

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ ФОСФОРА В ПЛЕНКЕ БОРОФОСФОРСИЛИКАТНОГО СТЕКЛА МЕТОДАМИ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ И РЕНТГЕНОВСКОГО МИКРОАНАЛИЗА

Т.Н. Коледа, Д.Е. Ёщик, Н.А. Крекотень, В.В. Цыбульский
ГЦ "Белмикрoанализ", Филиал НТЦ "Белмикросистемы", ОАО "Интеграл",
г. Минск, ул. Корженевского, 12, 220108, 212-18-14

Используя методы ИК-спектроскопии и рентгеновского микроанализа проведен сравнительный анализ расчета концентрации фосфора в пленке борофосфоросиликатного стекла.

Введение

С ростом степени интеграции все более важной становится проблема планаризации поверхности подложек на всех стадиях изготовления сверхбольших интегральных схем [1]. В настоящее время в качестве планаризирующего диэлектрика в технологии многоуровневых интегральных схем для выравнивания рельефа поверхности используется диоксид кремния (SiO_2), легированный в процессе нанесения примесью бора и фосфора, понижающей температуру оплавления создаваемого борофосфоросиликатного стекла (БФСС) до 700-800°C. Чрезмерно большая концентрация легирующей примеси бора и фосфора генерирует в планаризируемом слое различного рода дефекты, тогда как при малой ее концентрации не достигаются оптимальные значения температуры оплавления и угла планаризации [2]. Целью настоящей работы является проведение сравнительного анализа расчета концентрации фосфора в пленке БФСС методами рентгеновского микроанализа (EDX-анализа) и ИК-спектроскопии.

Материалы, оборудование и методики исследования

В качестве объекта исследования использовался экспериментальный образец пленки БФСС, который наносился на высокоомную (удельное сопротивление $\rho \geq 1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$) и полированную с двух сторон кремниевую пластину-спутник диаметром 150 мм. Осаждение этой пленки осуществляли в заводских условиях ОАО «Интеграл» из газовой фазы при пониженном давлении паров элементоорганических соединений на установке "КараТ".

Толщина пленки определялась при помощи микроспектрофотометра MPV-SP фирмы Leica. Спектрофотометрирование проводилось следующим образом: на экспериментальном образце произвольным образом выбиралась точка, для которой регистрировался спектральный коэффициент отражения в диапазоне от 400 до 800 нм.

Количественное определение концентрации фосфора в БФСС методом ИК-спектроскопии заключается в регистрации ИК-спектров в спектральном диапазоне равном $2000 - 800 \text{ см}^{-1}$ и измерении интенсивности полосы поглощения связи $\text{P} = \text{O}$, наблюдаемой на ИК-спектре пленки БФСС с последующей компьютерной обработкой, включающей:

- количественное определение интегральной интенсивности выделенной полосы;

- определение искомой концентрации на основе сравнения полученного результата с эталонными значениями, хранящимися в памяти персонального компьютера.

В основе количественной обработки ИК-спектров лежит закон Бугера-Ламберта:

$$D = h \ln T^{-1} = hkN,$$

где D – оптическая плотность; h – толщина пленки; T – коэффициент пропускания образца; k – коэффициент экстинкции; N – концентрация связей, обуславливающих полосу поглощения [3].

Измерение концентрации фосфора в БФСС проводилось на установке VERTEX 70 фирмы Bruker, предварительно откалибровав ее 100 % линию пропускания по воздуху.

Контроль концентрации фосфора в пленке БФСС методом EDX-анализа проводился на растровом электронном микроскопе S-360 фирмы Cambridge Instr. посредством регистрации характеристического рентгеновского излучения спектрометром AVALON-8000 фирмы PGT, возбуждаемого пучком первичных электронов с фиксированной энергией 5 кэВ. В результате взаимодействия первичных электронов с образцом возбуждается характеристическое рентгеновское излучение, интенсивность которого есть функция нескольких параметров, в том числе и концентрации данного элемента в образце. На основании данных анализа программа Spirit рассчитывает действительную концентрацию элементов в образце, используя также априорно введенную информацию об энергии электронного пучка, геометрии расположения излучателя электронов, образца, детектора, реально действующем усилении, положении «нуля» спектрометра и т.п. Процесс измерения концентрации элемента заключается в сравнении интенсивности линии характеристического рентгеновского излучения от анализируемого образца с хранящейся в памяти компьютера интенсивностью излучения эталона.

Результаты и их обсуждение

Методом микроспектрофотометрии была определена толщина пленки БФСС и составила 0,5 мкм. На рисунке 1 представлена зависимость коэффициента отражения пленки БФСС от длины волны.

Определение концентрации фосфора в БФСС методом ИК-спектроскопии основано на том, что присутствие в пленках связанного с кислородом и кремнием фосфора приводит к появлению в ИК-

спектрах полос поглощения (рисунок 2) с волновыми числами: $\nu_1 = 1400 \text{ см}^{-1}$ для связи $\text{B}-\text{O}$, $\nu_2 = 1340 \text{ см}^{-1}$ для связи $\text{P}=\text{O}$ и $\nu_3 = 1100 \text{ см}^{-1}$ для связи $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$. Интенсивность данных полос зависит от содержания в пленках связей $\text{B}-\text{O}$, $\text{P}=\text{O}$ и $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$, а также толщины пленки. Чем выше концентрация фосфора в БФСС, тем точнее измерения методом ИК-спектроскопии.

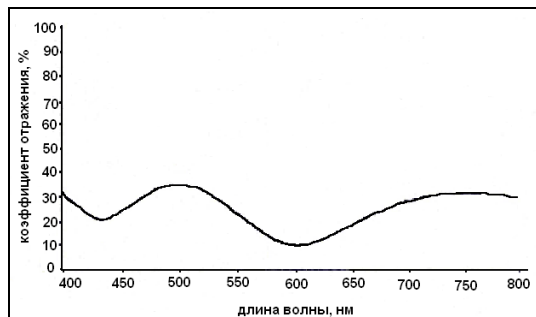


Рис. 1. Зависимость коэффициента отражения пленки БФСС от длины волны

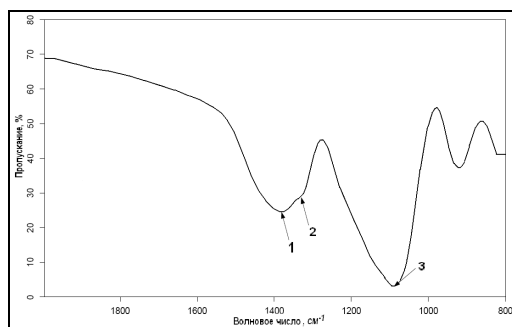


Рис. 2. Спектр пропускания пластины кремния со слоем БФСС: 1 – пик поглощения, характеризующий связь $\text{B}-\text{O}$; 2 – пик поглощения, характеризующий связь $\text{P}=\text{O}$; 3 – пик поглощения, характеризующий связь $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$

Как видно из спектра пропускания пленки БФСС (рисунок 2) полоса поглощения связи $\text{P}=\text{O}$ слабо выражена. И только VERTEX 70, имеющий высокую чувствительность по длинам волн и стабильность измерений позволяет проводить измерения концентрации фосфора в пленках БФСС.

Данный спектр не имеет «шумовых полос» в области $1500-1600 \text{ см}^{-1}$, что свидетельствует о том, что пленка не содержит влаги. Таким образом, результаты ИК-спектроскопии подтверждают, что полученная пленка имеет низкую влажность и достаточно высокую плотность, что спо-

собствует уменьшению поглощения влаги при хранении. Концентрация фосфора в пленке БФСС, измеренная методом ИК-спектроскопии, составила 2,52 вес.%.

В процессе измерения методом EDX-анализа образуются пики характеристического излучения, по соотношению которых можно судить как о составе вещества, так и его стехиометрии (рисунок 3).

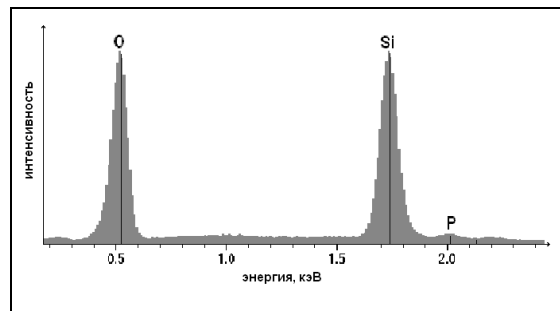


Рис. 3. EDX-анализ пленки БФСС

Значение концентрации фосфора в пленке БФСС измеренное методом EDX-анализа составило 2,16 вес.%.

Заключение

В данной работе проведен сравнительный анализ концентрации фосфора в пленке БФСС методами ИК-спектроскопии и EDX-анализа. Ввиду слабо выраженной полосы поглощения связи $\text{P}=\text{O}$ не представляется возможным точное определение концентрации фосфора в пленке БФСС методом ИК-спектроскопии. Напротив, пик фосфора на рентгеновском спектре хорошо выражен, поэтому результаты измерения являются более точными. Но для экспресс оценки определения концентрации фосфора ИК-метод более предпочтителен.

Авторы выражают благодарность А.И.Прохорову за помощь в подготовке образца.

Список литературы

1. Турцевич А.С., Наливайко О.Ю., Ануфриев Л.П. // Микроэлектроника. – 2007. – Т. 36. – № 4. – С.288-299.
2. Никифоренко Н.Н., Лабуда А.А., Юревич П.Г. и др. // Вестник БГУ. – 2008. – Сер.1. – № 2. С. 46-49.
3. Пилипенко В.А., Пономарь В.Н., Горушко В.А., Солонинко А.А. Физические измерения в микроэлектронике. – Мн.: БГУ, 2003. – 171 с.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PHOSPHORUS CONCENTRATION CALCULATION IN THE FILM OF BORON-PHOSPHOR-SILICATE GLASS BY THE METHODS OF INFRARED SPECTROSCOPY AND X-RAY MICROANALYSIS

T.N. Koleda, D.E. Eschik, N.A. Krekoten, V.V. Tsibulskii

State Center «Belmicroanalysis» of the Affiliate Research & Design Center «Belmicrosystems» of JSC «INTEGRAL», Minsk, The Republic of Belarus, 220108, Korshenevskogo street, building 12

Using the methods of infrared spectroscopy and x-ray microanalysis was carried out comparative analysis of phosphorus concentration in the film of boron-phosphor-silicate glass.