

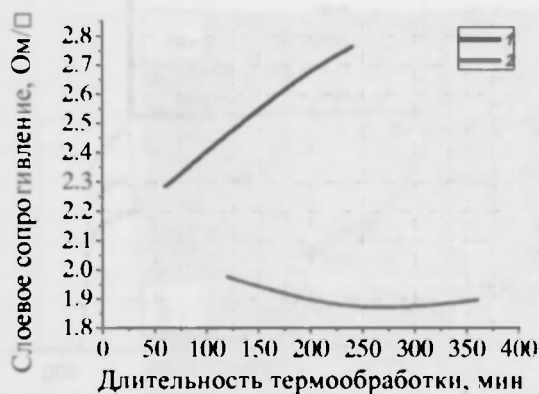


Рис. 4. Зависимости слоистого сопротивления формируемых силицидных структур от длительности термообработки:
1 – 300 °C; 2 – 200 °C

По-видимому, это связано с увеличением доли силицида PtSi в измеряемом слое (сопротивление для фазы PtSi выше, чем для Pt₂Si [3]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенных исследований можно заключить, что низкотемпературный отжиг более предпочтителен с позиции структурной однородности формируемых силицидных слоев. Было подтверждено, что процесс протекания силицидообразования не зависит от типа проводимости кремниевой подложки. Установлено, что в ходе термообработки при 200 °C единственной формируемой силицидной фазой является Pt₂Si.

ЛИТЕРАТУРА

1. Флоренцев С. // СТА. 2004. № 2. С. 20–30.
2. Попов С. // Электронные компоненты. 2002. № 3. С. 35–38.
3. Мьюрарка III. Силициды для СБИС. М.: Мир. 1986. 176 с.
4. Snyder John P., Helms C.R., Yoshio Nishi // Appl. Phys. Lett. 1995. Vol. 67. P. 1420–1422.
5. Тонкие пленки: взаимная диффузия и реакция // Под ред. Дж. Поута, К. Ту, Дж. Мейера. М.: Мир. 1982. 676 с.
6. Достанко А. П., Баранов В. В., Шаталов В. В. Пленочные токопроводящие системы СБИС. Минск: Высш. шк., 1989. 238 с.
7. Турцевич А. С., Ануфриев Д. Л., Соловьев Я. А., Мильчанин О. В. // Вакуумная техника и технология. 2006. Т. 16, С. 271–275.
8. Larrieu G., Dubois E., Wallart X., Baie X. // J. Appl. Phys. 2003. Vol. 94. P. 7801–7810.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ОСАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОЕВ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО В ПРОЦЕССЕ РОСТА КИСЛОРОДОМ

А. С. Турцевич¹, О. Ю. Наливайко², П. И. Гайдук³, Г. В. Лепешкевич²

¹УП «Завод Транзистор», ATurtsevich@transistor.com.by
²УП «Завод полупроводниковых приборов», dzsto3@integral.by
³Белорусский государственный университет

ВВЕДЕНИЕ

Использование пленок поликристаллического кремния, легированного кислородом (ПКЛК), позволяет исключить образование паразитных каналов и обеспечить

высокие пробивные напряжения дискретных силовых приборов [1, 2]. Кроме того, пленки полуизолирующего кремния могут использоваться для формирования высокоомных резисторов вместо поликремниевых резисторов, которые имеют большие разбросы величины сопротивления и высокий температурный коэффициент [3].

Настоящая работа посвящена исследованию влияния соотношения потоков N_2O/SiH_4 (γ) на структурно-морфологические свойства пленок ПКЛК.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Осаждение слоев в системе SiH_4-N_2O осуществляли в промышленном горизонтальном реакторе пониженного давления «Карат» с горячими стенками. Температура осаждения ПКЛК составляла 650 °С, давление – 24 Па. Величина отношения расходов закиси азота к моносилану изменялась от 0 до 3,0. В качестве подложек использовали пластины кремния КДБ-12 (100) диаметром 100 мм с предварительно выращенным термическим окислом кремния толщиной $42,5 \pm 2,5$ нм. Расстояние между подложками составляло 2,8 мм.

Определение содержания кислорода в пленках ПКЛК проводили при помощи ОЖЕ-спектрометрии на установке РН1-660 и при помощи обратного резерфордовского рассеяния. Структура пленок ПКЛК исследовалась при помощи угольных реплик на просвечивающем электронном микроскопе.

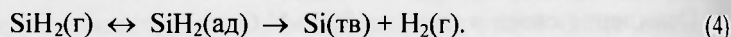
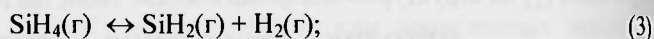
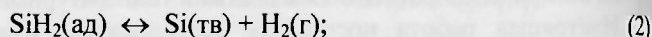
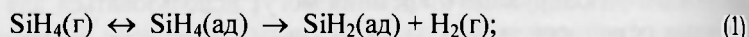
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показано в работе [4], при осаждении пленок ПКЛК в течение 15 с образуются островковые пленки с размером отдельных островков до 95 нм и высотой островков 0,6–0,8 нм (высота выступов на исходной подложке кремния 0,4 нм, а радиус атома кремния 0,117 нм). При этом плотность островков почти на порядок меньше, чем при осаждении поликремния (ПК). Примерно $3,1-4,3 \cdot 10^{10}$ и $4,1-4,8 \cdot 10^9$ см⁻² для ПК и ПКЛК соответственно. На последующих этапах роста ПКЛК происходит увеличение размеров островков до 538 нм, при этом их количество уменьшается (в $1,6 \div 1,7$ раза), а высота не превышает 1,6 нм [4]. Наличие характерных выступов размером 94,5 нм и высотой 0,6 нм позволяет предположить, что на поверхности островков появляются новые зерна-островки, т. е. при осаждении ПКЛК в смеси закись азота – моносилана происходит образование новых центров зародышеобразования на первичных островках.

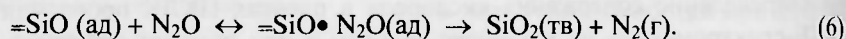
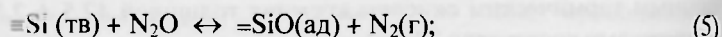
При увеличении длительности осаждения до 120 с разнорельефность микрорельефа не превышает 1,2 нм, а толщина пленки составляет около 5 нм. Таким образом, образование сплошной пленки ПКЛК происходит при меньшей толщине по сравнению с ПК, что обуславливает существенное снижение средней шероховатости (R_a) пленок ПКЛК по сравнению с пленками ПК [4].

Толщина пленки ПКЛК, соответствующая окончанию индукционного периода и образованию сплошной пленки, в отличие от работы [5] составляет около 5 нм. При увеличении γ до 0,5 размер отдельных островков при длительности осаждения 30 с уменьшается до 64,6 нм при средней высоте островков 1,0 нм [4]. Сами островки имеют развитую поверхность (4–10 нм) и внутреннюю структуру. Средняя шероховатость поверхности при увеличении отношения потоков N_2O/SiH_4 от 0,23 до 0,5 возрастает от 0,09 до 0,22 нм (при длительности осаждения 45 с). Исходя из вышеуказанного, использование соотношения потоков $N_2O/SiH_4 = 0,23$ для осаждения ПКЛК предпочтительнее.

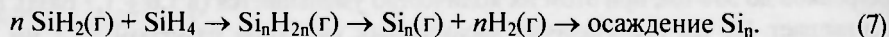
Пиролиз моносилана протекает по следующим реакциям:



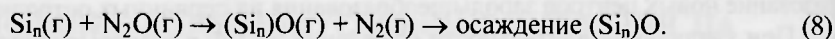
Реакции (1), (2) и (3), (4) представляют собой два параллельных пути осаждения ПК. В свою очередь адсорбция и разложение закиси азота происходят на $\equiv \text{Si}^*$ -центрах, образующихся на поверхности растущей пленки [6]:



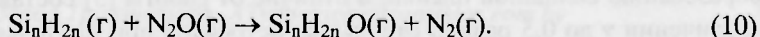
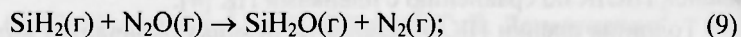
Так как адсорбция моносилана и закиси азота носит конкурентный характер, скорость роста ПКЛК снижается при увеличении соотношения потоков $\text{N}_2\text{O}/\text{SiH}_4$ за счет уменьшения доли центров, доступных для адсорбции. Уменьшение плотности островков на начальной стадии роста ПКЛК по сравнению с ПК обусловливается конкурирующей адсорбцией закиси азота и моносилана на одних и тех же центрах. По мере увеличения концентрации закиси азота стимулируется протекание газофазных процессов полимеризации SiH_4 с образованием силилена (реакция 3). Силилен охотно встраивается в кремний-водородные связи, что приводит к образованию более высоких силанов ($\text{Si}_n\text{H}_{2n+2}$), силиленов (Si_nH_{2n}) и кремниевых кластеров, которые также окисляются закисью азота и встраиваются в растущую пленку:



На поверхности кластеров также может протекать адсорбция и разложение закиси азота:



Кроме того, силилены могут реагировать с N_2O с образованием силанолов, которые могут быть окислены в газовой фазе или диффундируют к поверхности с последующим окислением и встраиванием в растущую пленку [7]:



Таким образом, по мере увеличения отношения потоков $\text{N}_2\text{O}/\text{SiH}_4$ стимулируется протекание газофазных процессов полимеризации силана с образованием силилена, а также более высоких силанов и силиленов, которые также окисляются закисью азота и встраиваются в растущую пленку.



Journal of Management Education 36(7)>

Полученные результаты коррелируют с результатами Томаса и Гудвина [13] и

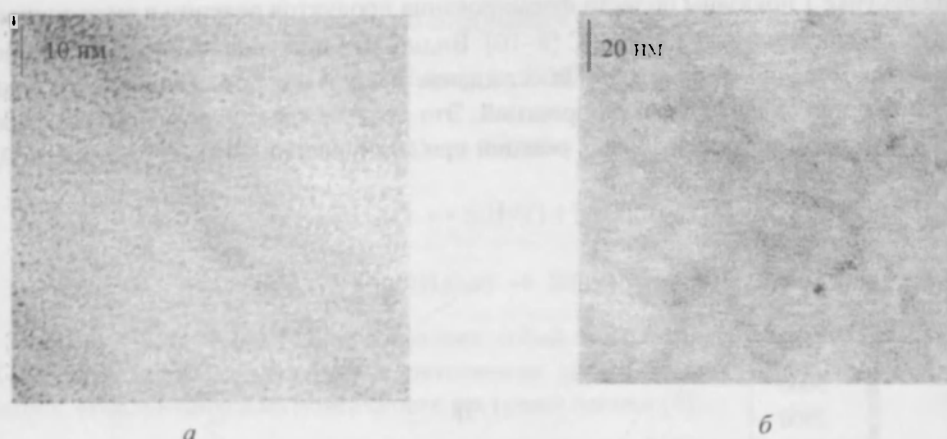


Рис. 2. ПГЭМ-изображения пленки ПКЛК с содержанием кислорода 38 ат. % после осаждения (а) и после отжига при температуре 1000 °С в течение 30 мин (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что при парциальном давлении силана < 20 Па осаждение ПКЛК идет по гетерогенному механизму, а при парциальных давлениях силана > 20 Па – по смешанному механизму и возрастает вклад газофазных реакций. Средняя шероховатость поверхности при увеличении γ от 0,23 до 0,5 возрастает от 0,09 до 0,22 нм. Это свидетельствует о предпочтительности использования для осаждения пленок ПКЛК $\gamma < 0,23$ и парциальных давлений < 20 Па.

Процесс кристаллизации ПКЛК сопровождается расслоением системы, причем на поверхности ПКЛК после отжига в азоте при температуре 1000 °С в течение 30 мин, образуется слой SiO_2 , а в объеме – поликристаллы Si размером 7–10 нм, вкрапленные в SiO_2 с плотностью зерен $8\text{--}9 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Полученные результаты объясняют процесс сдерживания рекристаллизации ПКЛК за счет капсулирования кристаллитов в SiO_2 , а также роста новых зародышей на первичных островках кремния, покрытых оксидом кремния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Turtsevich A. S., Nalivaiko O. Y., Lesnikova V. P. et al. The effect of pressure and $\text{N}_2\text{O}/\text{SiH}_4$ ratio on the properties of SIPOS films, Books of Abstracts, International Conference «Micro- and Nanoelectronics 2005», October 3rd-7th, 2005. Moscow. Zvenigorod. Russia. P. 31.
2. Блехер А. Физика силовых биполярных и полевых транзисторов / Пер. с англ.; под ред. И. В. Грехова, Л.: Энергоатомиздат. 1986. С. 46.
3. Патент США №5751043, СЗУПВ с резистором из SIPOS, H01L 27/11, оп.12.05.1998.
4. Турцевич А. С., Наливайко О. Ю., Глухманчук В. В. et al. Начальная стадия роста слоев поликристаллического кремния, легированного в процессе роста кислородом // Сборник науч. тр. II Междунар. науч. конф. «Материалы и структуры современной электроники», Минск, 5–6 октября 2006. С. 64–69.
5. Турцевич А. С., Наливайко О. Ю., Ануфриев Л. П., Лесникова В. П. Структурно-морфологические и электрофизические свойства пленок полужолирующего кремния // Вакуумная техника и технология. 2006. Т. 16. № 1. С. 31–33.
6. Бакланов М. С., Кручинин В. Н., Репинский С. М. Критические условия при взаимодействии азота с поверхностью кремния при низких давлениях // Поверхность. 1986. № 10. С. 79–86.

7. Chapple-Sokol J. D., Gordon R. G. A Kinetic Study of the Atmospheric Pressure CVD Reaction of Silane and Nitrous Oxide // J. Electrochemical Society. 1989. Vol. 136. № 10. P. 2993–3003.
8. Васильев В. Ю. Процессы химического осаждения из газовой фазы и свойства фосфоро- и борофосфоросиликатных стеклобразных слоев / Дис. на соискание д-ра хим. наук. Новосибирск. 2002. С. 13.
9. Турцевич А. С., Наливайко О. Ю., Макаревич И. И. и др. Кинетика процесса осаждения слоев в системе SiH–N₂O в реакторе пониженного давления. Ч. 1. Поликристаллический кремний, легированный кислородом // Поверхность. 1996. № 8. С. 14–18.
10. Турцевич А. С., Наливайко О. Ю., Зайцев Д. А., Румак Н. В. Кинетика процесса осаждения слоев в системе SiH–N₂O в реакторе пониженного давления. Ч. 2. Высокотемпературный окисел кремния // Поверхность. 1996. № 9. С. 14–18.
11. Gris H., Caussat B., Cot D., Durand J., Couderc J.-P. LPCVD silicon-Based Film Formation in Submicrometer Trenches in Industrial Equipment: Experiments and Simulation. // Chem. Vap. Deposition. 2002. Vol. 8. № 5. P. 213–219.
12. Мейер Б. Л., Омс К. В. Отжиг пленок SIPOS // Электронная техника. Сер. 6. Материалы. 1983. Вып. 8(111). С. 61–64.
13. Thomas J. H., Goodman A. M. AES and XPS Studies of Semi-Insulating Polycrystalline Silicon (SIPOS) Layer // J. Electrochemical Society. 1979. Vol. 126. № 10. P. 1766–1770.
14. Hitchman M. L. A consideration of the effect of reactor parameters on the characteristics of layers prepared by low pressure chemical vapour deposition. // Vacuum. 1984. Vol. 34. № 3–4. P. 341–494.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕАКТОРОВ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ ПЛЕНОК ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ, НИТРИДА КРЕМНИЯ И ОКСИДА КРЕМНИЯ

О. Ю. Наливайко, В. В. Сухан, В. И. Плебанович, В. И. Каленик

УП «Завод полупроводниковых приборов» НПО «Интеграл», dzsto3@integral.by

ВВЕДЕНИЕ

Осаждение слоев в реакторах пониженного давления (РПД – LPCVD) получило широкое распространение благодаря значительным преимуществам по сравнению с реакторами атмосферного давления, а именно: высокой производительности, практически не изменяющейся при увеличении диаметра подложек, более высокой однородности осаждаемых слоев и значительно меньшему расходу реагентов [1]. Осаждение при пониженном давлении в трубчатых реакторах используется для получения слоев аморфного и поликристаллического кремния, нелегированного и легированного в процессе роста фосфором, мышьяком или бором, и поликремния, легированного кислородом, нитрида кремния, оксида кремния и силикатных стекол (фосфоросиликатного и борофосфоросиликатного стекла).

Для обработки пластин диаметром до 150 мм использовались горизонтальные реакторы пониженного давления. Увеличение диаметра обрабатываемых пластин и ужесточение требований к однородности толщины и свойств пленок при уменьшении проектных норм привело к разработке нового оборудования – вертикальных РПД.

Быстрому признанию вертикальных РПД-реакторов способствовал ряд факторов [2]:

- основные функциональные блоки вертикальных установок имеют модульное построение;