

## РОЛЬ НИТРИДА ТИТАНА В ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ СИЛИЦИДОВ ТИТАНА

М.И. Маркевич<sup>1)</sup>, А.М. Чапланов<sup>1)</sup>, П.П. Першукевич<sup>2)</sup>, А.Г. Короза<sup>2)</sup>, А.Н. Петлицкий<sup>3)</sup>,  
Д.В. Жигулин<sup>3)</sup>, С.Б. Кущев<sup>4)</sup>, Д.В. Сериков<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, Купревича 10, Минск, Беларусь,  
chap@inel.bas-net.by

<sup>2)</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ», ул. Казинца И.П. 121А, 220108 Минск, Беларусь

<sup>3)</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
пр. Независимости 68, Минск, Беларусь

<sup>4)</sup>Воронежский государственный технический университет,  
Московский пр. 14, 394026 Воронеж, Россия

Приведены результаты структурных исследований и оптических свойств нитрида титана и силицида титана после быстрой термической обработки (БТО). Показано, что пленка нитрида титана обладает диффузионным барьерным свойством, что позволяет получать качественные пленки силицида титана.

### Введение

Основная тенденция в микроэлектронике - уменьшение горизонтальных и вертикальных размеров элементов интегральных схем, и которые к настоящему времени достигли субмикронного уровня. Разрабатываемые технологии для изделий с проектными нормами в субмикронном диапазоне должны обеспечивать низкое значение электрического сопротивления контактов, высокую термостабильность структур контактной металлизации при термических циклах в области температур (500-800°C), минимизацию числа технологических операций для повышения коэффициента выхода годных изделий [1-3]. В современных БИС в качестве омических контактов обычно используются слои силицидов титана TiSi<sub>2</sub>, CoSi<sub>2</sub>, NiSi.

В настоящее время для получения качественных слоев дисилицида титана в технологическом процессе используют пленки нитрида титана. Пленки TiN обладают высокой твердостью и износостойкостью, химической инертностью, термодинамической стабильностью. Возможно их использовать в качестве барьеров Шоттки [4], омических контактов к эпитаксиальным слоям р-GaN [5], контактных слоев для солнечных элементов [5], антиотражающих и антистатических покрытий [6].

Цель работы – определить роль пленки нитрида титана при формировании силицидов.

### Основная часть

Силициды титана формировались методом твердофазной реакции. Первоначально производилась очистка кремниевой пластины от слоев естественного окисла, затем на поверхность пластины наносились пленки Ti/TiN и затем проводилась импульсная фотонная обработка. В качестве исходных подложек использовали пластины монокристаллического кремния марки КДБ-12 с ориентацией (100). Для снятия естественного окисла пластины кремния очищали химическим травлением в буферном растворе плавиковой кислоты, а непосредственно перед нанесением пленок металлов в вакуумной камере поверхность пластин подвергали ВЧ травлению в атмосфере ар-

гона. Нанесение пленок Ti и TiN проводилось в модульных установках магнетронного распыления «Varian m2i» фирмы Varian и «Endura 5500 PVD» фирмы Applied Materials. Для нанесения использовались мишени Ti с чистотой 99.999 % масс. Быстрая термическая обработка излучением ксеноновых лам проводилась в диапазоне плотностей энергии от 100 до 370 Дж/см<sup>2</sup> и длительностей импульса 1.2-2.6 секунды. В установке УОЛП-1М нагрев кремниевых пластин осуществляется излучением трех газоразрядных ксеноновых ламп ИНП 16/250. Установка состоит из трех блоков питания ламп ИНП 16/250, блока управления, кварцевого облучателя, блока контактов и модернизированной камеры для отжига кремниевых подложек в вакууме при остаточном давлении 3·10<sup>-3</sup> Па. Для обеспечения воспроизводимости технологических результатов на установке предусмотрено автоматическое поддержание заданного уровня энергетической экспозиции на обрабатываемой пластине независимо от колебания напряжения питающей сети и изменения параметров ламп за счет введения обратной связи по излучению ламп.

Исследования состава образцов проводились с помощью системы энергодисперсионного (EDS) микроанализа, установленной на сканирующем электронном микроскопе. Измерение спектров ИК-отражения образцов производилось на ИК Фурье спектрометре NEXUS 470 (Nicolet Instrument, USA) общепринятым методом отражения-поглощения (R-A) с помощью приставки Micro Specular Reflectance Accu-2x (Perkin Elmer, USA) под углом 20° к нормали.

На рис. 2 представлена структура исследуемой системы.

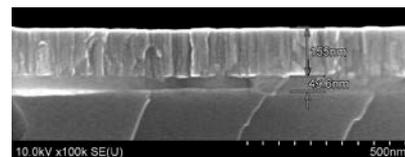


Рис. 2. Строение поперечного сечения пластины кремния с нанесенным слоем TiN/Ti после импульсного фотонного отжига с плотностью энергии 230 Дж/см<sup>2</sup>

Как видно из рисунка, слой нитрида титана достигает 155 нм, под ним располагается слой дисилицида титана  $TiSi_2$ , а затем подложка кремния. Нитрид титана обладает столбчатой структурой, ширина столбика составляет примерно 40 нм.

На рис. 3 приведен спектр отражения от образцов нитрида титана.

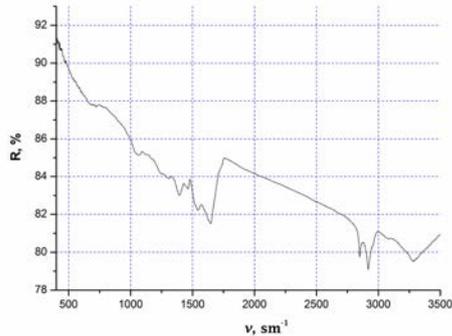


Рис. 3. Спектр отражения от пленки нитрида титана

В спектрах видны узкие полосы отражения в области  $500-700\text{ см}^{-1}$ ,  $1200-1500\text{ см}^{-1}$ ,  $2500-3000\text{ см}^{-1}$ . Данные полосы соответствуют  $TiO_2$  (анатаз), а также органическим загрязнениям. Из анализа спектров следует, что в диапазоне волновых чисел  $500 - 3500\text{ см}^{-1}$  наблюдается уменьшение коэффициента отражения примерно до 15%. Следует отметить, что на ИК-спектрах отражения, полученных от исходных образцов, линии, принадлежащие оксиду титана, отсутствуют. Это свидетельствует о том, что при БТО в слое нитрида титана происходит формирование оксида титана вследствие взаимодействия титана как с кислородом, находящимся в нитриде титана в виде твердого раствора, так и с кислородом, поступающим в нитрид титана из окружающей среды. Затем нитрид титана, не прореагировавший после термической обработки, селективно удалялся в растворе  $H_2O_2:H_2SO_4 = 4:1$  при температурах от  $75^\circ\text{C}$  до  $90^\circ\text{C}$ . После удаления пленки нитрида титана также снимался ИК спектр отражения.

На спектрах видны узкие полосы отражения в области  $1100\text{ см}^{-1}$ . Данные полосы связаны с колебаниями атомов кислорода в кластерах Si-O-Si. Из анализа спектров следует, что в диапазоне волновых чисел  $500 - 3500\text{ см}^{-1}$  также наблюдает-

ся уменьшение коэффициента отражения с 70% до 38%.

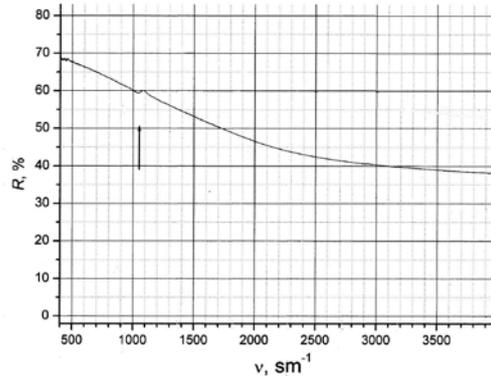


Рис. 3. ИК-спектр отражения после снятия нитрида титана

### Заключение

Методами растровой микроскопии, энергодисперсионного микроанализа, ИК спектроскопии показано, что пленка нитрида титана обладает диффузионным барьерным свойством, что позволяет получать качественные пленки силицида титана.

### Список литературы

1. Самсонов Г.В., Дворина Л.А., Рудь Б.М. Силициды. М.: Металлургия, 1979. 271 с.
2. Мьюрарка Ш. Силициды для СБИС. М. Мир, 1986. 176 с.
3. Анищик В.М. Горушко В.А., Пилипенко В.А., Пономарь В.Н., Понарядов В.В., Пилипенко И.В. Физические основы быстрой термообработки. Минск. БГУ, 2000. 135 с.
4. Куцев С.Б., Маркевич М.И., Чапанов А.М., Щербакова Е.Н. // Металлофизики и новейшие технологии. 2011. Т. 33. № 7. С. 937-944.
4. Ahaitouf Az., Gerbedoen J.C. // J. Mater. Environ. Sci. 2010. V 1. P. 309-312.
5. Hong Tak Kim, Chan Su Chae, Dae Hee Han and Duck Kyu Park // Journal of the Korean Physical Society. 2000 V. 37. № 3. P. 319-323.
6. Vaza F., Ferreira J., Ribeiro E., Reboutaa L., Lanceros-Mendeza S., Mendesa J.A., Alves E., Rivierec J.P., Ribeiro F., Moutinhod I., Pischowe K. // Surface & Coatings Technology. 2005. V. 191. P. 317-323.

## THE ROLE OF TITANIUM NITRIDE IN TECHNOLOGY FOR FORMATION OF TITANIUM SILICIDES

M.I. Markevich<sup>1</sup>, A.M. Chaplanov<sup>1</sup>, P.P. Pershukevich<sup>2</sup>, A.G. Coroz<sup>2</sup>,  
A.N. Petlitsky<sup>3</sup>, D.V. Zhigulin<sup>3</sup>, S.B. Kushchev<sup>4</sup>, D.V. Serikov<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Physicotechnical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, 10 Kuprevicha, Minsk, Belarus

<sup>2</sup>OJSC INTEGRAL, 121A Kazinca IP str., 220108 Minsk, Belarus

<sup>3</sup>Institute of Physics. B.I. Stepanova, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

<sup>4</sup>Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

It is shown that the titanium nitride film has a diffusion barrier property, which makes it possible to obtain high-quality titanium silicide films.