

А. В. ИВАЩУК, В. П. КОХАН

Украина, г. Киев, Науч.-производств. предприятие «Сатурн»

Дата поступления в редакцию  
22.05 2000 г.

Оппонент к. ф.-м. н. Е. М. СЕМАШКО

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЧИСТКИ И ЛЕГИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКА

*Предложено устройство и технология обработки поверхности полупроводника в едином технологическом цикле с нанесением металлизации барьерных и омических контактов.*

Существует множество технологий для очистки поверхности полупроводника в вакуумной камере. Все они в основном сводятся к тому, что подложка закрепляется на катоде, на электроды подается определенное напряжение и в рабочей зоне магнитной системой формируется плазма. Экстрагированные из плазмы ионы ускоряются приложенным напряжением, направляются на подложку и выбивают с поверхности атомы загрязнений [1, с. 234–262]. Однако недостатком таких технологий является то, что не все выбитые атомы удаляются вакуумной системой. Некоторые из них, неоднократно отражаясь от поверхности вакуумной камеры и оснастки, осаждаются на поверхность полупроводника. Кроме того, на поверхность полупроводника могут осаждаться атомы, выбитые из материала самой оснастки.

Целью данной работы является разработка устройства, которое позволяло бы собирать выбитые с поверхности атомы и молекулы загрязнений, которые не откачиваются вакуумной системой, утилизировать их, а саму поверхность полупроводника обогатить необходимыми атомами. При этом последующее нанесение металлических покрытий должно осуществляться в едином технологическом цикле без разгерметизации вакуумной камеры.

### Конструкция устройства

Схематически устройство для очистки поверхности полупроводника представлено на рисунке. Устройство может монтироваться в вакуумной камере промышленной установки нанесения металлов 5 (например УРМЗ.279.047) и включает в себя магнитную систему 4, анод 8, катоды 1, 1<sup>I</sup> и 1<sup>II</sup>. Напряжение на электроды 8, 1 подается источником напряжения 6. Рабочий газ напускается в вакуумную камеру через систему напуска газа 7. Объем вакуумной камеры откачивается с помощью откачной системы 9.

Магнитная система сконструирована аналогично магнитной системе плоского магнетрона [2, с. 48, 49].

Дополнительный катод 1<sup>I</sup> и анод изготовлены из титана, основной катод 1, на котором крепятся подложки, — из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. В разрядном зазоре создается магнитное поле со средним значением магнитной индукции 0,05 Тл. Второй дополнительный катод 1<sup>II</sup> изготовлен из никеля и на нем закреплены пластины германия, которые занимают ~ 50% его площади. Дополнительные катоды могут перемещаться до совмещения с поверхностью магнитной системы со стороны анода. Площадь анода в 2–5 раз больше площади обрабатываемых полупроводниковых подложек.

Расстояние «анод — катод» определяется из условий

$$r_e < d_{ак}, R_i \sim d_{ак},$$

где  $r_e$  — ларморовский радиус электрона;

$R_i$  — ларморовский радиус иона;

$d_{ак}$  — расстояние между катодом и анодом (для выбранных режимов ~ 30 мм).

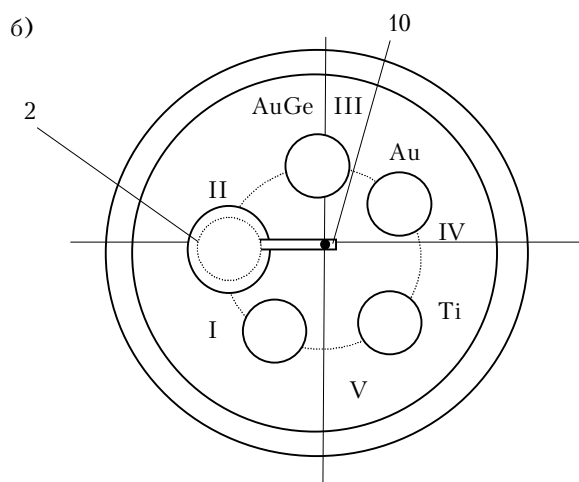
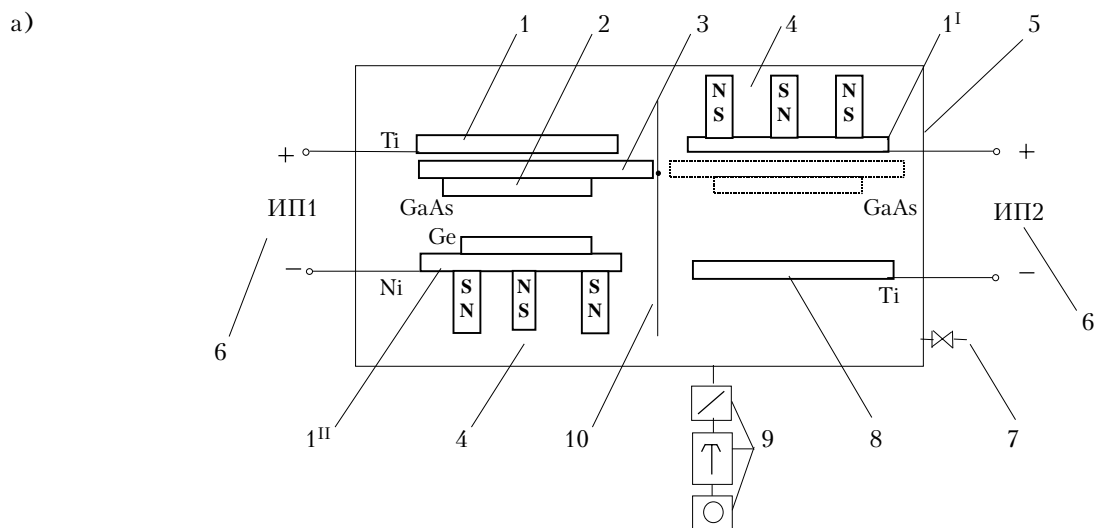
Столик 2 устанавливается на карусели 3, которая вращается вокруг оси 10 и совмещается с позициями I — травления подложек, II — активации подложек в разряде необходимыми атомами, III — напыления сплава AuGe, IV — напыления золота, V — напыления тугоплавких металлов (Ti, Ni, Mo, W и др.) из поворотного тигля.

### Технология очистки поверхности полупроводника

Очистка рабочих поверхностей подложки осуществляется следующим образом.

Объем вакуумной камеры откачивается до остаточного давления  $10^{-4}$  Па, через систему напуска газа подается рабочий газ (аргон 99,99%) до давления  $5 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-1}$  Па. Подводится дополнительный катод 1<sup>I</sup> до плотного механического контакта со всей поверхностью магнитной системы со стороны анода. На электроды подается напряжение ~ 400 В и зажигается разряд. В результате на аноде формируется пленка толщиной в несколько десятков нм атомно-чистого титана. После завершения формирования атомно-чистой пленки дополнительный титановый катод отводится в сторону и снимается напряжение с электродов.

На место дополнительного катода устанавливается основной катод с подложками — также до плотного механического контакта со всей поверхно-



Схематическое изображение устройства для очистки рабочей поверхности полупроводника (а) и расположение позиций (б):

I – травление подложек; II – активирование подложек в разряде требуемыми атомами; III – напыление сплава AuGe; IV – напыление золота; V – напыление тугоплавких металлов (Ti, Ni, Mo, W и др.) из поворотного тигля  
1, 1<sup>I</sup> и 1<sup>II</sup> – катоды; 2 – столик; 3 – карусель; 4 – магнитная система; 5 – промышленная установка нанесения металлов; 6 – источник напряжения; 7 – система напуска газа; 8 – анод; 9 – откачная система; 10 – ось

стью магнитной системы. Давление аргона снижается до  $(1 - 5) \cdot 10^{-2}$  Па, на электроды подается напряжение  $\sim 500$  В и между электродами зажигается разряд. В результате ионной бомбардировки с рабочих поверхностей подложек выбиваются частицы загрязнений. В первую очередь это будут молекулы  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2O$ , CO, радикалы органических соединений и т. д. Энергия десорбции этих молекул значительно ниже энергии связи с атомно-чистой пленкой титана.

Затем подложки, если необходимо нанести барьерную композицию, переводятся на позиции нанесения металлов V и IV. В том же случае, если стоит задача сформировать омический контакт, устройство дает возможность очищенную поверхность подложек (например, GaAs) обогатить атомами Ge и Ni. Для этого подводится дополнительный никелевый катод с закрепленным на приблизительно половине площади германием. Потенциал на катоде с подложками меняется на противоположный и проводится осаждение атомов Ge и Ni на очищенную поверхность подложек GaAs при напряжении, которое еще сохраняет устойчивость разряда между электродами ( $\sim 300$  В), и рабочем давлении  $(1 - 5) \cdot 10^2$  Па.

#### Исследование экспериментальных образцов

Эффективность такой технологии очистки поверхности GaAs и нанесения металлизации в едином технологическом цикле апробирована при форми-

ровании омических контактов [3], а также барьерных контактов на основе композиции Ti – Au. Электрофизические характеристики контакта Ti – GaAs в достаточной степени термостабильны, воспроизводимы и хорошо исследованы [4].

В качестве подложек GaAs использовались эпитаксиальные структуры  $n - n^+$ -типа с концентрацией носителей заряда в  $n$ -слое  $\sim 1 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>. Перед загрузкой в камеру поверхность пластин GaAs обрабатывалась в органических растворителях и травителе  $H_2O_2:NH_4OH:H_2O$  (0,3:1:20 об. ч.) в течение 3 с с последующей промывкой в деионизованной воде.

Было изготовлено две серии образцов. На образцы 1-й серии наносились слои Ti толщиной  $\sim 80$  нм с помощью электронно-лучевого испарителя и Au толщиной  $\sim 300$  нм с помощью резистивного испарителя в вакууме  $5 \cdot 10^{-5}$  Па без дополнительной очистки поверхности в плазме. На образцах 2-й серии точно такой же барьерный контакт формировался с предварительной очисткой. Температура предварительного прогрева подложек GaAs перед металлизацией составляла  $60 - 80^\circ C$ .

Исследовалась стабильность сформированных таким образом барьерных контактов после термообработки в атмосфере сухого азота при температурах  $300, 330$  и  $360^\circ C$  в течение 10 мин с помощью известных методик [5, с. 57 – 62]. Анализ результа-

Параметры барьеров Шоттки после прогрева в атмосфере азота  
( $t=10$  мин; ВАХ, ВФХ – вольт-амперная и вольт-фарадная характеристики барьера Шоттки)

Температура термообработки, °С	Образцы					
	1-я серия			2-я серия		
	Высота барьера $\Phi_b$ , эВ		Коэффициент идеальности $n$	Высота барьера $\Phi_b$ , эВ		Коэффициент идеальности $n$
по ВАХ	по ВФХ	по ВАХ		по ВФХ		
–	0,82	0,80	1,16–1,19	0,85	0,83	1,12–1,14
300	0,84	0,81	1,11–1,12	0,86	0,84	1,11–1,12
330	0,84	0,74	1,23–1,25	0,86	0,83	1,12–1,15
360	0,83	0,75	1,25–1,27	0,84	0,83	1,13–1,15

тов исследований, представленных в **таблице**, показывает, что барьерные контакты, сформированные с предварительной очисткой поверхности, отличаются значительно большей термостабильностью. Это свидетельствует о том, что предложенная технология позволяет производить эффективную очистку поверхности полупроводника от технологических загрязнений и в то же время не вносить в нее структурных повреждений.

\*\*\*

Таким образом, предложенное устройство для очистки и легирования поверхности полупроводника может эффективно использоваться для формирования барьерных и омических контактов при изготовлении сверхвысокочастотных полупроводниковых приборов на GaAs.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Черняев В. Н. Физико-химические процессы в технологии РЭА. – М.: Высшая школа, 1987.
2. Данилин Б. С., Сыргин В. К. Магнетронные распылительные системы. – М.: Радио и связь, 1982.
3. Иващук А. В. Формування омичних контактів з одночасним очищенням поверхні арсеніду галію і її легуванням атомами германію // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2000. – Вип. 2. – С. 5–8.
4. Семашко Е. М., Босый В. И., Иващук А. В., Кохан В. П. Электрофизические характеристики контакта титан–GaAs // Электронная техника. Сер. Полупроводниковые приборы. – 1984. – Вип. 1. – С. 46–51.
5. Родерик Э. Х. Контакты металл–полупроводник. – М.: Радио и связь, 1982.

#### НОВЫЕ КНИГИ

**Филипенко О. И. Компоненты волоконно-оптических систем. – Харьков, 1999. – 112 с.** (На украинском языке.)

Изложены основные положения теории распространения электромагнитных волн оптического диапазона в диэлектрических волноводах. Рассмотрена классификация оптических волокон и оптических кабелей, материалы и технология производства оптических волокон, средства соединения и разветвления оптических волокон.

**Осадчук В. С., Осадчук О. В. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем. – Винница, 1999. – 275 с.** (На украинском языке.)

В монографии представлены исследования индуктивных и емкостных свойств транзисторов и транзисторных схем в широком диапазоне частот. Исследованы зависимости параметров реактивных элементов от режима эксплуатации.

Рассмотрены схемотехнические методы реализации функций индуктивности и емкости на основе гираторных схем. Рассчитаны основные параметры устройств микроэлектроники на основе реактивных свойств полупроводниковых приборов.



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

➤ Экспериментальные исследования тепловых режимов вторичных источников электропитания на основе тепловых труб и термоэлектрических устройств. *В. И. Гниличенко, С. П. Ткачев, В. Б. Ткаченко (Украина, г. Одесса)*

➤ Расчет лазернолокационной аппаратуры дистанционного зондирования загрязнений водной поверхности. *Ф. Г. Агаев, А. Т. Мехтиев (Азербайджан, г. Баку)*



➤ Конструктивно-технологические пути повышения качества и надежности прибора для термоакупунктуры. *А. Г. Шайко-Шайковский, А. А. Ащеулов (Украина, г. Черновцы)*

➤ Современные радиотехнологии и надежность доступа сотовых сетей к стационарным сетям электросвязи. *В. И. Борщ, В. В. Коваль, Ю. Г. Туманов (Украина, г. Одесса)*

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