

УДК 621.372

Т.С. Петрова

Влияние конструктивных и технологических особенностей на статические параметры МИС на GaAs на основе ПТШ с углубленным затвором

Выявлена зависимость статических параметров полевых транзисторов с затвором Шоттки (ПТШ) на GaAs от особенностей топологии и технологии их изготовления. Обнаружено влияние открытых областей омического контакта ПТШ на скорость травления подзатворной области. Этот эффект позволил изготовить монолитные интегральные схемы (МИС) СВЧ на одной пластине GaAs в едином технологическом процессе, которые содержат ПТШ с различными статическими характеристиками.

Ключевые слова: ПТШ, GaAs, травление подзатворной области.

В последние годы активно проявляется интерес к МИС на основе ПТШ на арсениде галлия. Полевые транзисторы с затвором Шоттки занимают важное место в полупроводниковой интегральной СВЧ электронике. Широко используются усилители, генераторы, смесители, переключатели, аттенюаторы, модуляторы и ограничители на основе арсенидгаллиевых ПТШ. При создании средств радиоэлектронного противодействия, бортового радиоэлектронного оборудования летательных аппаратов, наземного и морского базирования средств обнаружения, наведения и подавления в настоящее время в основном используются интегральные схемы на арсениде галлия [1–7].

В настоящее время изготовление МИС чаще всего подразумевает использование в них ПТШ, выполненных методом подтравной технологии. В этом случае изготовление ПТШ, имеющих различные удельные статические характеристики, связано с существенным усложнением технологического процесса изготовления МИС. Поэтому при проектировании схем обычно закладывается использование однотипных транзисторов.

Возможность изготовления ПТШ, обладающих разными статическими параметрами и выполненных на одном кристалле в едином технологическом цикле, позволит при проектировании МИС использовать дополнительную возможность оптимизации заложенных в них электрических схем. Такая оптимизация может позволить изготовить более экономичные, компактные и помехоустойчивые приборы на основе единственной МИС.

В данной работе реализованы ПТШ с разными значениями крутизны, пробивного напряжения и тока насыщения ПТШ на одной пластине в едином технологическом цикле. Для этого использованы топологические конструкции ПТШ, в которых учтены технологические особенности травления подзатворной области, а именно – зависимость скорости травления полупроводника от наличия открытого металлического контакта вблизи области травления [8].

Основные этапы изготовления ПТШ на GaAs методом подтравной технологии представлены на рис. 1.

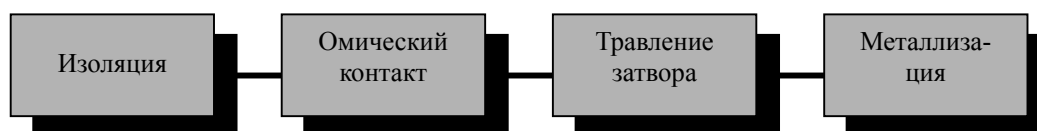


Рис. 1. Процесс изготовления ПТШ

Изготовление ПТШ традиционно начинается с изолирования активной области; термического напыления омического контакта; нанесения диэлектрического слоя SiO_2 . Далее формируется маска затворной канавки в резисте при помощи оптической или электронной литографии. Затем проводится травление защитного диэлектрического слоя по маске резиста и

травление затворной области. Травление области затвора проводится в несколько этапов до достижения определенной величины тока насыщения «сток – исток». Далее следует напыление металлизации затвора и удаление резистивного слоя [8–9]. Минимальная величина тока насыщения ПТШ зависит от параметров полупроводниковой структуры. В нашем случае она изменялась от 20 до 12 мА.

Изготовленные МИС включают в себя транзисторы трёх типов. Все ПТШ выполняются одинаково вплоть до получения резистивной маски при формировании затвора. Отличия между транзисторами появляются, когда дополнительно к вскрытию затворной канавки открываются, либо остаются закрытыми резистом области омической металлизации. Ниже транзисторы с закрытыми при травлении подзатворной области омическими контактами как стока, так и истока обозначены 1S; транзисторы в которых открыта только область стока обозначены 2S; транзисторы у которых открыты и области стока, и области истока обозначены 3S. Структуры транзисторов в разрезах на этапе травления подзатворной области и фотографии сформированных транзисторов представлены на рис. 2а, 2б и 2в, соответственно.

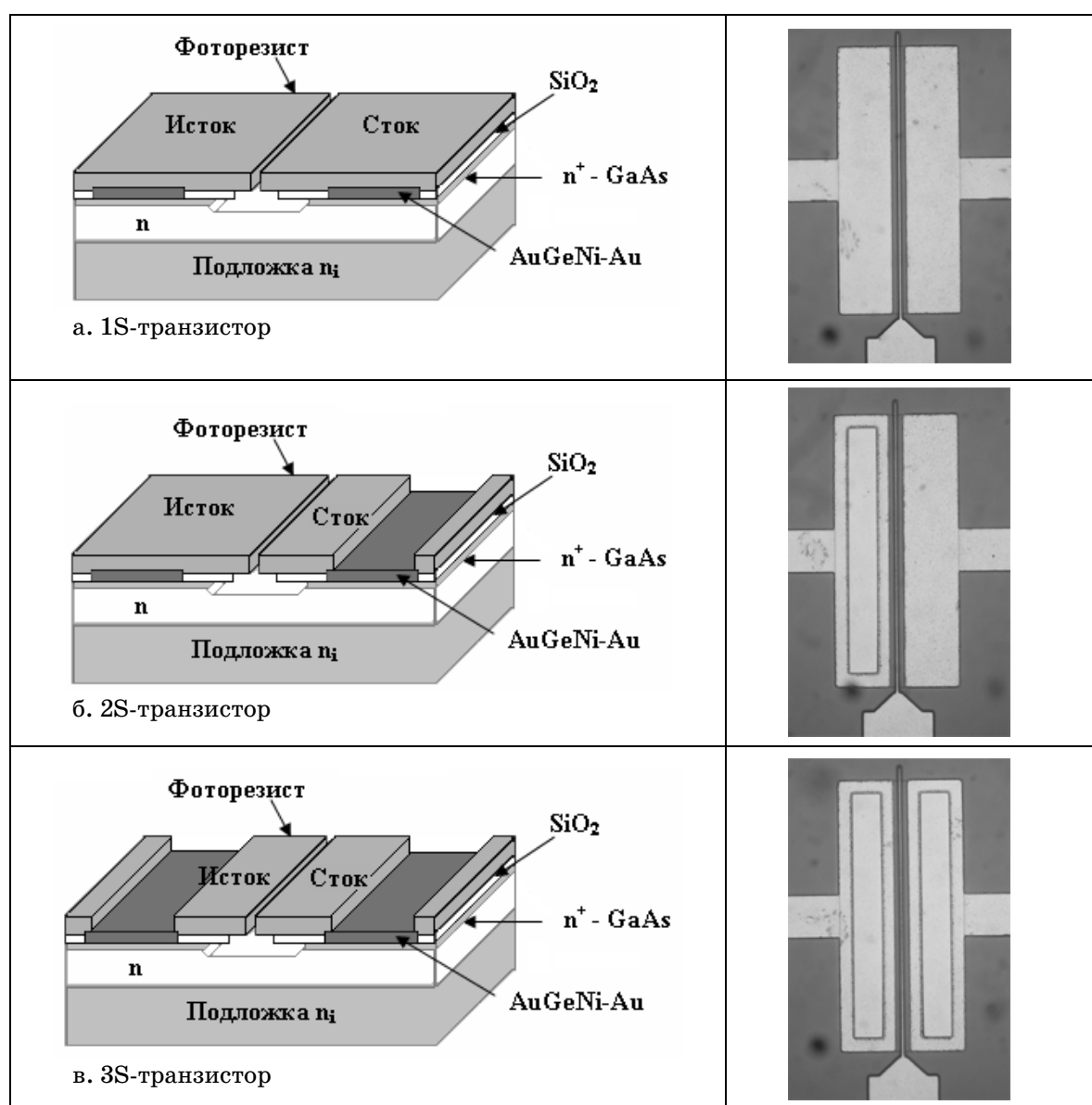
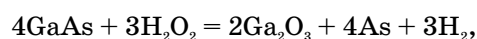


Рис. 2. Изображения ПТШ на этапе формирования резистивной маски и травления подзатворной области (слева) и фотографии полученных транзисторов с разным топологическим рисунком (справа)

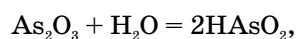
Для травления подзатворной области использован лимонный травитель, в состав которого входит лимонная кислота $C_3H_4(OH)(COOH)_3$, перекись водорода H_2O_2 и изопропиловый спирт $(CH_3)_2CHOH$ [10].

Травление подзатворной области транзистора 1S можно упрощенно представить как окислительно-восстановительный процесс, протекающий через две основные стадии: окисление поверхностных атомов; растворение продуктов окисления с последующим переходом в раствор. Каждая из этих стадий может, в свою очередь, состоять из ряда промежуточных и сопутствующих химических реакций. На границе раздела «полупроводник–раствор» возникает двойной электрический слой.

Основным окислительным процессом является взаимодействие GaAs с ионом O^{2-} по следующим химическим реакциям:



в результате окисления полупроводник получает два электрона. Затем происходят реакции восстановления, например, с образованием метамышьяковой кислоты



распадающейся на ион водорода, который способен вернуть электрон при контакте с GaAs и выделиться в виде газа, и на ионную группу $(AsO_2)^-$. Последняя, взаимодействует с компонентами раствора, в результате чего вновь образуется ион O^{2-} . Более подробно химические реакции с участием метамышьяковой кислоты рассмотрены, например, в работе [11]. Оксид галлия уносится с поверхности лимонной кислотой в ходе химической реакции, где происходит замещение водорода на Ga_2O_3 , либо простым электростатическим присоединением.

Упомянутые выше химические процессы находятся в динамическом равновесии. Электрический ток через полупроводник отсутствует, так как область омических контактов покрыта резистом-диэлектриком.

Рассмотрим 2S-транзистор, в технологию изготовления которого заложена открытая при травлении область омического контакта стока (рис. 2б). В этом случае, в дополнение к двойному слою на границе «полупроводник–раствор» образуется двойной электрический слой «металл–раствор», со стороны раствора состоящий в основном из наиболее подвижных положительных ионов H^+ . В результате этого понижается энергия активации химической реакции окисления на границе полупроводника, что приводит к повышению скорости окисления. Таким образом, открытые металлические омические контакты играют роль катализаторов, ускоряющих окисление. В дополнение к этому, при возникновении гальванического тока в ходе окисления GaAs изменяется кинетика химических реакций – восстановление водорода происходит преимущественно на границе «металл–раствор», нежели на границе «полупроводник–раствор», что в меньшей степени мешает ионам кислорода участвовать в окислении полупроводника. Таким образом, в случае открытых областей омических контактов равновесие окислительно-восстановительной реакции в подзатворной области еще больше сдвигается в сторону окисления. В результате этого скорость травления подзатворной области транзистора 2S увеличивается в сторону открытого участка металлизации – стока.

Схожая ситуация наблюдается и при травлении подзатворной области транзистора типа 3S (рис. 2в), в этом случае скорость травления увеличивается в обе стороны одинаково, т.к. обе металлические площадки стока и истока при травлении открыты. Это приводит к изменению статических параметров ПТШ – токов насыщения, напряжения отсечки и пробоя, крутизны.

Измеренные параметры ПТШ типов 1S, 2S и 3S, изготовленных на одной пластине представлены в таблице 1.

Видно, что от топологической конструкции ПТШ в наибольшей степени зависят токи насыщения. Так, для 2S- и 3S-транзисторов они оказались меньше, на ~10 и ~30%, соответственно, чем у транзисторов 1S. По сравнению с транзисторами 1S-типа, крутизна 2S- и 3S-транзисторов оказалась больше примерно на 10 и на 20%, соответственно. Приблизительно в таком же процентном соотношении варьируются и напряжения пробоя.

Таблица 1

Статические параметры ПТШ с различной шириной затвора

Ширина затвора 100 мкм				
Электрические параметры	Ток насыщения, мА	Напряжение отсечки, В	Крутизна, мСм/мм	Напряжение пробоя, В
1 S	17	2	0,1	9
2 S	15	2	0,11	10
3 S	12,5	1,5	0,12	11
Ширина затвора 1000 мкм				
1 S	170	2	0,1	9
2 S	150	2	0,11	10
3 S	120	1,5	0,12	11

Таким образом, на качественном уровне объяснено влияние открытого по резистивной маске окружения затворной области на скорость травления полупроводника. Так, показано, что открытие области омического контакта вблизи затвора изменяет кинетику травления и приводит к увеличению скорости травления полупроводника. В результате возникает эффект дополнительного подтравливания n-областей в сторону открытых контактов и, следовательно, к изменению электрических параметров транзистора.

Изготовлены тестовые МИС, содержащие ПТШ трех типов, выполненных в едином технологическом процессе на одном кристалле. Транзисторы, содержащиеся в этих МИС, отличаются наличием, либо отсутствием окон на омических контактах вблизи затвора при прочих равных условиях. В зависимости от рисунка резистивной маски в области вблизи затвора, статические параметры изготовленных ПТШ отличаются на ~30%. Таким образом, показано, что эффект подтравливания можно использовать при проектировании и изготовлении ПТШ и МИС.

Литература

1. Бова Н.Т. Микроэлектронные устройства СВЧ / Н.Т. Бова, Ю.Г. Ефремов и др. – Киев : Техника, 1984. – 184 с.
2. Вайсблат А.В. Коммутационные устройства СВЧ на полупроводниковых диодах. – М. : Радио и связь, 1987. – 120 с.
3. Гасанов Л.Г. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи / Л.Г. Гасанов, А.А. Липатов и др. – М. : Радио и связь, 1988. – 288 с.
4. Лебедев И.В. Интегрализация твердотельных управляющих и защитных устройств СВЧ / И.В. Лебедев, В.Г. Алыбин, Е.И. Купцов // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. – 1982. – Т. 25, №10. – С. 32–41.
5. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М. : Радио и связь, 1988. – 400 с.
6. Технология создания СВЧ ПТШ с низким уровнем шума / М.Г. Игнатъев, Л.А. Козлова, Л.В. Фотина, Г.И. Шамова // Электронная промышленность. – 1993. – Вып. 9. – С. 37–39.
7. Петрова Т.С. Технология изготовления малошумящего полевого транзистора для СВЧ приборов / Т.С. Петрова, М.Г. Игнатъев // 2 Всероссийская конференция молодых ученых «Материаловедение, технология и экология», г. Томск, Институт физики прочности и материаловедения СОРАН, 5–6 ноября 2003 г. – Томск : ИФПМ СО РАН, 2003. – С. 302–306.
8. Vasa A.G. Fabrication of GaAs devices. – London, United Kingdom : The Institution of Electrical Engineers, 2005. – 350 p.
9. Полевые транзисторы на арсениде галлия. Принципы работы и технология изготовления / пер. с англ. / под ред. Д.В. Ди Лоренцо, Д.Д. Канделуола. – М. : Радио и связь, 1988. – 496 с.
10. Химическое формирование субмикронных элементов в GaAs / Е.П. Гроо, Т.С. Петрова, О.А. Дедкова, М.Г. Игнатъев // Материалы 3 Всероссийской научной конференции «Хи-

мия и химическая технология на рубеже тысячелетий», ТПУ, 2–4 сентября 2004 г. – Томск : ТПУ, 2004. – С. 58.

11. Мокроусов Г.М. Перестройка твердых тел на границах раздела фаз. – Томск : Изд-во ТГУ, 1990. – 230 с.

Петрова Татьяна Сергеевна

Инженер-технолог 1 категории ЗАО НПФ «Микран», г. Томск

Тел.: (3822) 48-84-07

Эл. почта: tanya@micran.ru

T.S. Petrova

Influence of design and technological particular on electrical parameters of MESFET GaAs MIC

The dependence of the electrical parameters of the microwave field – effect transistors with barrier (MESFET) from production engineering of GaAs monolithic integral circuits (MIC) are recognize. The influence of MESFET omic contact open area on the etching rate of gate region. This effect allow project FET MIC with different static characteristics into single die in common technological process.

Keywords: MESFET, GaAs, the etching of gate region.