

ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕРХТОНКИХ СЛОЕВ SiO_2 , ПОЛУЧЕННЫХ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ПЛАЗМЕННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

Ф. А. Дудонин, П. П. Свербиль, В. Н. Селезнев

УДК 535.323:546.284-31

Методом эллипсометрии в двух средах измерен показатель преломления пленок SiO_2 на кремнии, полученных высокочастотным распылением. Предложено уточнение метода. Показано, что полученные пленки оптически однородны в диапазоне толщин 13-76 Å.

В ряде приборов современной микроэлектроники используются сверхтонкие пленки двуокиси кремния. Одним из перспективных методов получения таких сверхтонких пленок является метод высокочастотного плазменного распыления. В настоящей работе исследовались показатель преломления и оптическая однородность осажденных пленок SiO_2 на кремнии в диапазоне толщин 10-100 Å.

Показатель преломления n_2 и толщина d пленки определялись на эллипсометре ЛЭФ-2 (длина волны света 6328 Å) по известной методике [1,2]. Суть метода в том, что параметр Δ (разность фаз между р- и s-компонентами отраженного света) измеряется в двух средах: в воздухе и, например, в толуоле. Из этих двух измерений можно найти два неизвестных: n_2 и d . Поскольку толщины пленок не превышают 100 Å, для расчетов можно воспользоваться формулой линейного по d приближения [3]:

$$\bar{\Delta} - \Delta = \frac{720c_1 N_1}{\lambda_0} \frac{1 - (N_1/N_2)^2}{1 - (N_1/N_3)^2} \frac{1 - (N_2/N_3)^2}{1/t_1^2 - (N_1/N_3)^2} d, \quad (I)$$

где λ_0 - длина волны падающего излучения в вакууме; d - толщина пленки; N_1, N_2, N_3 - комплексные показатели преломления соответственно среды, пленки и подложки; $c_1 = \cos\varphi_1$, $t_1 = \tan\varphi_1$,

φ_1 — угол падения света; $\bar{\Delta}$ — параметр чистой подложки в градусах; Δ — параметр подложки с пленкой. Погрешность формулы (I) достигает 3% при толщине пленки 100 Å. Однако обеспечить высокую точность таких измерений достаточно сложно. Действительно, изменение параметра Δ_0 в толуоле, связанное с изменением толщины пленок от 10 до 100 Å, составляет всего лишь единицы градусов. В связи с этим на точность измерения сказывают влияние многие факторы. Несовершенство окон киветы может привести к дополнительному набегу фазы. Сравнимый сдвиг фазы может быть обусловлен изменением коэффициента поглощения k_3 подложки, что может быть связано с различными способами ее обработки /4/. Так, при изменении k_3 от 0 до 0,04 параметр $\bar{\Delta}$ в толуоле изменяется от 0 до -3° . Некоторая неопределенность толщины и показателя преломления естественного окисла, обычно присутствующего на поверхности кремния /5/, приводит к дополнительным ошибкам.

Ошибки могут быть существенно уменьшены, если измерить приращение фазы, связанное только с осадочной пленкой: $\Delta - \tilde{\Delta}$, где $\tilde{\Delta}$ есть измеренный параметр подложки, отличающийся от $\bar{\Delta}$ по вышеизложенным причинам. При вычитании $\tilde{\Delta}$ из Δ все добавки, перечисленные выше, взаимно уничтожаются (добавка из-за естественного окисла входит в линейном приближении одинаковым слагаемым в $\tilde{\Delta}$ и Δ и также исчезает).

Для измерения образец кремния, протравленный в плавиковой кислоте, разграничивался на две части, и исследуемая пленка осаждалась на одну из них по стандартной технологии /6/. Далее измеряли параметр Δ для обеих частей образца в воздухе и толуоле, и вычислялась разность $\Delta - \tilde{\Delta}$.

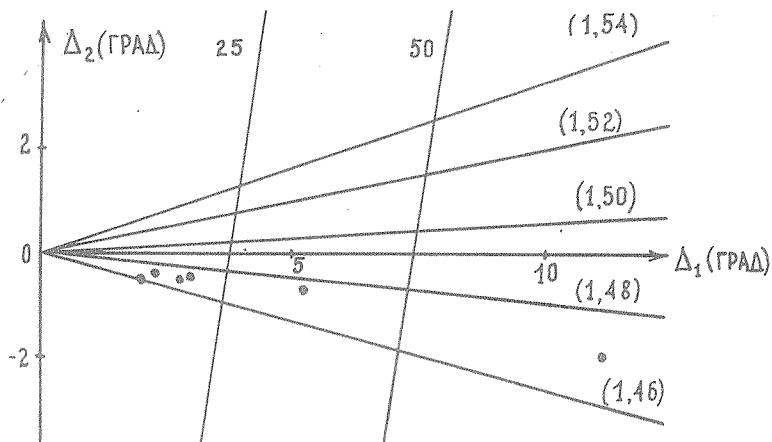
Результаты представлены на рис. I в координатах $\tilde{\Delta} - \Delta$ в воздухе и в толуоле. Координатная сетка нанесена в соответствии с расчетами по формуле линейного приближения (I). Показатели преломления пленок и толщины представлены в таблице I.

У всех пленок в среднем $n = 1,47 \pm 0,01$, причем возможна общая систематическая ошибка $\pm 0,01$. Это значение совпадает с показателем преломления $n = 1,47$ термического окисла /2/. Некоторая нестабильность скорости напыления при временах меньше одной минуты может объясняться непостоянством теплового режима подложки на начальных стадиях напыления, что влияет на скорость осаждения, а также тем, что вначале расплываемое вещество осаждается на по-

верхность со структурой подложки, а затем поверхность приобретает структуру пленки, и это может сказаться на скорости осаждения.

Таблица I

№ образца	1	5	2	4	10	3
Время напыления, мин	0,25	0,5	0,75	1	2	4
Толщина, Å	13	15	20	21	40	76
n	1,46	1,47	1,47	1,47	1,48	1,47



Р и с. I. Фазовая номограмма. По осям отложены $\Delta_1 = \tilde{\Delta} - \Delta$ в воздухе ($n_1 = 1$) и $\Delta_2 = \tilde{\Delta} - \Delta$ в толуоле ($n_1 = 1,492$). Цифры без скобок обозначают толщину пленки в ангстремах, в скобках указаны значения n_2 . Угол падения света $\varphi_1 = 64^\circ$. Показатель преломления кремния $n_3 = 3,86 - 0,021$

В результате работы уточнена методика эллипсометрических измерений субтонких диэлектрических пленок на подложках, с ее помощью измерен коэффициент преломления пленок SiO_2 в диапазоне толщин 13-76 Å, осажденных методом высокочастотного плазменного распыления на кремниевые подложки. Установлено, что в указанном диапазоне осаждаются оптически однородные пленки с коэффициен-

том преломления $1,47 \pm 0,02$. Полученные слои перспективны для использования в приборах с туннельно тонким окислом.

Поступила в редакцию

22 ноября 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. F. Lukes, W. H. Knausenberger, K. Vedam, Surface Science 16, 112 (1969).
2. Г. Егорова, Н. С. Иванова, Е. В. Потапов, А. В. Раков, Оптика и спектроскопия, 36, № 4, 773 (1974).
3. R. L. Fisher, J. Electrochem. Soc. 104, 619 (1957).
4. Ю. А. Концевой, Р. Р. Резвый, М. С. Финарев, В. А. Бузовкина, Электронная техника, сер. 2 (полупроводниковые приборы), 1977, вып. 5 (II5), стр. 53.
5. Г. А. Злочевская, В. А. Усова, Микроэлектроника 5, № 4, 344 (1976).
6. Ф. А. Пудонин, В. Н. Селезнев, Д. Н. Токарчук, Микроэлектроника 7, № 3, 283 (1978).