПХР добавлялся аргон в количестве до 25% от объема основного рабочего газа, что также приводило к уменьшению полимерной пленки на поверхности образцов.

Увеличение энергий ионов до 400 эВ приводило к полному разрушению (распылению) никелевой маски уже при экспозициях, не превышающих 20 мин (табл., Б). Оптимальными оказались режимы обработки эпитаксиальных структур при энергиях ионов 200—260 эВ, при которых еще не происходило существенного распыления маски из никеля, но достаточно эффективно происходило травление структур, содержащих нитрид галлия, нанесенных на сапфировую подложку.

Как уже отмечалось выше, температура испарения возможных продуктов реакции GaN с хлором с поверхности образца составляет достаточно большие величины (200—535°C), поэтому наряду с полимерными пленками на поверхности образца мо-

гут, вероятно, находиться и продукты реакции хлора с нитридом галлия (GaCl_2 и GaCl_3). Для стимуляции их десорбции с обрабатываемой поверхности производился подогрев воды, используемой для охлаждения реактора.

Таким образом, при мощности основного генератора 1 кВт, суммарном токе в разряде 8 А, токе дополнительного генератора 3,8 А, давлении рабочего газа в камере $7 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. при соотношении $\text{CCl}_4:\text{Ar}$ 10:1 и температуре охлаждающей воды +20°C скорость травления нитрида галлия составляла 400 Å/мин, а при подогреве подложки (температура охлаждающей воды 40°C) скорость травления GaN возрастала до 670 Å/мин (табл., Б). При экспозиции 30 мин данный режим также обеспечивал протравливание сапфировой подложки на глубину до 0,3 мкм, которое необходимо для устранения возможных остатков GaN, внедренных в подложку.

Сложные эпитаксиальные наноструктуры, как отмечалось выше, содержали *n*-структуру нитрида галлия, титан, алюминий, борид титана (TiB_x), золото или *n*-структуру нитрида галлия, титан, алюминий, титан, золото [4]. Как отмечалось в работе [10], добавка 10% кислорода при травлении алюминия в плазме паров CCl_4 полностью блокирует процесс ПХТ. При обработке структур было необходимо также травление сапфира на глубину 0,3—0,5 мкм ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), а наличие кислорода блокирует травление этого материала из-за больших энергий связи кислорода с алюминием (5—7 эВ) [9, с. 356]. Поэтому необходимо было отработать технологию травления сложной структуры в рабочих газах, не содержащих кислород.

В то же время для очистки поверхности и улучшения десорбции продуктов реакции необходима дополнительная ионная стимуляция поверхности. Для этого использовалась добавка аргона в плазму CCl_4 . Несмотря на то, что потенциал ионизации аргона 15,76 эВ, а хлора — 13,01 эВ [9, там же], для получения иона аргона требуется меньшая энергия, т. к. для образования иона хлора вначале необходимо диссоциировать молекулу CCl_4 . Кроме того, аргон, в отличие от кислорода, химически нейтрален и способствует только стимуляции поверхности к десорбции с нее продуктов реакции.

Таким образом, удалось успешно протравить сложные эпитаксиальные структуры с нитридом галлия общей толщиной примерно 1 мкм и сделать затрав в сапфир на 0,5 мкм за 35 мин. При этом средняя скорость травления эпитаксиальных структур составила 700 Å/мин, а при травлении сапфира средняя скорость уменьшалась до 540 Å/мин (табл., В). Для сравнения: при этих же условиях скорость распыления никеля была 230 Å/мин, скорость травления арсенида галлия — 4000 Å/мин, а алюминия — 5000 Å/мин. Понятно, что сравнительно низкая скорость травления сложных структур связана с тем, что скорости травления пленок, входящих в такую структуру, сильно отличаются, а, например, пленки титана намного быстрее травятся во фторсодержащих соединениях. Поэтому необходима дальнейшая доработка технологии травления сложных структур.

Увеличение плотности тока в разряде (табл., В) приводило к более быстрому распылению никелевой маски (например, при токе разряда 12,0 А и напряжении автосмещения 250 В). Поэтому необходима работа по увеличению стойкости никелевых масок и изучению зависимости стойкости масок от метода их напыления.

Следует отметить, что имеются пути увеличения скорости травления таких эпитаксиальных структур. Это, с одной стороны, увеличение разрядного тока в плазмохимическом реакторе при неизменной энергии ионов, с другой — подбор оптимальных составов газов, применяемых в качестве рабочих, т. к. приходится травить не только нитрид галлия, но и другие пленки, входящие в состав разработанных высокотемпературных контактов, выдерживающих, согласно работе [4], температуру 700°C без деградации.

На основе проведенных исследований были разработаны высокотемпературные датчики Холла для измерения напряженностей магнитных полей.

Выводы

Таким образом, в плазмохимическом реакторе с замкнутым дрейфом электронов проведена обработка образцов эпитаксиальных слоев, содержащих нитрид галлия, и показана возможность травления таких структур в хлорсодержащей плазме. Разработана методика снятия поверхностного заряда с нитрида галлия, нанесенного на сапфир.

Предложена технология травления сложных эпитаксиальных слоев с GaN и получены скорости травления таких слоев до 700 Å/мин. Показано, что такие слои с нитридом галлия толщиной 1,0 мкм могут быть протравлены через маску из никеля толщиной 0,8 мкм с реализацией травления сапфировой подложки на глубину до 0,5 мкм.

Установлено, что травление эпитаксиальных слоев, содержащих нитрид галлия, является достаточно эффективным при энергиях ионов 250 эВ. При травлении в плазме с энергиями ионов ≥ 350 эВ происходит распыление никелевой защитной маски. Намечены пути увеличения скоростей травления сложных эпитаксиальных структур, содержащих нитрид галлия.

На основе проведенных исследований разработаны высокотемпературные датчики Холла для измерений напряженностей магнитных полей.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Rumyantsev S. L., Shur M. S., Levinstein M. E. Materials properties of nitrides // International Journal of High Speed Electronics on Systems.— 2004.— Vol. 14, N 1.— P. 1—19.
2. Данилин В. Н., Докучаев Ю. А., Жуков Т. А., Комаров М. А. Мощные высокотемпературные радиационностойкие СВЧ-приборы нового поколения на широкозонных гетеропереходах AlGaIn/GaN // Обзоры по электронной технике. Сер. СВЧ-техника.— 2001.— Вып. 1.
3. Луценко Е. В., Зубелевич В. З., Павловский В. Н и др. Импульсные лазеры УФ-синей области спектра на основе гетероструктур GaN, выращенных на кремниевых подложках / Мат-лы междунар. науч. школы «Физика импульсных разрядов в конденсированных средах». — Николаев: Атолл, 2003.— С. 65—67.
4. Boltovets M. S., Ivanov V. N., Avksentyev A. Yu. et al. High temperature contacts to GaN and SiC based on TiB_x nanostructure layers / Materials Science Forum. Vol. 483—485. Trans. Tech Publications, Switzerland, 2005.— P. 1061—1064.
5. Vassilevski K. V., Sizov V. E., Babanin A. J. et al. Dryetching of gallium nitride using CCl_2F_2 , CCl_4 , and their mixtures with N_2 and air / Just. Phys. Conf., Ser. N 142, Chapter 6.— Paper presented at Silikon Carbide and Related Materials 1995 Conf.— Kyoto, Japan.— P. 1027—1030.
6. Коновал В. М., Усталов В. В., Федорович О. А. ПХР с замкнутым дрейфом электронов для производства элементов с субмикронными размерами / Мат-лы 6-й Междунар. Крымской микроволновой конференции «КрымМиКо-96». — Севастополь, Крым, Украина.— 1996.— С. 285—288.
7. Коновал В. М., Попов А. Ю., Усталов В. В. Модернизированный плазмохимический реактор с замкнутым дрейфом электронов для травления датчиков пироприемников / Мат-ли щорічн. наук. конф. ІЯД НАН України.— Київ.— 1995.— С. 173—176.
8. Горюновский И. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф. Краткий справочник по химии.— Киев: Изд-во АН УССР, 1962.
9. Эберт Г. Краткий справочник по физике.— М.: Госиздат физ.-мат. литературы, 1963.
10. Коновал В. М., Усталов В. В., Федорович О. А., Чабан Б. И. Плазмохимическое травление алюминиевых пленок с микронными и субмикронными размерами элементов при низких энергиях ионов // Труды Украинского вакуумного общества.— 1995.— Т. 1.— С. 57—60.

в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

- Прибор «Регион» для космического эксперимента «Кольцо» на борту МКС. (Украина, г. Одесса, Киев; Россия, г. Москва)
- Обзор мирового рынка печатных плат. (Россия, г. С.-Петербург)
- Интегральный первичный преобразователь давления на основе кремния с разделительной мембраной. (Украина, г. Киев, Винница)
- Устройство для управления шаговым двигателем на ПЛИС. (Украина, г. Одесса)
- Пьезокерамические электроакустические преобразователи мембранного типа. (Украина, г. Донецк)
- Мощные бескорпусные MOSFET-транзисторы для поверхностного монтажа. (Беларусь, г. Минск)
- Электропроводность нанокомпозитов с хаотической структурой. (Украина, г. Одесса)
- Информационные технологии чтения маркировочных надписей компонентов печатных узлов в системах автоматизированного оптического контроля. (Украина, г. Одесса)
- Алгоритм анализа показателей качества электромагнитной совместимости РЭС АСУ. (Россия, г. С.-Петербург)
- Оптимизация аппаратно-программного обеспечения для автоматизации спектрофотометра СФ-20. (Украина, г. Черновцы)

в портфеле редакции



в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции