

Структура валентной оболочки теллура –  $5s_25p_4$ . Два из четырех  $p$ -электрона образуют ковалентные связи с соседними атомами. Между цепочками действуют менее прочные связи Ван-дер-Ваальса. В образовании этих связей принимает участие оставшаяся одиночная пара  $p$ -электронов (lone-pair). Кристаллическая структура Те гексагональная и анизотропная. В предлагаемой статье анализируется возможность создания тонкопленочных элементов памяти и порогового переключения на основе одного халькогена-теллура.

#### **Литература**

1. Волькенштейн, Ф.Ф. Физико-химические свойства поверхности полупроводников / Ф.Ф. Волькенштейн. – М.: Наука, 1973. – 340 с.
2. Luth, H. Solid surfaces, interfaces and thin films / H. Luth. – Berlin: Springer, 2012. – 577 p.
3. Infrared absorption of Ag- and Cu- photodoped chalcogenide films / A.I. Stetsun [et. al] // J. Non-Crys. Sol. – 1996. – Vol. 202. – P. 113–121.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ MATLAB ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА НА ТРЕХОСЕВОМ ПРИВОДЕ**

А.Ю. Войтов

Дальнейшее повышение функциональных возможностей манипуляционных систем перемещений при обеспечении больших скоростей и ускорений на рабочей платформе, а так же повышенных характеристик точности и быстродействия в настоящее время связывается с применением параллельных манипуляторов [1].

В работе предложена алгоритмизация математической модели параллельного манипулятора на новом гибридном треугольном приводе прямого действия, для которой разработан подход и математическая модель формализованного описания, сегментирования алгоритмов и исследования кинематики и динамики. Вычислительное решение по нахождению линейных и угловых координат платформы по заданным обобщенным линейным координатам ведущих звеньев выполняется по аналитическому описанию векторного условия многоконтурной замкнутости параллельных кинематических цепей в виде фундаментальной нелинейной системы из трех уравнений.

При этом алгоритмически обеспечено сохранение начальных конфигурационных условий во всем диапазоне изменений искомым переменных с обеспечением однозначного визуального отображения на персональном компьютере положения платформы, всех звеньев и механизма в целом в режиме реального времени.

Разработана имитационная модель кинематики, которая позволила выполнять решение прямой и обратной задач кинематики. На основании предложенных сегментированных алгоритмов разработана имитационная модель в среде MATLAB для проведения интерактивного компьютерного моделирования решения прямой и обратной задач кинематики и прямой и обратной задач динамики с учетом конструктивных ограничений, накладываемых на координатные перемещения электро-магнитных модулей на треугольном статоре.

#### **Литература**

1. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования / В.В. Жарский [и др.] ; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2013. – 208 с.

### **Пороговое напряжение MIS-HEMT с подзатворными high-k диэлектриками**

В.С. Волчэк

AlGaIn/GaN транзисторы с высокой подвижностью электронов (high electron mobility transistor, HEMT) являются перспективными элементами сенсорных устройств, используемых в системах информационной безопасности. В стандартной технологии HEMT затвор формируется на основе барьера Шоттки и характеризуется большими токами утечки. Для уменьшения токов утечки транзистора между электродом затвора и барьерным слоем AlGaIn

располагают диэлектрик, образуя таким образом структуру металл/диэлектрик/полупроводник (metal/insulator/semiconductor, MIS). В структуре MIS применяются high-к диэлектрики, материалы с высокой диэлектрической проницаемостью, позволяющие увеличить емкость затвора, не прибегая к уменьшению его толщины.

Значение работы выхода электронов из металла, расположенного на high-к диэлектрике, отличается от значения, полученного для случая вакуума, что приводит к сдвигу порогового напряжения транзистора. Модель для расчета эффективной работы выхода электронов из металла, основанная на понятии нейтрального уровня диэлектрика, представлена в статье [1].

Для исследования влияния материала подзатворного диэлектрика на пороговое напряжение AlGaIn/GaN MIS-HEMT выбрана структура, состоящая из барьерного слоя  $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$ , буферного слоя GaN, омических контактов к истоку и стоку, подзатворного диэлектрика и платинового электрода затвора. Моделирование выполнялось в программном комплексе компании Silvaco. Пороговое напряжение транзистора с  $\text{SiO}_2$  в качестве подзатворного диэлектрика составляет  $-2,6$  В, а в случаях с  $\text{HfO}_2$  и  $\text{La}_2\text{O}_3$  равняется  $-1,5$  и  $-1,1$  В, соответственно. Таким образом, величина сдвига порогового напряжения в положительном направлении пропорциональна диэлектрической проницаемости подзатворного материала, которая является единственным значимым параметром в расчетах, и зависит от эффективной работы выхода электронов из металла электрода затвора.

### Литература

1. Yeo, Y.-C. Metal-dielectric band alignment and its implications for metal gate complementary metal-oxide-semiconductor technology / Y.-C. Yeo, T.-J. King, C. Hu // J. Appl. Phys. – 2002. – Vol. 92, № 12. – P. 7266–7271.

## ПРИМЕНЕНИЕ $\text{La}_2\text{O}_3$ В КАЧЕСТВЕ ПОДЗАТВОРНОГО ДИЭЛЕКТРИКА MIS-HEMT

В.С. Волчѣк

AlGaIn/GaN транзисторы с высокой подвижностью электронов (high electron mobility transistor, HEMT) являются перспективными элементами сенсорных устройств, используемых в системах информационной безопасности. В стандартной технологии HEMT затвор формируется на основе барьера Шоттки и характеризуется большими токами утечки. Для уменьшения токов утечки транзистора между электродом затвора и барьерным слоем AlGaIn располагают диэлектрик, образуя таким образом структуру металл/диэлектрик/полупроводник (metal/insulator/semiconductor, MIS). В структуре MIS применяются high-к диэлектрики, материалы с высокой диэлектрической проницаемостью, позволяющие увеличить емкость затвора, не прибегая к уменьшению его толщины. Однако, на границе раздела большинства high-к диэлектриков с барьерным слоем AlGaIn формируется положительный связанный заряд, который приводит к сдвигу порогового напряжения транзистора в отрицательном направлении, что затрудняет процесс выключения прибора. Одним из немногих high-к диэлектриков, создающих отрицательный связанный заряд на границе раздела с барьерным слоем AlGaIn, является  $\text{La}_2\text{O}_3$ .

Применение  $\text{La}_2\text{O}_3$  в качестве подзатворного диэлектрика AlGaIn/GaN MIS HEMT позволяет уменьшить ток утечки затвора на три порядка по сравнению с транзистором с затвором Шоттки. Отрицательный связанный заряд, величина которого может регулироваться параметрами технологических процессов, на границе раздела с барьерным слоем AlGaIn приводит к смещению порогового напряжения в положительном направлении, что делает  $\text{La}_2\text{O}_3$  перспективным материалом для создания HEMT с нормально закрытым каналом [1].

### Литература

1. Threshold voltage engineering in GaN-based HEMT by using  $\text{La}_2\text{O}_3$  gate dielectric / M. Minhan [et al.] // Phys. Status Solidi. – 2016. – Vol. 13, № 5–6. – P. 325–327.