УДК 621.382

М.В. Степаненко, В.С. Арыков, А.М. Ющенко, А.Ю. Плотникова

Разработка технологии формирования слотовых отверстий в GaAs подложках с помощью TCAD

Представлены результаты разработки технологии формирования сквозных отверстий диаметром 30–40 мкм с вертикальными стенками при толщинах подложки GaAs от 50 до 200 мкм. Основой при разработке технологии являлось применение системы моделирования TCAD. Ключевые слова: сквозное отверстие, полевой транзистор, моделирование, TCAD.

В течение последних десятилетий за рубежом достигнуты значительные результаты по разработке и производству СВЧ-монолитных интегральных схем (МИС) на основе GaAs, для различных систем телекоммуникаций и связи. В качестве активных элементов данных СВЧ МИС используют полевые транзисторы с затвором Шоттки (ПТШ) [1]. На данный момент промышленно выпускаются различные МИС усилителей мощности с рабочими частотами до 60 ГГц [2].

Металлизированные отверстия прямоугольной формы в полупроводниковой подложке, предназначенные для индивидуального заземления каждой площадки истока ПТШ (слотовые отверстия), активно используются при производстве усилителей мощностью свыше 2 Вт. Применение слотовых отверстий обеспечивает улучшенный отвод тепла от ПТШ, что позволяет существенно увеличить КПД транзисторов, в сравнении с традиционными конструктивно-топологическими исполнениями мощных транзисторов. Основным требованием, предъявляемым к слотовым отверстиям с точки зрения их формы, является вертикальность стенок, которая достигается за счет разработки процессов травления полупроводниковой подложки с высокой степенью анизотропии к твердой или фоторезистивной маске. Большинство мировых фирм-изготовителей мощных СВЧ МИС уже используют технологию изготовления слотовых отверстий при производстве мощных приборов [3].

Целью данной работы являлась разработка процесса формирования слотовых отверстий к мощным ПТШ на основе GaAs.

Результаты работы. Формирование слотовых отверстий в данной работе было основано на моделировании и разработке двух технологических блоков операций, включающих в себя процессы формирования фоторезистивной маски и процессы плазмохимического травления арсенида галлия по сформированной маске.

Выбранная последовательность операций формирования сквозных металлизированных заземляющих отверстий представлена схематично на рис. 1.



Рис. 1. Техпроцесс формирования сквозного металлизированного заземляющего отверстия

На утоненной до 100 мкм пластине GaAs формировалась фоторезистивная маска с размером окна 35 мкм (рис. 1, *a*). Плазмохимическое травление GaAs проводилось в атмосфере $Cl_2/BCl_3/Ar$ (рис. 1, *б*). Далее проводилось удаление фоторезистивной маски и гальваническое осаждение металлизированного покрытия (рис. 1, *в* и *г* соответственно). Изображение сформированного сквозного заземляющего отверстия приведено на рис. 2.

Коэффициент анизотропии процесса травления для сформированного отверстия составил значение три, что не позволило сформировать отверстие с вертикальными стенками. Для уменьшения количества экспериментов, направленных на повышение коэффициента анизотропии, была использована специализированная система моделирования TCAD Silvaco. Данная система позволяет моделировать различные технологические процессы, включая самые сложные, такие как плазмохимическое осаждение и травление [4].

Для расчетов при создании модели процесса травления был применен метод Монте-Карло. Хотя в построение модели заложено значительное количество переменных и формул для пересчета известных параметров процесса на переменные, необходимые для построения модели, подбор некоторых из них происходил интуитивно, исходя из теоретических знаний физики протекающих при плазмохимическом травлении процессов. По результатам моделирования был выбран ряд технологических параметров, оказывающих наибольшее влияние на коэффициент анизотропии процесса, а именно – типы ионов, участвующих в процессе травления и полимерообразования, значение энергии ионов, коэффициент полимерообразования, кинетический коэффициент распыления маски ионами, концентрации газовых компонент, уровень и тип подаваемых мощностей, материал и толщина фоторезистивной маски, а также профиль окна в данной маске.

На рис. 3 представлено сравнение формы отверстия, полученной с использованием разработанной модели процесса травления, с фактическим результатом, данное сравнение характеризует высокую точность совпадения модели с практически полученным отверстием.



Рис. 2. Микрофотография сквозного заземляющего отверстия



Рис. 3. Сравнение модели травления (черный контур) с экспериментальным результатом

На рис. 4 представлен результат использования разработанной модели процесса травления, параметры которого были оптимизированы для получения отверстия с вертикальными стенками.



Рис. 4. Модель процесса травления отверстий с высокой степенью анизотропии

Значение степени анизотропии, рассчитанной в результате моделирования процесса травления, ровнялось 30.



Рис. 5. Микрофотография отверстия с высокой степенью анизотропии

Изображение одного из слотовых отверстий, полученных с использованием режимов процессов формирования маски и процессов травления, которые были определены путем моделирования процессов в TCAD, представлено на рис. 5. Требуемый по модели профиль фоторезистивной маски был получен путем выбора материала маски, а также оптимизации режимов его экспонирования, проявления и термообработки. Изготовленные слотовые отверстия имели вертикальные стенки, а их геометрические размеры практически полностью совпадают с размерами отверстий, полученных в TCAD, что подтверждает правильность выбора типов и значений технологических параметров модели процесса травления.

Заключение. В ходе выполнения данной работы была разработана и верифицирована модель процессов плазмохимического травления подложек арсенида галлия по фоторезистивным маскам. Использование систем моделирования позволило значительно сократить время на разработку технологии изготовления слотовых отверстий и уменьшить конечную стоимость данной разработки. Полученные путем моделирования режимы процессов внедрены в технологию изготовления отверстий диаметром 30–40 мкм с вертикальными стенками при толщинах подложки GaAs от 50 до 200 мкм.

Литература

1. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия. – М.: Мир, 1991. – 632 с.

2. Официальный сайт фирмы TriQuint [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.triquint.com, свободный (дата обращения: 22.10.2013).

3. Официальный сайт конференции CS MANTECH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.gaasmantech.org, свободный (дата обращения: 7.09.2013).

4. Официальный сайт фирмы Silvaco [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.silvaco.com, свободный (последнее посещение: 12.09.2013).

Степаненко Михаил Валерьевич

Аспирант каф. физической электроники ТУСУРа Тел.: +7-923-409-05-07 Эл. почта: stepanenko@micran.ru

Арыков Вадим Станиславович

Канд. техн. наук, главный конструктор НПК «Микроэлектроника» ЗАО «НПФ «Микран» Тел.: +7-903-953-10-37 Эл. почта: arykov@micran.ru

Ющенко Анастасия Михайловна

Инженер-технолог ЗАО «НПФ «Микран» Тел.: +7-909-538-21-87 Эл. почта: namix@micran.ru

Плотникова Александра Юрьевна

Инженер-технолог ЗАО «НПФ «Микран» Тел.: +7-923-402-39-60 Эл. почта: alpl@micran.ru

Stepanenko M.V., Arykov V.S., Yushenko A.M., Plotnikova A.Yu. The development of slot via holes fabrication technology in GaAs substrate with use of TCAD

Abstract: The via holes fabrication technology is presented. Via holes with diameter of 30-40 microns have vertical sidewalls and can be etched in GaAs substrate with thickness from 50 to 200 microns. The modeling of the etching process was performed with use of TCAD.

Keywords: via holes, field-effect transistor, modeling, TCAD.