

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ И СВОЙСТВ ПЛЕНОК ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕГО КРЕМНИЯ

А.С. Турцевич, О.Ю. Наливайко, В.П. Лесникова, Л.П. Ануфриев, Г.В. Лепешкевич  
Минск, НПО «Интеграл», [dzsto3@integral.by](mailto:dzsto3@integral.by)

Использование пленок полуизолирующего кремния позволяет повысить стабильность зарядовых состояний пассивирующих покрытий, исключить образование паразитных каналов и повысить пробивные напряжения дискретных высоковольтных приборов [1-4], так как в них полностью отсутствует характерный для пленок двуокиси кремния эффект захвата инжектированных в процессе лавинного пробоя горячих носителей, который вызывает деградацию вольт-амперных и шумовых характеристик приборов.

В настоящей работе исследовалось влияние соотношения потоков  $N_2O/SiH_4$  и давления в реакторе на кинетику процесса и свойства осаждаемых пленок.

Осаждение слоев в системе  $SiH_4-N_2O$  осуществляли в промышленном горизонтальном реакторе пониженного давления "Карат" с горячими стенками. Температура осаждения ( $T_{ос}$ ) составляла  $650^{\circ}C$ . Давление варьировалось в диапазоне от 24 до 53 Па. Температурный профиль поддерживался с точностью  $\pm 1^{\circ}C$ . Использовались моносилан и закись азота электронного класса чистоты. Величина отношения объемных потоков закиси азота к моносилану варьировалась в диапазоне  $0.15 \div 0.5$ .

В качестве подложек использовали пластины кремния диаметром 100 мм с ориентацией (100) и удельным сопротивлением  $12 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , легированные бором. На части образцов предварительно выращивали термический окисел кремния толщиной  $42.5 \pm 2.5 \text{ мкм}$ .

Толщина и показатель преломления ( $n$ ) пленок определялись при помощи лазерной эллипсометрии. Дополнительно толщина пленок измерялась при помощи спектрофотометра. Для исследования ИК-спектров поглощения использовали спектрометр "SPECORD-75". Содержание кислорода определяли при помощи ОЖЕ-спектрометрии на установке РНИ-660. Плотность пленок определялась методом полного внешнего отражения рентгеновских лучей при помощи дифрактометра ДТС. Структура пленок исследовалась при помощи просвечивающего электронного микроскопа на вертикальном сколе.

Установлено, что с увеличением давления в реакторе скорость осаждения пленок полуизолирующего кремния монотонно уменьшается (рис. 1). При давлении 24 и 40 Па с увеличением  $\gamma$  от 0.15 до 0.5 скорость осаждения монотонно уменьшается от 7.8 и 6.6 до 2.1 и 1.8 нм/мин соответственно. При давлении 53 Па с увеличением  $\gamma$  от 0,15 до 0,3 скорость осаждения уменьшается от 5.0 до 1.2 нм/мин, а затем изменяется незначительно.

По нашему мнению, уменьшение скорости осаждения полуизолирующего кремния при увеличении давления в реакторе происходит вследствие конкурирующей адсорбции моносилана и закиси азота на одних и тех же центрах. Увеличение давления приводит к снижению скорости поверхностной миграции моносилана и, как следствие, к снижению доли центров, доступных для адсорбции и снижению скорости осаждения. По мере увеличения концентрации закиси азота стимулируется протекание газофазных процессов полимеризации  $SiH_4$  с образованием силилена [1, 5]. Силilen охотно встраивается в кремний-водородные связи, что приводит к образованию более высоких силанов ( $Si_nH_{2n+2}$ ), силиленов ( $Si_nH_{2n}$ ) и кремниевых кластеров, которые также окисляются закисью азота и встраиваются в растущую пленку.

Впервые обнаружена зависимость содержания кислорода в пленках полуизолирующего кремния от давления в реакторе – с увеличением давления содержание кислорода возрастает (рис.2). В то же время при давлении 24 Па зависимость содержания кислорода от  $\gamma$  практически линейная, что облегчает управление процессом осаждения. При

давлениях 40 и 53 Па наиболее существенное увеличение содержания кислорода (до 33-38 атом. %) наблюдается в узком диапазоне  $\gamma$  от 0.15 до 0.3, а затем увеличивается незначительно. Таким образом, по мере увеличения давления от 24 до 40 - 53 Па область, в которой происходит образование полуизолирующего кремния, сужается, а при давлении 24 Па процесс осаждения является более управляемым как по скорости осаждения, так и по содержанию кислорода.

Показатель преломления пленок полуизолирующего кремния с увеличением  $\gamma$  монотонно уменьшается от характерного для поликристаллического кремния значения 3.9 (при  $\gamma=0.05$ ) до 1.9 при  $\gamma=0.5$ . Значения, близкие к показателю преломления оксида кремния достигаются при  $\gamma>3.0$  [1, 2]. Показатель преломления пленок полуизолирующего кремния монотонно уменьшается с увеличением концентрации кислорода, причем его абсолютные значения практически не зависят от давления в реакторе.

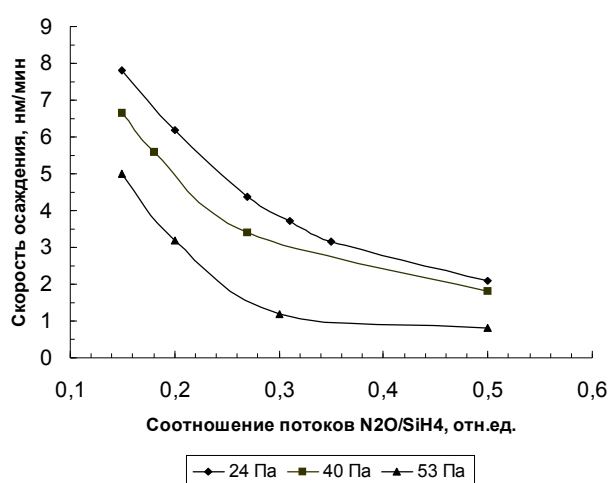


Рис.1. Зависимость скорости осаждения пленок полуизолирующего кремния от соотношения потоков N<sub>2</sub>O/SiH<sub>4</sub>.

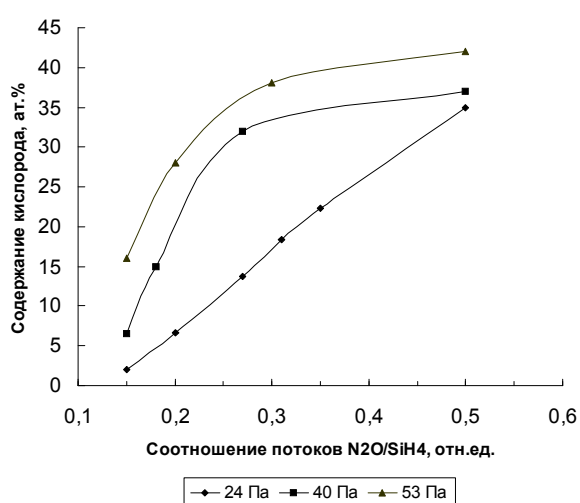


Рис.2. Зависимость содержания кислорода в пленках полуизолирующего кремния от соотношения потоков N<sub>2</sub>O/SiH<sub>4</sub>.

Удельное сопротивление пленок полуизолирующего кремния с увеличением содержания кислорода монотонно возрастает и составляет  $108 \div 1010 \text{ Ом}\cdot\text{см}$  при содержании кислорода 15-35 атом. % (для сравнения удельное сопротивление нелегированного поликристаллического кремния составляет  $106 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , а двуокиси кремния –  $1016 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ) [4]. Проводимость полуизолирующего кремния хорошо описывается теорией термоионной эмиссии [6].

Имеющиеся данные по структуре пленок полуизолирующего кремния неоднозначны. Так в работах [7, 8] сообщается, что пленки с содержанием кислорода 15-35 атом. % являются аморфными, а в работах [4, 9] кристаллическими. В [6] обсуждается мозаичная модель, предполагающая, что пленка состоит из очень мелких зерен поликристаллического кремния и оксида кремния, окруженных аморфным кремнием. При этом, объемная фракция кристаллического кремния может составлять до 50 %, а оксида кремния – 24%. Размеры кристаллитов имеют размеры от 3.5 нм до 20-30 нм.

Пленки полуизолирующего кремния с содержанием кислорода около 2.5 атом % имеют квази-поликристаллическую структуру (рис.3 а). При увеличении концентрации кислорода до 10 атом % , в отличие от работ [4, 9], происходит формирование аморфных пленок (рис.3 б).

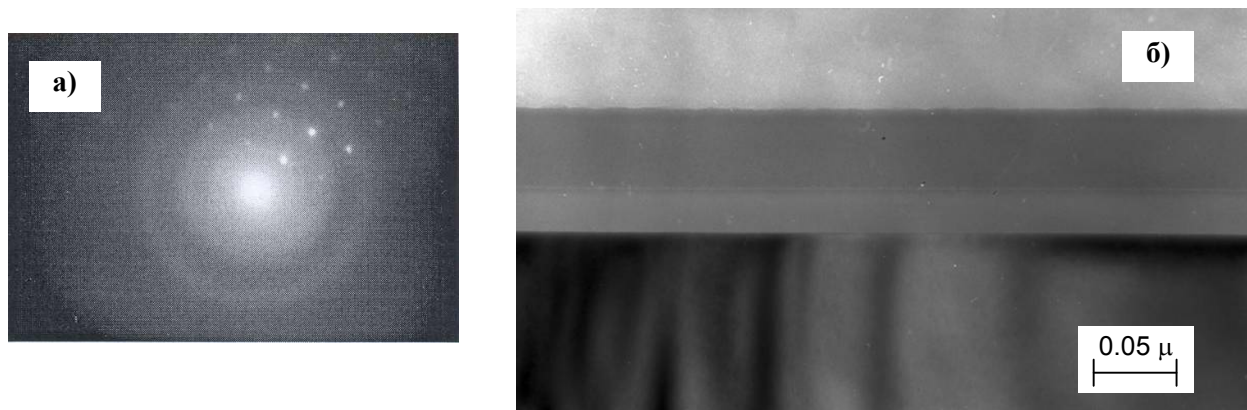


Рис.3. Электронограмма (а) и микрофотография вертикального сечения (б) пленки полуизолирующего кремния.

Таким образом, впервые обнаружена зависимость содержания кислорода в пленках полуизолирующего кремния от давления в реакторе. Показано, что при низких давлениях процесс является более управляемым по содержанию кислорода. Установлено, что при содержании кислорода около 2.5 атом. % пленки имеют квази-поликристаллическую структуру, а при дальнейшем увеличении концентрации кислорода до 10 атом. %, происходит формирование аморфных пленок

#### Литература

1. А.С. Турцевич, О.Ю. Наливайко, И.И. Макаревич, А.И. Иванов, В.В. Турцевич, «Кинетика процесса осаждения слоев в системе  $\text{SiH}_4\text{-N}_2\text{O}$  в реакторе пониженного давления. Часть 1. Поликристаллический кремния, легированный кислородом», Поверхность, 1996, №8, с.10-18.
2. А.С. Турцевич, О.Ю. Наливайко, Д.А. Зайцев, Н.В. Румак, «Кинетика процесса осаждения слоев в системе  $\text{SiH-N}_2\text{O}$  в реакторе пониженного давления. Часть 2. Высокотемпературный окисел кремния», Поверхность, 1996, №9, с.14-18.
3. A. Mimura, M. Oohayashi, S. Furakami, N. Momma, "High-voltage planar structure using  $\text{SiO}_2\text{-SIPOS-SiO}_2$  film", IEEE Electron. Device Lett., 1985, vol.EDL-6, p.189-191.
4. В.М. Колешко, А.А. Ковалевский, Поликристаллические пленки полупроводников в микроэлектронике, Мн., «Наука и техника», 1978, 344с.
5. С.М. Репинский, "Химическая кинетика роста слоев диэлектриков" в сб. "Современные проблемы физической химии", Н.: "Наука", Сибирское отделение, 1988, с.118-124.
6. M.J.V. Bolt, J.G. Simmons, "The conduction properties of SIPOS", Solid State Electronics, 1987, v.30, №5, pp.533-542.
7. J. Wong, D.A. Jefferson, T.G. Sparrow, J.M. Thomas, R.M. Milne, A. Howie, E.F. Koch, "High resolution electron microscopic and spectroscopic characterization of semi-insulating polycrystalline silicon and its interface with single-crystal silicon", Appl. Phys. Letters, 1986, v.48, №1, pp.65-67.
8. В.Т. Мейер, К.В. Отс, «Отжиг пленок SIPOS», Электронная техника, Сер.6, 1983, Вып.8, с.61-64.
9. M.L. Hitchman, J. Kane, "Semi-insulating Polysilicon (SIPOS) Deposition in a Low Pressure CVD Reactor. I. Deposition Kinetics." J. of Crystal Growth, 1981, vol.55, pp.485-500.