

УДК 621.382.032.27

Е.В. Ерофеев, А.И. Казимиров, И.В. Кулинич

## Способ формирования наноразмерного затвора для GaAs СВЧ-транзисторов с высокой подвижностью электронов

Представлен способ формирования затвора с длиной основания менее 70 нм при использовании напыления тонких пленок в вакууме. При этом задание требуемой длины затвора в широком диапазоне определяется углом, под которым ориентирована подложка относительно напыляемого потока в процессе напыления тонких пленок. Проведено математическое моделирование и получены макеты затворов с длинами основания 52, 40 и 30 нм при размере окна в резистивной маске 200 нм.

**Ключевые слова:** наноразмерный затвор, угловое напыление, GaAs, СВЧ-транзистор.

В настоящее время в СВЧ-электронике наибольшее распространение получили гетероструктурные полевые транзисторы на основе полупроводниковых соединений  $A_{III}B_{V}$  типа НЕМТ (High Electron Mobility Transistor), высокое быстродействие которых обеспечивается большой подвижностью носителей заряда [1]. В настоящее время одним из основных направлений развития технологии изготовления НЕМТ-транзисторов и улучшения параметров приборов является уменьшение длины затвора [2].

Субмикронные  $T$ -образные затворы при промышленном производстве GaAs НЕМТ традиционно изготавливаются с использованием электронно-лучевой литографии, имеющей электронную пучок Гауссова сечения. Причем разрешающая способность данных методов во многом ограничена энергией электронов, которая лимитирована техническими характеристиками электронно-оптической системы.

Согласно данным Международной технологической дорожной карты для полупроводников 2011 г. [3] серьёзных технологических проблем для выпуска НЕМТ с длиной затвора в диапазоне 130–70 нм сегодня в мире не существует. Данные этого же документа свидетельствуют о том, что полного объёма знаний, а также полностью разработанных технологий, необходимых для изготовления транзисторов с длиной затвора менее 70 нм, в мире пока нет. Ожидается, что они окончательно будут получены к 2015 г.

Таким образом, поиск способов формирования затворов длиной менее 70 нм является в настоящее время актуальной и практически значимой задачей.

В настоящей работе представлен оригинальный метод формирования затвора субмикронной длины при использовании углового напыления затворной металлизации.

**Методика эксперимента.** В экспериментах по формированию субмикронного затвора использовались подложки полуизолирующего  $i$ -GaAs (100).

Процесс формирования маски для получения  $T$ -образного затвора заключался в последовательном нанесении методом центрифугирования со скоростями  $v = 0$ –8000 об/мин на подложку пленок резистов 950РММА, LOR 5В и 495РММА с толщинами 220, 600 и 150 нм соответственно. После нанесения каждого слоя проводились операции сушки при температуре  $T = 180$  °С в течение  $t = 5$  мин с целью удаления из маски остатков растворителя. Далее производилось электронно-лучевое экспонирование сформированной резистивной маски пучком электронов Гауссова сечения диаметром 2 нм с энергией электронов 30 кэВ и током пучка порядка 50 пА (рис. 1, а).

Для формирования  $T$ -образного профиля в маске производилось селективное жидкостное проявление проэкспонированных слоев в растворах метилизобутилкетона в изопропиловом спирте (МИБК : ИПС) и SF-9 с последующей обработкой в кислородной плазме при мощности  $P = 300$  Вт в течение  $t = 3$  мин (рис. 1, б).

Далее производилось угловое ориентирование пластины GaAs (рис. 1, в) и напыление металлизации затвора на основе тонких пленок Ti/Pt/Au (25/25/400 нм) методом электронно-лучевого испарения в вакууме при давлении остаточной атмосферы менее  $p = 9 \cdot 10^{-7}$  Торр (рис. 1, г).

На последнем этапе производилось удаление резистивной маски в диметилформамиде при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  с обработкой в изопропиловом спирте в течение  $t = 5$  мин и сушкой в потоке очищенного азота (рис. 1,  $\delta$ ).

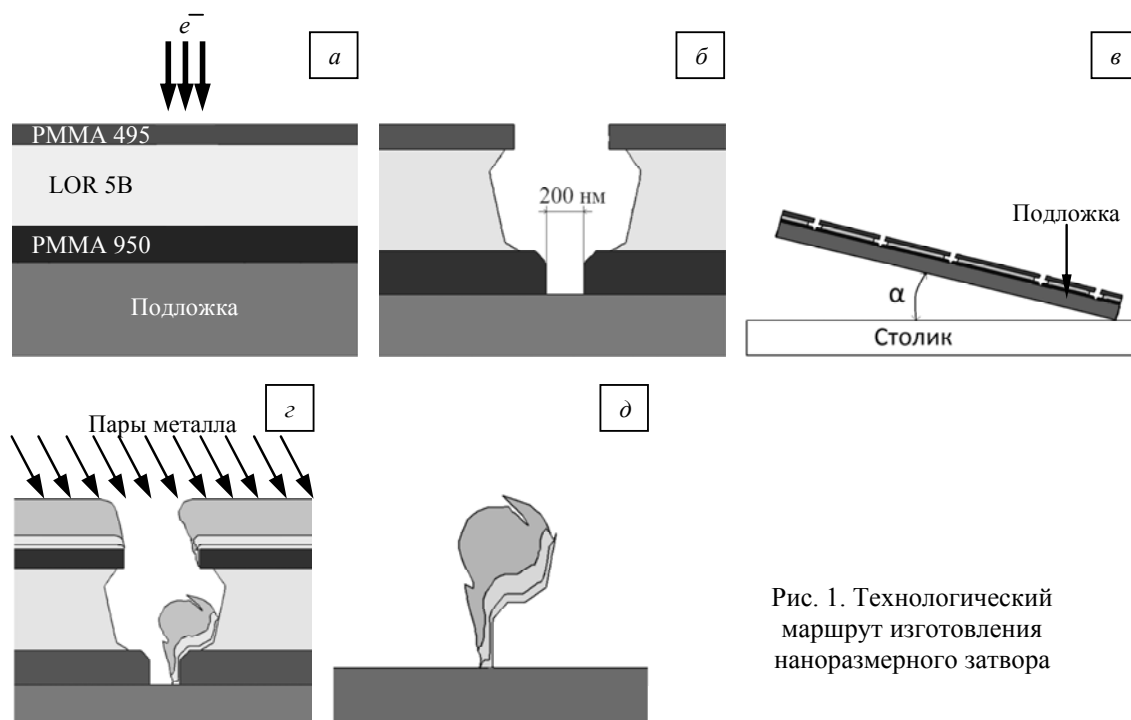


Рис. 1. Технологический маршрут изготовления наноразмерного затвора

**Результаты работы.** На рис. 2 представлены результаты математического расчета формируемой длины затвора  $L_g$  при изменении угла  $\alpha$  ориентирования пластины в держателе относительно поверхности.

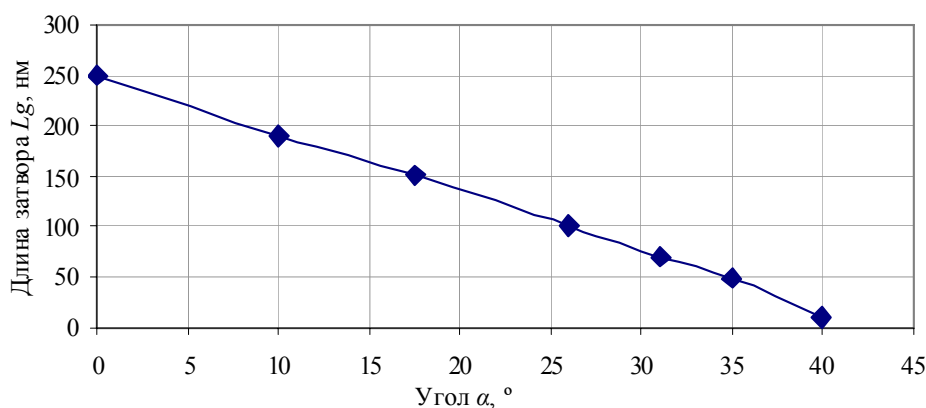


Рис. 2. Зависимость длины затвора от угла ориентирования пластины относительно нормали к поверхности

Из рис. 2 видно, что зависимость длины основания затвора от угла ориентирования пластины выглядит линейно в широком диапазоне.

На рис. 3 представлены результаты моделирования процессов углового напыления тонких пленок, требуемых для формирования затвора с длиной менее 70 нм.

На рис. 4 представлено микроскопическое изображение сформированного предложенным способом затвора с длиной основания 52,5 нм.

Из анализа рис. 3 и 4 видно, что полученные результаты практически полностью совпадают с результатами моделирования (см. рис. 2).

При дальнейшем увеличении угла ориентирования пластины от  $30$  до  $36^{\circ}$  были получены макеты затворов с длиной основания порядка 30 нм (рис. 5).

Достоинствами предлагаемого способа формирования наноразмерного затвора являются высокая производительность, низкая себестоимость изготовления затвора, а также высокая разрешающая способность, которая не зависит от материала подложки.

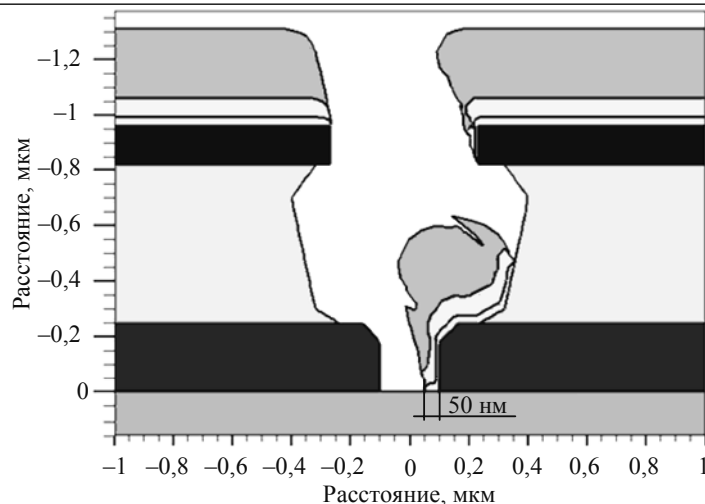


Рис. 3. Результаты моделирования процессов напыления тонких пленок, требуемых для формирования затвора с длиной 50 нм

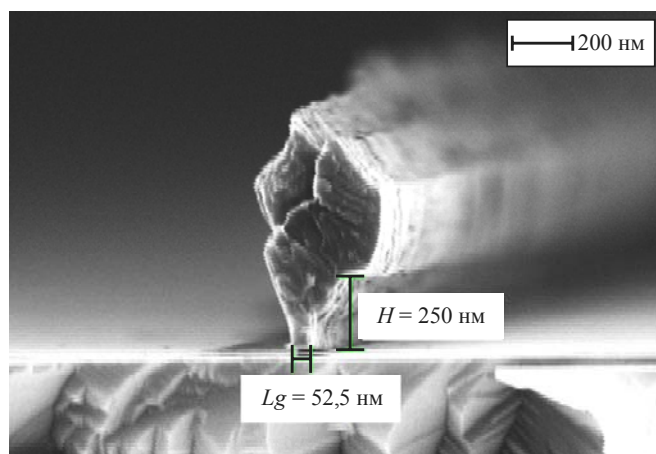


Рис. 4. Микроскопическое изображение наноразмерного затвора с длиной основания 52,5 нм

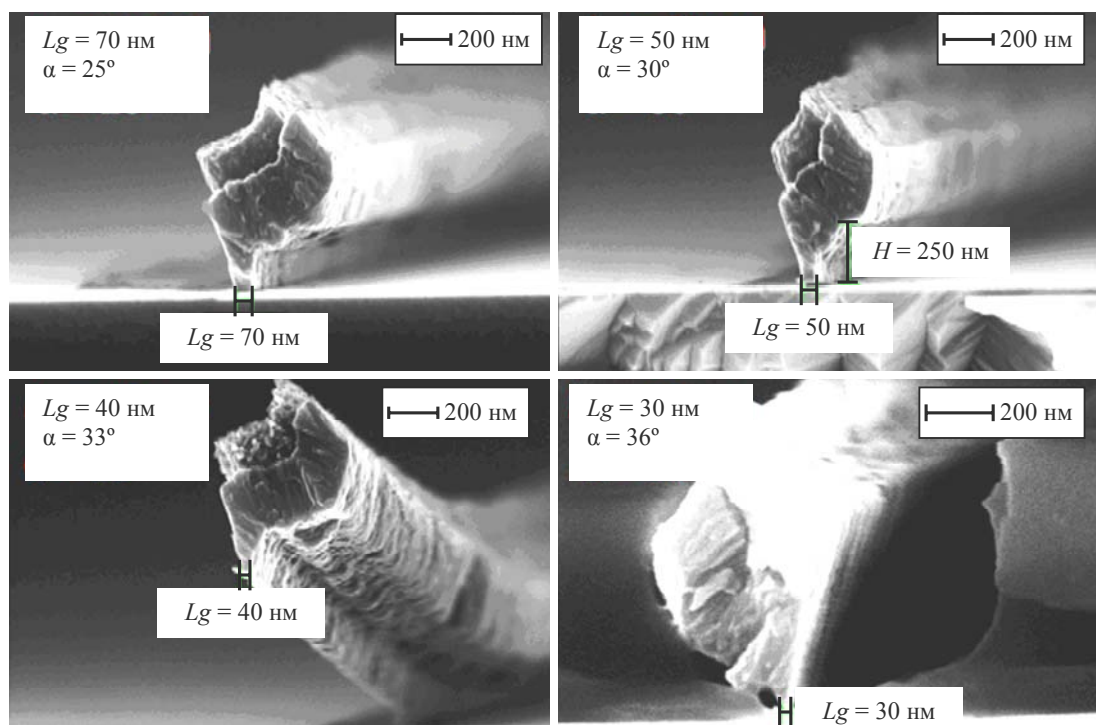


Рис. 5. Микроскопическое изображение субмикронных затворов с длиной основания 70, 50, 40 и 30 нм

**Заключение.** Использование углового напыления тонких пленок позволяет формировать затворы с длиной основания менее 70 нм при предельном размере в резистивной маске 200 нм. При этом задание требуемой длины затвора в широком диапазоне определяется углом, под которым ориентирована подложка относительно поверхности в процессе напыления тонких пленок.

Авторы работы выражают благодарность коллективу научно-образовательного центра по нанотехнологиям при ТУСУРе за помощь и обсуждение результатов.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Carl Zeiss и У.М.Н.И.К. фонда Бортника, Министерства образования и науки РФ в соответствии с гос. контрактом № 14.740.11.1432 от 03.11.2011 по федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы», а также договором 74/10 в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ.

#### *Литература*

1. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия: пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 561 с.
2. Шахнович И.П. Твердотельные СВЧ-приборы и технологии. Состояние и перспективы // Электроника: Наука. Технология. Бизнес. – 2005. – № 5. – С. 58–64.
3. International Technology Roadmap for Semiconductors. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.itrs.net/reports.html>, свободный (дата обращения: 18.05.2012).

---

#### **Ерофеев Евгений Викторович**

Инженер-технолог I кат. ЗАО НПФ «Микран»  
аспирант каф. физической электроники ТУСУРа  
Тел.: 8-913-887-60-39  
Эл. почта: [erofeev@sibmail.com](mailto:erofeev@sibmail.com)

#### **Казимиров Артем Игоревич**

Магистрант каф. физической электроники ТУСУРа  
Тел.: 8-923-407-93-64  
Эл. почта: [smart300389@mail.ru](mailto:smart300389@mail.ru)

#### **Кулинич Иван Владимирович**

Магистрант каф. физической электроники ТУСУРа  
Тел.: 8-913-287-14-59  
Эл. почта: [sigytik@mail.ru](mailto:sigytik@mail.ru)

Erofeev E.V., Kazimirov A.I., Kulinich I.V.

#### **The method of fabrication of submicron gate for the GaAs UHF high electron mobility transistors**

There are presented the method of fabrication of the submicron gate with sub 70 nm length using tilt thin film deposition. The gate length was defined from the tilt angle of substrate. The mathematic modeling was performed to fabricate gates with 52, 40 and 30 nm lengths via mask dimensions of about 200 nm.

**Keywords:** submicron gate, tilt deposition, GaAs, UHF transistor.