

ПЕРЕХОДНЫЕ СЛОИ В КРЕМНИЕВОЙ
СТРУКТУРЕ $Si_3N_4 - SiO_2 - cSi$

Н. Е. КАМЕНСКАЯ, Н. И. СТАСЬКОВ, И. В. ИВАШКЕВИЧ

Учреждение образования

«МОГИЛЁВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. А. А. Кулешова»

Могилев, Беларусь

Нитрид кремния (Si_3N_4), наряду с оксидом кремния (SiO_2), является ключевым материалом в кремниевой электронике. Тонкие пленки нитрида кремния, чаще всего, используются как изолирующий слой. Поэтому качество работы приборов интегральной микроэлектроники зависит от структуры основных слоев нитрида и диоксида кремния и присутствия вредных поверхностных и переходных слоев. Процесс получения структуры $Si_3N_4 - SiO_2 - cSi$ начинается с обработки подложек (cSi). При быстром термическом отжиге в сухом кислороде на поверхности подложки образуется слой SiO_2 . Затем на слой SiO_2 осаждается слой Si_3N_4 . Ранее обсуждалось влияние параметров слоев кремниевых структур на измеряемые спектральные характеристики [1]. В данном сообщении приводятся результаты решения обратных задач многоугловой и спектральной эллипсометрии по восстановлению параметров основных (Si_3N_4 , SiO_2) и паразитных переходных слоев на границах раздела воздух – Si_3N_4 , $Si_3N_4 - SiO_2$, $SiO_2 - cSi$.

Были рассмотрены двухслойная электродинамическая модель (I), в которой не учитывались переходные слои, и две пятислойные модели. В первой пятислойной модели (II) переходные слои заменялись слоями поляризованных диполей с поляризуемостями α_{ij} , ($i = 0, 1, 2$; $j = 1, 2, 3$). Во второй пятислойной модели (III) переходные слои рассматривались как однородные слои толщиной d_l с комплексным показателем преломления $N_l = n_l - k_l i$ ($l = 1 \div 5$).

Для определения вещественного состава переходных слоёв использовали модель Максвелла – Гарнетта – Бруггемана (EMAMG), в которой матрица с диэлектрической проницаемостью ϵ_0 заполнена на f_1 % наночастицами с ϵ_1 и на f_2 % наночастицами с ϵ_2 . Доля материала матрицы в слое определяется по выражению $f_3 = (100 - f_1 - f_2)$ %. Поверхностный и переходный слои на границах раздела воздух – Si_3N_4 и $Si_3N_4 - SiO_2$ моделировались физической смесью диоксида кремния, нитрида кремния и пустот. Слои Si_3N_4 , SiO_2 и подложка cSi считались однородными. Переходный слой на границе раздела $SiO_2 - cSi$ моделировался физической смесью аморфного кремния, кристаллического кремния и диоксида кремния.

С помощью ЛЭФ 3М ($\lambda = 6328,8$ нм) и спектрального эллипсометра *ES2* измеряли поляризационные углы ψ , Δ и соответственно спектры $\tan \psi(\lambda)$, $\cos \Delta(\lambda)$ исследуемых кремниевых структур. Методом наименьших квадратов численно решались обратные задачи эллипсометрии (восстанавливались параметры двух или пяти слоёв). Решения этих задач приведены в табл. 1.

Табл. 1. Геометрические и оптические характеристики структуры

Слой	<i>ES2</i> (модель III)	ЛЭФ 3М (модель II)	ЛЭФ 3М (модель I)
поверхностный	$d_1 = 5,0$ нм, $N_1(0,6328) = 1,3 - 0,1i$	$\alpha_{01} = -0,91$ нм	–
Si ₃ N ₄	$d_2 = 92,5$ нм, $n_2(0,6328) = 2,011$	$d_2 = 105,4$ нм, $n = 2,018$	$d_{12} = 81,7$ нм, $N_{\text{eff}} = 2,026 - 0,044i$
переходный	$d_3 = 9,7$ нм, $n_3(0,6328) = 1,73$	$\alpha_{01} = -1,12$ нм	–
SiO ₂	$d_4 = 41,3$ нм, $n_4(0,6328) = 1,457$	$d_4 = 43,2$ нм, $n = 1,457$	$d_{34} = 70,1$ нм, $N_{\text{eff}} = 1,634 - 0,007i$
переходный	$d_5 = 3,8$ нм, $N_5(0,6328) = 2,64 - 0,01i$	$\alpha_{01} = -0,63$ нм	
подложка	$N(0,6328) = 3,826 - 0,02i$	$N = 3,829 - 0,017i$	$N = 3,829 - 0,017i$

Как видим, результаты решений обратных задач по данным различных методов достаточно хорошо согласуются при учете поверхностного и переходного слоев (модели III и II). При этом значения оптических характеристик слоев Si₃N₄ и SiO₂ близки к табличным данным из математического обеспечения спектрального эллипсометра *ES2*.

Суммарные толщины всех слоев на подложке КДБ12, по данным таблицы практически одинаковые ($d_I = 151,8$ нм; $d_{II} = 148,6$ нм; $d_{III} = 152,3$ нм). Это указывает на возможность применения модели Максвелла – Гарнетта–Бруггемана для определения компонент переходных слоев по эффективным оптическим показателям, приведенным в последнем столбце таблицы. Пятислойные модели, учитывающие переходные и поверхностный слои на границе раздела фаз, позволяют определить параметры структуры Si₃N₄ – SiO₂ – cSi.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Учет влияния естественного поверхностного слоя при исследовании кремниевых пластин методом спектральной эллипсометрии / Н. И. Стаськов [и др.] // Проблемы физики, математики и техники – 2012. – № 1(10) – С. 1–5.