

Высокотемпературный фотополимер в технологии изготовления мощных СВЧ транзисторов (краткое сообщение)

Диковский В. И.

Использование высокотемпературного позитивного фотополимера позволило упростить технологию изготовления мощных СВЧ транзисторов. Был опробован американский фотополиимид типа HD-8820, то есть полиимид со встроенным в его структуру фоточувствительным веществом (это как бы позитивный фоторезист, но с повышенной предельной температурой (~ 400°C), используемой в технологических процессах) [1]. Результат его использования был положительным, но недостатком явилось то, что храниться в нормальных условиях он не может более двух недель, так как вязкость его падает. Срок хранения в морозильнике при $T = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ не превышает 6 месяцев. Неудобным является и то, что перед применением его необходимо прогревать до комнатной температуры.

Оказалось, что в Санкт-Петербурге в лаборатории ИВС РАН была проведена работа по созданию высокотемпературного фотополимера [2], но не на основе полиимида, а на основе поли (о-гидроксиамида) (ПОА). При этом для повышения адгезии фотополимера к поверхностям Au и Si_3N_4 в него вводился Si-содержащий амин. Существенным преимуществом созданного фотополимера была возможность его длительного хранения при нормальной температуре без изменения его вязкости, то есть с сохранением зависимости толщины наносимого слоя при заданном режиме работы центрифуги. Следует отметить, что толщина наносимого слоя фотополимера (как и фоторезиста) зависит не только от установившейся скорости вращения центрифуги, но и от ускорения, являющегося также характеристикой центрифуги. В процессе формирования транзисторов фотополимер использовался в качестве диэлектрика, разделяющего верхний и нижний металлизационные слои.

После формирования 1-го слоя фотополимера и его проявления термообработка проводилась на термоплате от 100 °C до 400 °C в атмосфере аргона в течение одного часа с выдержкой при $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 минут, после чего сформированный слой прогревался в диффузионной печи в нейтральной среде при $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение одного часа. После нанесения 2-го слоя фотополимера проводилась фотогравировка так, чтобы области проявления были совмещены. Окончательная термообработка проводилась в печи в потоке аргона при температуре $\approx 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1,5-2 часов.

Слой фотополимера, полученный двукратным нанесением, в результате полного задубливания имел толщину 2,7-3,0 мкм. Его диэлектрическая постоянная ϵ равна 3,5.

Положительным качеством фотополимера является отсутствие микротрещин в отличие от использования неорганического диэлектрика.

Достаточно большая толщина фотополимера позволила исключить формирование глубокого ($\approx 2\text{ мкм}$) слоя SiO_2 по периметру границы коллекторного р-п перехода и обеспечить снижение ёмкости коллекторных площадок, выносимых на поверхность фотополимера в составе второго уровня металлизации. Контакт между двумя уровнями контактной металлизации осуществляется через щели, проявленные в указанных слоях диэлектрика. При этом важно защитить поверхность золотых шин первого уровня металлизации от взаимодействия (при сборке транзистора) с адгезионным слоем Ti

второго уровня металлизации. Это осуществляется нанесением тонкого слоя Pt на золотую шину первого уровня металлизации. Кроме того, слой силана, используемый для повышения адгезии и сохраняющийся после проявления слоёв фотополимера, удаляется ионно-химическим травлением с потерей толщины фотополимера не более 0,15-0,2 мкм.

Полученные образцы биполярных транзисторов при $l_3 = 80$ мкм и ширине p^+ -эмиттерных и p^+ -базовых дорожек 1,5 мкм, при шаге структуры равном 6 мкм и при размещении в корпусе шести кристаллов с суммарной длиной напаянных кристаллов ≈ 12 мм, при $\rho_k = 1,5$ Ом·см имели при напряжении коллекторного питания 40 В не менее 200 Вт выходной импульсной мощности в полосе частот 1,21-1,44 ГГц.

Литература

1. Technical Information: HD Micro Systems // An Enterprise of Hitachi Chemical and DuPont Electronics. – August 2005.

2. Рудая Л. И., Шаманин В. В., Лебедева Г. К., Климова Н. В., Большаков М. Н. Способ получения термостойкого позитивного фоторезиста // Патент Р.Ф. №2379731. Дата приоритета 09.01.2008 г. Дата публикации 20.01.2010 г.

Готовятся к публикации в вып. 2(229) 2012 г. следующие статьи:

1. **Васильев В. Ю.** “Применение методов химического осаждения тонких слоёв из газовой фазы для микросхем с технологическими нормами 0,35-0,18 мкм. Часть 5. Обобщённая методология анализа закономерностей процессов роста тонких слоёв”

2. **Гарбер Г. З.** “Опыт использования Microsoft Excel при математическом моделировании СВЧ транзисторов”

3. **Евдокимова Н. Л., Ежов В. С., Минин В. Ф.** “Определение излучательной способности поверхности полупроводниковых приборов методом отражения”

4. **Сергеев В. А., Ходаков А. М.** “Расчёт и анализ распределения тока и температуры в структуре мощного ВЧ биполярного транзистора с учётом механизмов тепловой обратной связи”

5. **Виноградов Р. Н., Вологдин Э. Н., Дюканов П. А., Корнеев С. В., Савченко Е. М., Смирнов Д. С.** “Исследование деградации параметров интегральных микросхем операционных усилителей при воздействии ионизирующего излучения космического пространства”

6. **Арыков В. С., Дедкова О. А., Кривчук А. С., Ющенко А. М.** “GaAs СВЧ МИС двухпозиционного коммутатора в SO-8 пластиковом корпусе”

7. **Глыбин А. А., Колковский Ю. В.** “Оптимизация мощных СВЧ генераторов, стабилизированных диэлектрическими резонаторами, по критерию максимума стабильности частоты”

8. **Глыбин А. А., Колковский Ю. В., Филатов А. Л.** “Температурная нестабильность параметров СВЧ сигнала в GaN СВЧ транзисторах”

9. **Глыбин А. А., Синкевич В. Ф.** “Метод снижения вероятности электрического пробоя GaN СВЧ транзисторов при работе в режиме максимальной выходной мощности”

10. **Диковский В. И., Таран П. В.** “Перспектива повышения величины выходной мощности в конструкции мощных СВЧ кремниевых биполярных транзисторов с использованием высокотемпературного фотополимера”