

УДК 621.382.002.2  
КОНТРОЛЬ ПОРИСТОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

Е. В. ТЕЛЕШ  
УО «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»  
Минск, Беларусь

В тонких пленках характерным трехмерным дефектом является сквозная макроскопическая пора, пронизывающая пленку. Образование сквозных пор в пленках, полученных испарением или ионным распылением в вакууме, объясняется загрязнением подложки, поглощением газов во время конденсации, бомбардировкой растущего слоя макроскопическими частицами испаряемого материала. Контроль пористости тонкопленочных покрытий особенно важен при изготовлении приборов на основе арсенида галлия, т. к. этот полупроводник не имеет качественного собственного оксида. Для надежной пассивации поверхности GaAs необходимо наносить извне качественные диэлектрические слои. С другой стороны, при высокотемпературном отжиге арсенида галлия происходит испарение мышьяка, поэтому необходимо применять защитные покрытия с минимальной пористостью. Поэтому контроль пористости пленок является актуальной проблемой.

Наиболее часто применяется способ контроля пористости покрытий на полупроводниковых подложках, основанный на электрохимическом взаимодействии капли водного электролита с подложкой [1]. Метод обладает высокой чувствительностью. Наименьший размер поры, который этот способ позволяет фиксировать, составляет всего 0,1 мкм. Однако с помощью этого способа невозможно определить пористость покрытий из металлов или других электропроводящих материалов, т. к. в этом случае происходит короткое замыкание электродов. Кроме того, этим способом можно оценить лишь общую площадь сквозных пор, т. е. нельзя определить диаметр каждой из пор.

Разработанная авторами методика контроля пористости покрытий на подложках из сложных полупроводников  $A_{III}B_V$  позволяет определять пористость покрытий как из диэлектрических, так и из электропроводящих материалов, а также диаметр пор, обладает высокими экспрессностью, чувствительностью и разрешающей способностью.

В основу методики положено явление испарения компонентов сложного полупроводника при высоких температурах. Сущность метода контроля заключается в том, что на поверхность исследуемого покрытия предварительно наносят вспомогательную пленку толщиной 0,1–1,0 мкм. Пленку наносят из материала, отношение температуры плавления которого к температуре свободного конгруэнтного испарения летучего компонента (As, P, Sb) сложного полупроводника, из которого изготовлена подложка, находится в пределах 1,0–1,1 мкм. Затем осуществляется нагрев подложки с покрытием при

давлении, верхняя граница которого находится в пределах  $10^{-2}$ – $5 \cdot 10^{-2}$  Па, до температуры плавления материала вспомогательной пленки, с последующей выдержкой при этой температуре, до вспучивания поверхности пленки в местах расположения пор под действием давления паров летучего компонента.

Вспомогательная пленка позволяет сформировать закрытый объем, ограниченный поверхностью подложки, вертикальными стенками поры и нижней поверхностью этой пленки. В процессе нагрева подложки до температуры плавления материала вспомогательной пленки в этом объеме будет скапливаться газ, создавая тем самым некоторое избыточное давление в закрытом объеме под пленкой. Т. к. вспомогательная пленка будет расплавлена, т. е. находится в жидком состоянии, то газ, содержащийся внутри поры, будет вспучивать жидкую пленку в местах расположения пор в виде бугорков, причем диаметр бугорков будет определять диаметр пор. Образование бугорков будет происходить лишь тогда, когда давление газа внутри поры будет превышать давление окружающей среды. Поэтому термообработку необходимо проводить в вакууме. Экспериментальные исследования показали, что для этого достаточен вакуум с давлением не выше  $10^{-2}$ ... $5 \cdot 10^{-2}$  Па. Время выдержки в вакууме контрольной структуры, т.е. подложки с покрытием и нанесенной на поверхность последнего вспомогательной пленкой, в вакууме определяется моментом вспучивания поверхности вспомогательной пленки в местах расположения пор и на практике не превышает 10-15 мин. Температура плавления материала пленки должна быть выше или равна температуре свободного конгруэнтного испарения полупроводника, из которого изготовлена подложка. Это необходимо для того, чтобы создать давление, достаточное для вспучивания пленки. Толщина вспомогательной пленки определяется следующим. При толщине менее 0,1 мкм сложно сформировать беспористое и однородное пленочное покрытие, а при толщине более 1 мкм в пленке, под воздействием внутренних механических напряжений, могут возникнуть трещины, отслоения. В каждом из этих двух случаев будут создаваться условия для увеличения погрешности контроля. Кроме того, слишком толстая вспомогательная пленка затрудняет выявление пор диаметром порядка 0,1 мкм.

Выполнение операции генерации газа путем нагрева подложки позволяет осуществлять контроль как диэлектрических, так и электропроводящих покрытий, т.к. материал покрытия не оказывает влияния на процесс газообразования и, следовательно, на фиксацию пор. Предлагаемый способ обладает высокой экспрессностью, т. к. процесс нанесения вспомогательной пленки и термообработку, полученной структуры, современное технологическое оборудование позволяет осуществить за 30–40 мин.

Высокая чувствительность заявляемого способа обеспечивается за счет применения тонкой вспомогательной пленки, наносимой на исследуемое покрытие. В случае, когда толщина пленки составляет 0,1 мкм, можно обнару-

жить и зафиксировать поры диаметром порядка 0,1 мкм. Высокая разрешающая способность способа обусловлена тем, что диаметр бугорка на поверхности вспомогательной пленки соответствует диаметру поры. Следовательно, расстояние, на котором две рядом расположенные поры будут фиксироваться отдельно, будет мало, т. е. разрешающая способность окажется высокой. На рис. 1. изображена структура для контроля пористости покрытия (а) и вид поверхности структуры Al/TiB<sub>2</sub>/GaAs (б).

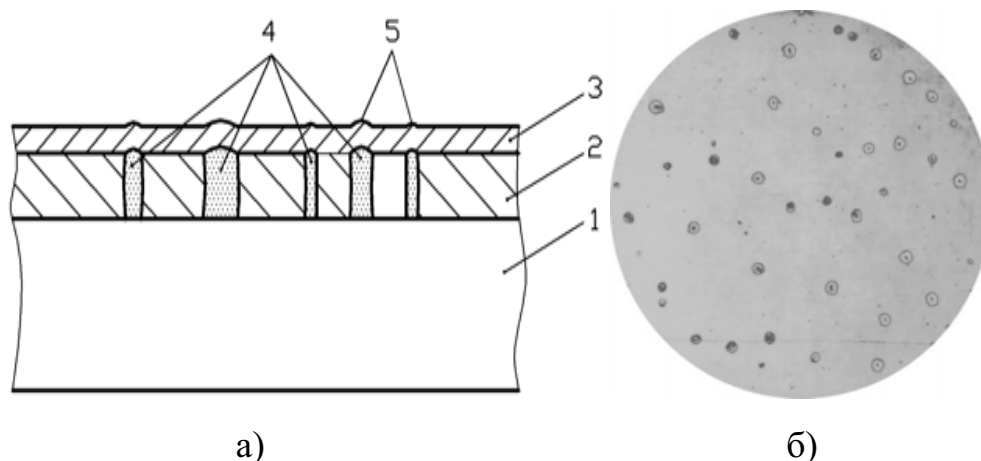


Рис. 1. Структура для контроля пористости (а) и вид поверхности исследуемой структуры Al/TiB<sub>2</sub>/GaAs (б): 1 – подложка из сложного полупроводника; 2 – исследуемое покрытие; 3 – вспомогательная пленка; 4 – поры, заполненные газом; 5 – бугорки на поверхности вспомогательной пленки

Таким образом, разработанный способ контроля пористости может найти широкое применение в технологических процессах, связанных с формированием покрытий на подложках из сложных полупроводников при изготовлении интегральных схем и полупроводниковых приборов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фогель, В. А.** Электрохимический метод определения пористости диэлектрических пленок / В. А. Фогель // Электронная техника, сер. 2. – 1971. – вып. 1. – С. 87–93.

E-mail : [etelesh@mail.ru](mailto:etelesh@mail.ru)