

К. т. н. А. С. ТУРЦЕВИЧ

Республика Беларусь, г. Минск, Завод «Транзистор»
E-mail: Aturtsevich@transistor.com.by

Дата поступления в редакцию
11.10.2007 г.

Оппонент д. ф.-м. н. Н. И. КЛЮЙ
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕГО КРЕМНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРИБОРОВ

Исследовано влияние условий осаждения на структуру и электрофизические свойства пленок поликристаллического кремния, легированного кислородом. Результаты использованы при изготовлении изделий силовой электроники.

Использование пленок полуизолирующего кремния (поликристаллического кремния, легированного кислородом — ПКЛК) позволяет исключить образование паразитных каналов и повысить пробивное напряжение дискретных высоковольтных приборов [1—3], т. к. в них полностью отсутствует характерный для пленок диоксида кремния эффект захвата инжектированных в процессе лавинного пробоа горячих носителей, который вызывает деградацию вольт-амперных и шумовых характеристик приборов. Кроме того, пленки полуизолирующего кремния могут использоваться для формирования высокоомных резисторов — вместо поликремниевых резисторов, которые имеют большой разброс величины сопротивления и высокий температурный коэффициент [4, 5]. Состав, структура и свойства пленок, полученных химическим осаждением из газовой фазы, существенно зависят от начальной стадии роста пленок [6].

Формирование слоев путем окисления SiH_4 азотом протекает по сложному многостадийному реакционному маршруту [7, с. 90—144]. Электрические свойства пленок полуизолирующего кремния зависят от их структуры и содержания в них кислорода. Однако структура и электрофизические свойства пленок полуизолирующего кремния изучены недостаточно полно.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния соотношения потоков $\text{N}_2\text{O}/\text{SiH}_4$ в реакторе на начальную стадию роста, структурно-морфологические и электрофизические свойства осаждаемых пленок полуизолирующего кремния.

Методика проведения эксперимента

Осаждение слоев в системе $\text{SiH}_4\text{--N}_2\text{O}$ осуществляли в промышленном горизонтальном реакторе пониженного давления «Карат» с горячими стенка-

ми. Температура осаждения $t_{\text{ос}}$ поликристаллического кремния (ПК) составляла 620°C , а при осаждении ПКЛК — 650°C . Давление при осаждении ПК составляло 33 Па, при осаждении ПКЛК — 24 Па. Температурный профиль поддерживался с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$. Использовались моносилан и закись азота электронного класса чистоты. Величину отношения объемных потоков закиси азота к моносилану (γ) варьировали в диапазоне 0,05—3,0.

В качестве подложек использовали пластины кремния диаметром 100 мм с ориентацией (100) и удельным сопротивлением 12 Ом·см, легированные бором (КДБ). На части образцов предварительно выращивали термический оксид кремния толщиной $42,5 \pm 2,5$ нм. Расстояние между подложками составляло 2,8 мм.

Показатель преломления (n) пленок определяли при помощи лазерной эллипсометрии. Толщина пленок измерялась при помощи спектрофотометра MPV SP фирмы Leits. 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.

Структурно-морфологические свойства пленок исследовали методами просвечивающей электронной микроскопии с помощью угольных реплик и электронографического анализа. Величину «эффективной» энергии активации определяли из графиков Аррениуса для различных величин γ по стандартной методике. Начальная стадия роста пленок ПК и ПКЛК исследовалась при помощи просвечивающей электронной микроскопии методом угольных реплик и электронографического анализа. Также выполнялась просвечивающая микроскопия поперечных сечений образцов.

Кроме того, для исследования начальной стадии роста пленок ПК и ПКЛК использовалась зондовая нанолaborатория ItegraPrima (атомно-силовой микроскоп (АСМ)) фирмы NT MDT с горизонтальным разрешением 1 нм и вертикальным разрешением 0,1 нм в полуконтактном режиме и режиме фазового изображения.

Режим фазового изображения отличается от полуконтактного тем, что в последнем, за счет обратной связи по высоте, удерживается постоянная амплитуда исходных колебаний зонда. Это

Автор выражает благодарность руководству НПО «Интеграл», а также О. Ю. Наливайко, Г. В. Лепешкевичу, В. П. Лесниковой, Н. Г. Циркуновой, Г. Г. Чигирю за поддержку и помощь.

позволяет фиксировать изменения рельефа поверхности. Если поверхность неоднородна, т. е. содержит несколько материалов, то сила взаимодействия между зондом и образцом будет различна, и при постоянной амплитуде колебаний зонда будет происходить сдвиг фазы сигнала относительно опорного (исходного). На этом принципе основан режим фазового изображения.

Удельное сопротивление пленок определялось при помощи индиевого зонда ($S=0,005 \text{ см}^2$) путем измерения ВАХ в широком диапазоне напряжения (для расчета использовался линейный участок ВАХ).

Результаты и обсуждение

Влияние температуры на скорость осаждения характеризуется энергией активации (E_a). На рис. 1, а, б представлены зависимости эффективной энергии активации процесса осаждения слоев в системе $\text{SiH}_4\text{-N}_2\text{O}$ и показателя преломления от γ , а в таблице — данные по E_a различных авторов [7—11].

Как видно из рис. 1, а и таблицы, в диапазоне величин γ от 0,05 до 0,3 величина E_a сначала умень-

шается от 1,18 до 0,82 эВ при $\gamma=0,15$, а затем повышается до 0,96 эВ при $\gamma=0,2$ и до 1,67 при $\gamma=0,3$. При осаждении нелегированных пленок кремния ($\gamma=0$) E_a составляет 1,7 эВ [2]. В диапазоне γ от 0,3 до 1,0 величина E_a выходит на насыщение и составляет 1,67 эВ для температурного диапазона 650—700°С.

Таким образом, подобно процессу осаждения поликристаллического кремния, легированного фосфором в процессе роста, эффективная энергия активации процесса осаждения слоев в системе $\text{SiH}_4\text{-N}_2\text{O}$ зависит от γ . Или, другими словами, температурная зависимость скорости осаждения слоев в системе $\text{SiH}_4\text{-N}_2\text{O}$ определяется величиной γ . Граничное значение γ , при котором происходит изменение кинетики процесса осаждения, находится в диапазоне 0,15...0,3.

Величина показателя преломления получаемых пленок с увеличением γ монотонно уменьшается от 3,7 (для пленок нелегированного поликремния она

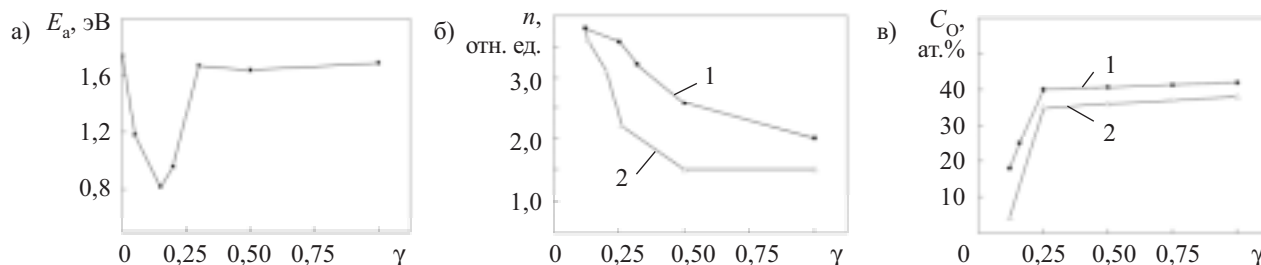


Рис. 1. Зависимость энергии активации процесса осаждения (а), показателя преломления (б) и содержания кислорода (C_O) в ПКЛК (в) от величины γ : 1 — $t_{oc}=650^\circ\text{C}$, 2 — $t_{oc}=750^\circ\text{C}$ [13]

Сопоставление величин эффективной энергии активации процесса осаждения пленок ПКЛК в системе «моносилан—закись азота» в реакторе пониженного давления

γ , отн. ед.	Энергия активации, эВ	Давление при осаждении	Температурный диапазон, °С	Тип слоя	Источник информации	Примечания
50	2,0	Атмосферное	560—800	SiO_2	[7]	Изотермический реактор атмосферного давления (РАД), $\text{SiH}_4\text{-N}_2\text{O}$
0 0,2 0,4	1,86 1,08 0,76	16,0 Па	600—680	ПКЛК	[11]	$\text{SiH}_4\text{-N}_2\text{O}$, горизонтальный реактор пониженного давления (РПД)
0	1,74	50,0 Па	550—680	ПК	[12]	SiH_4 , вертикальный РПД
50	1,85	85—2400 Па	650—670	SiO_2	[9]	$\text{SiH}_4\text{-N}_2\text{O}$, горизонтальный РПД
0,05 0,20 0,4 0,6	1,18 1,71 1,71 2,71	1200—4220 Па	640—670	ПКЛК SiO_2	[10]	$\text{SiH}_4\text{-N}_2\text{O}$, горизонтальный РПД
400 400 10 400	1,80 0,99 1,94 1,31	Атмосферное	495—650 650—690 590—690 495—590	SiO_2 SiO_2 SiO_2 SiO_2	[8]	РАД, $\text{SiH}_4\text{-N}_2\text{O}$ $\text{Si}_2\text{H}_6\text{-N}_2\text{O}$
0,05 0,15 0,20 0,30 0,50 1,00	1,18 0,82 0,96 1,67 1,64 1,69	55 Па	650—750	SiO_2	[13]	$\text{SiH}_4\text{-N}_2\text{O}$, горизонтальный РПД

составляет 3,85 [14]) до значений, характерных для пленок диоксида кремния — 1,45 (рис. 1, б). Причем по мере увеличения температуры осаждения до 750°C изменение показателя преломления происходит более резко. Так, при температуре осаждения 650°C уменьшение величины n от 3,7 до 1,7 происходит при увеличении γ от 0,05 до 3,0, а при $t_{oc}=750^\circ\text{C}$ уменьшение n от 3,7 до 1,45 наблюдается при изменении величины γ от 0,05 до 0,5.

Результаты оже-анализа содержания кислорода в ПКЛК представлены на рис. 1, в. Видно, что при увеличении γ концентрация кислорода в ПКЛК монотонно возрастает.

При $t_{oc}=650^\circ\text{C}$ и изменении γ от 0,15 до 0,5 концентрация кислорода увеличивается от 16,7 до 40 ат.% (т. е. величина x в SiO_x увеличивается от 0,20 до 0,67), а затем медленно возрастает до 57 ат.% ($x=1,32$) при увеличении γ до 3,0. При $t_{oc}=750^\circ\text{C}$ концентрация кислорода быстро достигает значения 40—45 ат.% ($x=0,6\dots0,7$) и при дальнейшем увеличении изменяется медленнее.

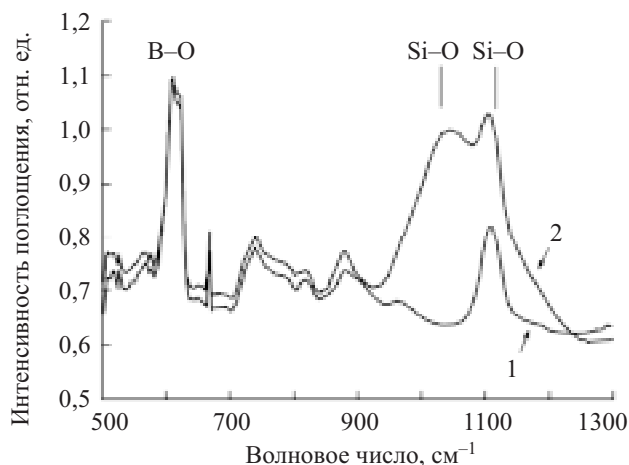


Рис. 2. ИК-спектры поглощения:

1 — подложка КДБ; 2 — пленка ПКЛК на подложке КДБ

На рис. 2 представлены ИК-спектры поглощения исходной подложки КДБ и пленки ПКЛК, осажденной на данную подложку. Видно, что после осаждения пленки ПКЛК на кремниевую подложку в спектре появляется характерный пик связи Si-O (1042 cm^{-1}) в дополнение к пику Si-O (1105 cm^{-1}), характеризующему межзельный кислород в подложке. Положение нового пика отличается от положения пика связи Si-O в пленках оксида кремния и борофосфоросиликатного стекла (1072—1090 cm^{-1}).

Плотность пленок ПКЛК во всем исследованном диапазоне t_{oc} и γ составила 2,2—2,3 г/см^3 , что хорошо согласуется с данными, полученными в работе [15].

Таким образом, при $t_{oc}=650^\circ\text{C}$ в диапазоне γ от 0,05 до 1,0 происходит образование пленок ПКЛК, а при $\gamma>1,0$ — пленок переходного состава SiO_x , близких к SiO_2 . По мере увеличения температуры осаждения до 750°C область γ , в которой происходит образование ПКЛК, сужается, т. е. при $t_{oc}=650^\circ\text{C}$ процесс осаждения является более управляемым по содержанию кислорода.

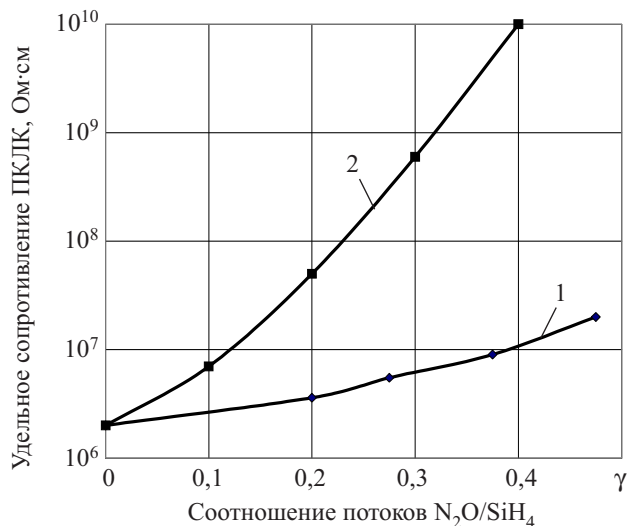


Рис. 3. Зависимость величины удельного сопротивления пленок полуизолирующего кремния от соотношения потоков $\text{N}_2\text{O}/\text{SiH}_4$:

1 — $P=24$ Па [16]; 2 — атмосферное давление [3]

Удельное сопротивление пленок ПКЛК, полученных при атмосферном давлении [3, с. 46], возрастает от $2,0 \cdot 10^6$ до $1,0 \cdot 10^{10}$ Ом·см при увеличении γ от 0 до 0,4, в то время как удельное сопротивление пленок ПКЛК, осажденных при пониженном давлении, возрастает от $3,4 \cdot 10^6$ до $2,1 \cdot 10^7$ Ом·см при увеличении γ от 0 до 0,5 [16] (рис. 3). В то же время величина удельного сопротивления пленок ПКЛК определяется содержанием кислорода в пленке ПКЛК (рис. 4).

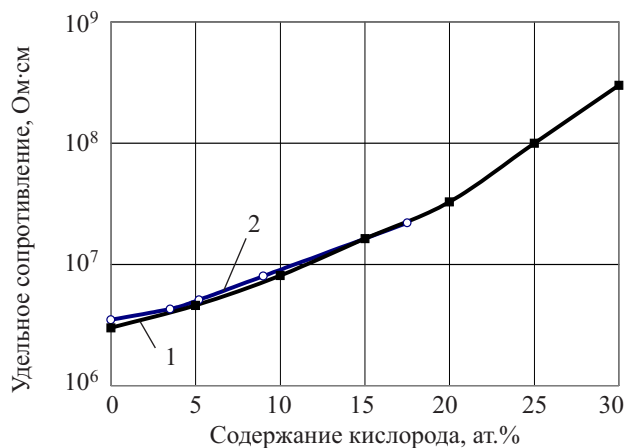


Рис. 4. Зависимость величины удельного сопротивления пленок ПКЛК от содержания кислорода:

1 — $P=24$ Па [4]; 2 — атмосферное давление [16]

Для приборов с напряжением пробоя до 600 В оптимальным является удельное сопротивление примерно 10^7 Ом·см, а для приборов с напряжением пробоя до 1500 В — 10^8 Ом·см [3, 17]. Кроме того, с целью снижения токов утечки и предотвращения снижения коэффициента усиления транзистора, между подложкой и слоем ПКЛК используется тонкий слой оксида кремния [18, 19]. Как показано в [15], оптимальная толщина оксида кремния составляет 2—3 нм.

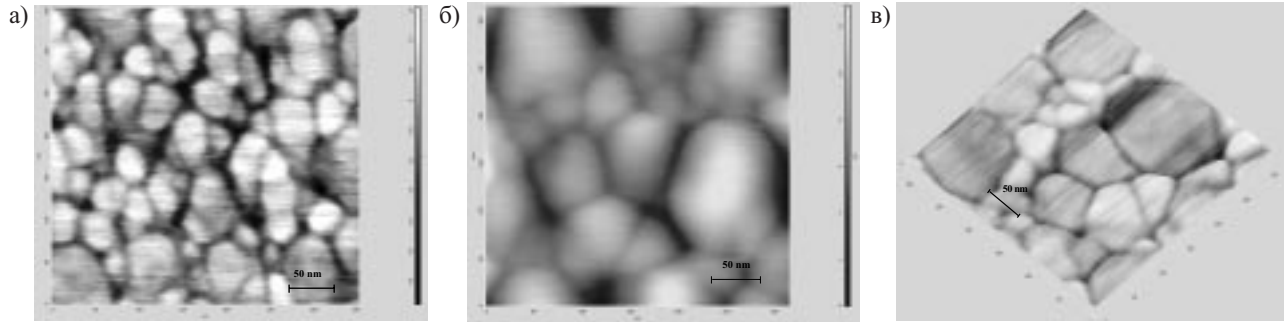


Рис. 5. Изображения островковой «пленки» ПК ($\gamma=0$), полученные при помощи атомно-силового микроскопа (АСМ): *a* — длительность осаждения 15 с (в плане); *b* — длительность осаждения 45 с (в плане); *в* — длительность осаждения 45 с (трехмерное изображение)

С целью формирования защитного слоя пленка ПКЛК может окисляться термически либо покрываться слоем оксида кремния, полученным газофазным осаждением [18]. Кроме того, в качестве защитного слоя может использоваться слой нитрида кремния [3] или второй слой ПКЛК с более высоким содержанием кислорода [18]. С целью улучшения характеристик приборов слой ПКЛК также может частично удаляться [18], в частности в областях между базой и эмиттером.

Состав, структура и свойства пленок ПКЛК существенно зависят от начальной стадии роста пленок.

Как видно из рис. 5, *a*, после осаждения ПК в течение 15 с образуются островковые «пленки» с размером отдельных островков 20—75 нм и высотой до 4,5 нм, а при увеличении длительности осаждения до 30 с происходит независимый рост островков до размеров 20—100 нм без изменения их количества. Затем в островковой «пленке» начинается слияние островков (коалесценция). Этот процесс характеризуется уменьшением общего количества островков и увеличением их размеров до 50—140 нм, при этом высота достигает 12 нм (рис. 5, *b*, *в*).

Толщина пленки ПК, соответствующая окончанию индукционного периода и образованию сплошной пленки, составляет около 22 нм, что хорошо согласуется с результатами работы [20]. Исследования показали, что как островковые, так и сплошные пленки на начальных стадиях роста являются нетекстурованными, не имеют преимущественной ориентации кристаллитов (рис. 6), что указывает на спонтанный характер зародышеобразования.

При осаждении пленок ПКЛК с содержанием 22 ат.% в течение 15 с (рис. 7, *a*), как и на начальной



Рис. 6. Типичная электронограмма пленки нелегированного ПК на начальной стадии роста и коалесценции островков

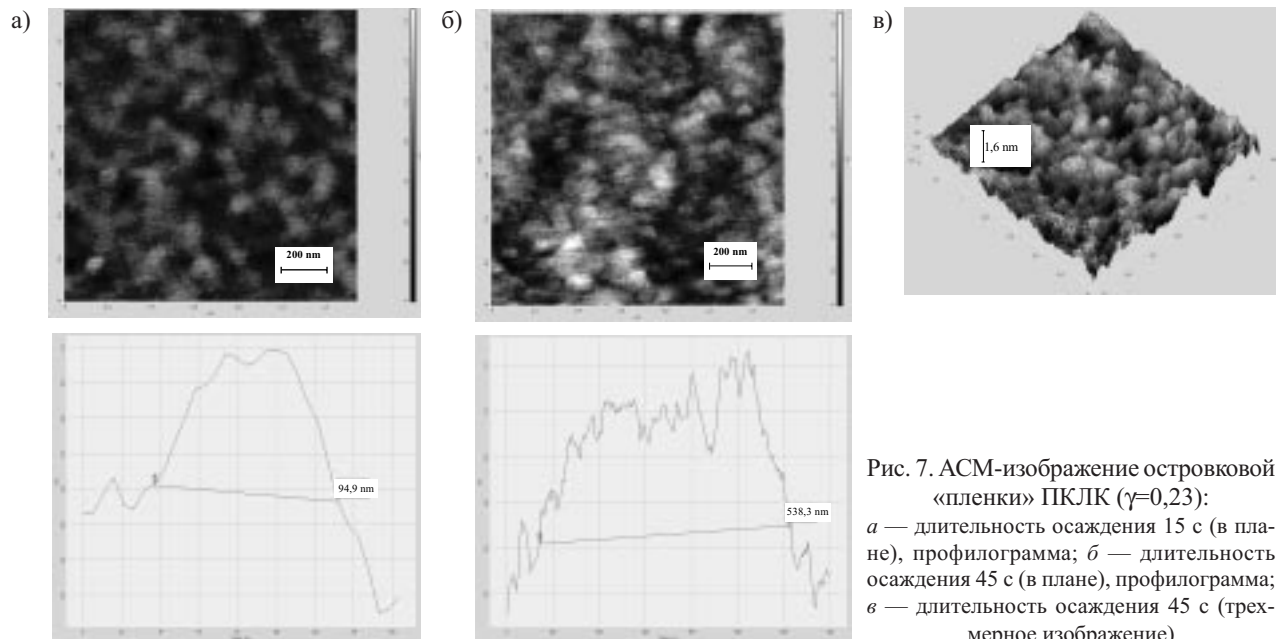


Рис. 7. АСМ-изображение островковой «пленки» ПКЛК ($\gamma=0,23$): *a* — длительность осаждения 15 с (в плане), профилограмма; *b* — длительность осаждения 45 с (в плане), профилограмма; *в* — длительность осаждения 45 с (трехмерное изображение)

стадии роста нелегированного ПК, образуются островковые «пленки» с размером отдельных островков до 95 нм и высотой 0,6—0,8 нм (для сравнения: 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 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—1,7 раза), а высота не превышает 1,6 нм (рис. 7, б, в).

Наличие на профилограмме ПКЛК после осаждения в течение 45 с (рис. 7, б) 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—моносилан» происходит образование новых центров зародышеобразования на первичных островках. При увеличении длительности осаждения до 120 с размах между впадинами и выступами микрорельефа не превышает 1,2 нм (рис. 8), а толщина пленки составляет около 5 нм. Таким образом, формирование сплошной пленки ПКЛК происходит при меньшей толщине (около 5 нм) по сравнению с ПК. Это обуславливает существенное снижение средней шероховатости пленок ПКЛК ($R_a=0,09$ нм при $t=45$ с) по сравнению с пленками ПК ($R_a=1,52$ нм при $t=45$ с).

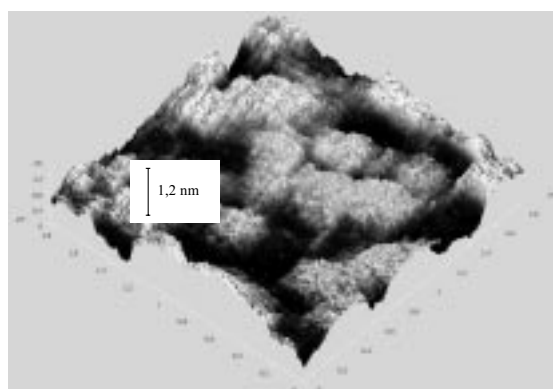


Рис. 8. АСМ-изображение островковой «пленки» ПКЛК (длительность осаждения 120 с, $\gamma=0,23$)

Подобный эффект наблюдали авторы работы [21] при создании тонкой оксидной прослойки на поликристаллическом кремнии при вакуумном отжиге. Поэтому можно предположить, что при осаждении пленок ПКЛК островки поликристаллического кремния покрываются оксидом.

Толщина пленки ПКЛК, соответствующая окончанию индукционного периода и образованию сплошной пленки при $\gamma=0,23$, в отличие от данных работы [16], составляет около 5 нм. ПКЛК не имеет ярко выраженного кристаллического строения, о чем свидетельствует характер дифракционных картин ПКЛК (рис. 9, б).

При увеличении значения γ до 0,5 размер отдельных островков при длительности осаждения 30 с уменьшается до 64,6 нм (рис. 10, б, в) при средней

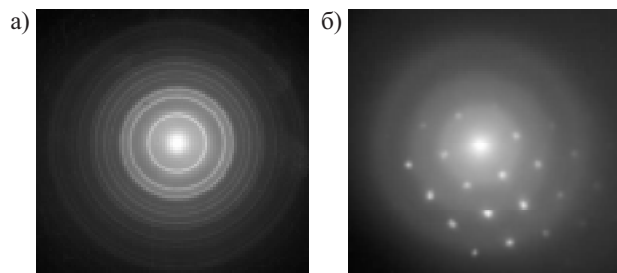
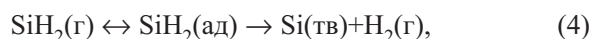
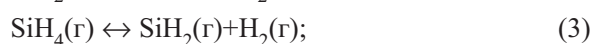
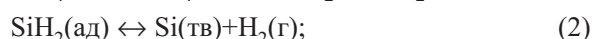


Рис. 9. Типичные электронограммы: а — пленка ПК (33 Па); б — пленка ПКЛК (24 Па) с содержанием кислорода 22 ат.%

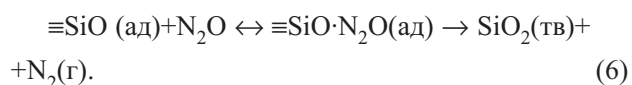
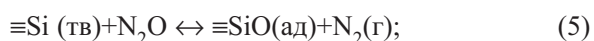
высоте островков 1,0 нм. Сами островки имеют развитую поверхность (4—10 нм) и внутреннюю структуру (рис. 10, б, в). Средняя шероховатость поверхности при увеличении отношения расхода закиси азота и моносилана от 0,23 до 0,5 возрастает от 0,09 до 0,22 нм (при длительности осаждения 45 с и на участке размерами 350×350 нм). Исходя из вышеизложенного использование ПКЛК с $\gamma=0,23$ предпочтительнее.

Полученные результаты объясняются с учетом многомаршрутности процесса осаждения пленок в системе SiH₄–N₂O. Пиролиз моносилана протекает по следующим реакциям:



где (г) — газообразный, (ад) — адсорбированный, (тв) — твердый.

Реакции (1), (2) и (3), (4) представляют собой два параллельных пути осаждения ПК. В свою очередь адсорбция и разложение закиси азота происходят на ≡Si*-центрах, образующихся на поверхности растущей пленки [22]:



Так как адсорбция моносилана и закиси азота носит конкурентный характер, скорость роста ПКЛК снижается при увеличении γ за счет уменьшения доли центров, доступных адсорбции моносилана. А на поверхности SiO₂ появляются новые центры зародышеобразования ПК. Что касается уменьшения плотности островков на начальной стадии роста ПКЛК по сравнению с ПК, то данный факт обусловлен конкурирующей адсорбцией закиси азота и моносилана на одних и тех же центрах.

По мере увеличения концентрации закиси азота стимулируется протекание газофазных процессов полимеризации SiH₄ с образованием силилена (реакция (3)). Силilen легко встраивается в кремний-водородные связи, что приводит к образованию более высоких силанов (Si_nH_{2n+2}), силиленов (Si_nH_{2n}) и кремниевых кластеров [23]:

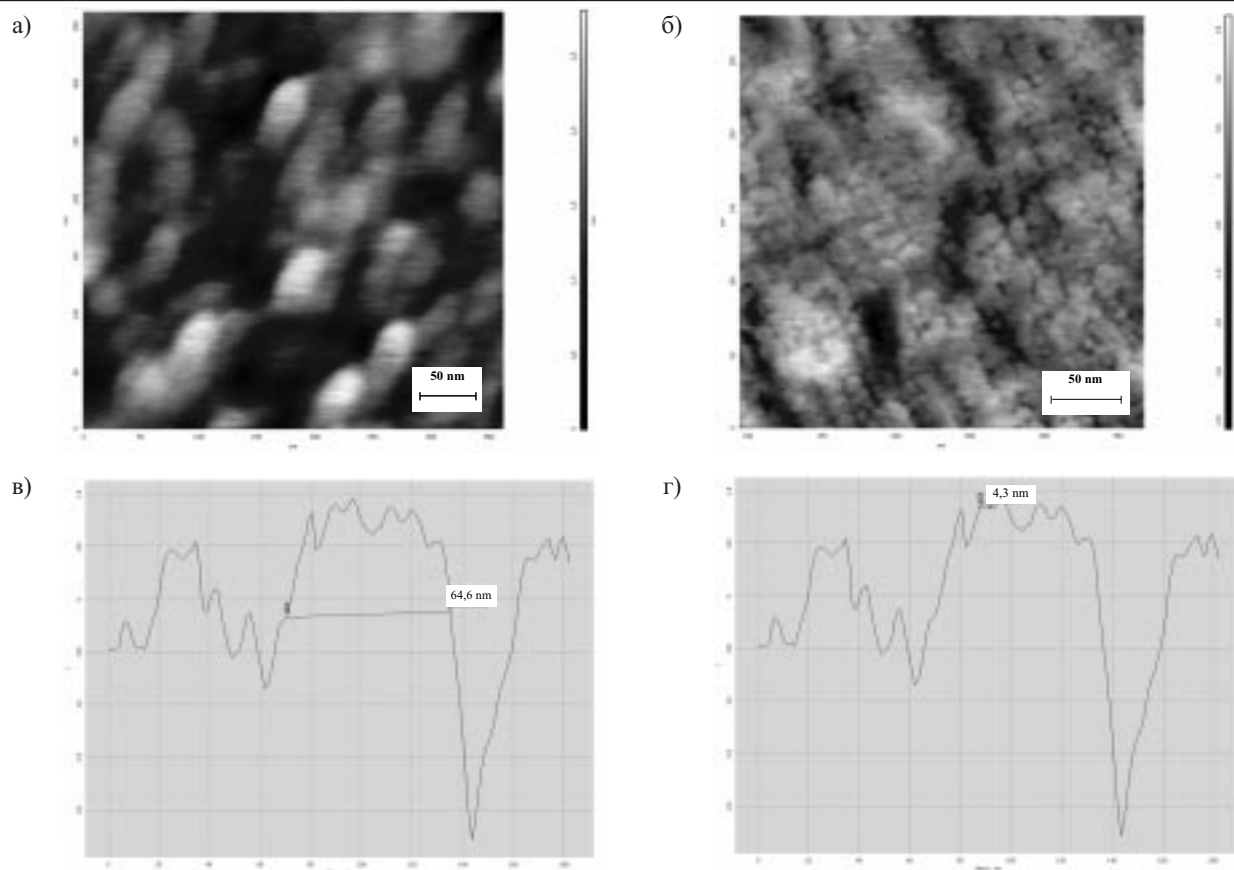
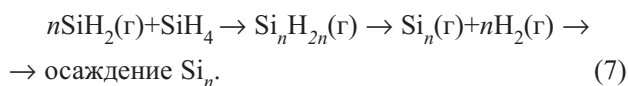
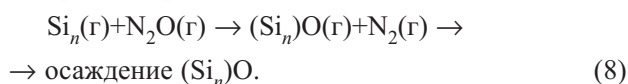


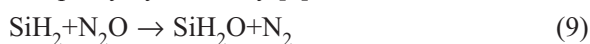
Рис. 10. АСМ-изображения в плане островковой «пленки» ПКЛК ($\gamma=0,5$) при длительности осаждения 15 с (а) и 30 с (б) и профилограмма при длительности осаждения 30 с (в, г)



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



Кроме того, силаны также 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 [8]:



или даже



Таким образом, по мере увеличения γ 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 (см. рис. 10, б, в, г).

В диапазоне γ от 0,15 до 0,3 происходит изменение кинетики процесса осаждения, что отражается в изменении величины эффективной энергии активации. Объяснение данного эффекта требует проведения дополнительных исследований.

При $t_{\text{ос}}=650^\circ\text{C}$ в диапазоне γ от 0,05 до 1,0 происходит образование пленок ПКЛК, а при $\gamma>1,0$ — пленок переходного состава SiO_x , близких к SiO_2 . По мере увеличения температуры осаждения до 750°C область γ , в которой происходит образование ПКЛК, сужается, т. е. при $t_{\text{ос}}=650^\circ\text{C}$ процесс осаждения является более управляемым по содержанию кислорода.

Заключение

Исследования показали, что при осаждении поликристаллического кремния, легированного кислородом, как и при осаждении нелегированного поликристаллического кремния, на начальной стадии роста присутствует индукционный период: сначала происходит образование островков размером до 95 нм и высотой 0,6—0,8 нм и их независимый рост, а затем коалесценция (слияние) островков и образование сплошной пленки. Однако плотность островков почти на порядок меньше, чем при осаждении ПК, что, по мнению автора, обусловлено конкурирующей адсорбцией закиси азота и моносилана на одних и тех же центрах. При увеличении отношения потоков закиси азота и моносилана (γ) от 0 до 0,23 толщина пленки, соответствующая окончанию индукционного периода, уменьшается и составляет около 5 нм (для ПК — 22 ± 4 нм). Средняя шероховатость поверхности R_a пленок ПКЛК ($\gamma=0,23$) составляет 0,09 нм, а пленок ПК — 1,52 нм при равной длительности осаждения (45 с).

При содержании кислорода в ПКЛК до 22,0 ат.% пленки не имеют ярко выраженной кристаллической структуры. Плотность пленок во всем исследованном диапазоне составляла 2,2—2,3 г/см³. Величина показателя преломления ПКЛК уменьшается от 3,7 до 1,7 при увеличении γ от 0,05 до 3,0 при температуре осаждения 650°C. Величина удельного сопротивления определяется содержанием кислорода в ПКЛК независимо от давления в процессе осаждения.

Предложено объяснение полученных результатов на основе многомаршрутного процесса осаждения слоев в системе SiH₄-N₂O. Адсорбция и разложение закиси азота происходит на поверхности поликремниевых островков, а на поверхности оксида кремния образуются новые центры зародышеобразования ПК. Образование оксидной «капсулы-прослойки» вокруг зерна ПК способствует снижению размеров зерен ПКЛК и подавлению увеличения их размеров в процессе роста и последующих термических обработок.

Полученные результаты использованы для оптимизации процесса изготовления изделий силовой электроники.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Turtsevich A. S., Nalivaiko O. Y., Lesnikova V. P. et al. The effect of pressure and N₂O/SiH₄ ratio on the properties of SIPOS films // Intern. Conf. "Micro- and Nanoelectronics 2005".— Moscow, Zvenigorod, Russia.— 2005.— P. 31.
2. Mimura A., Oohayashi M., Furakami S. et al. High-voltage planar structure using SiO₂-SIPOS-SiO₂ film // IEEE Electron. Device Lett.— 1985.— Vol. EDL-6.— P. 189—191.
3. Блихер А. Физика силовых биполярных и полевых транзисторов.— Л.: Энергоатомиздат, 1986.
4. Pat. 5751043 USA. SRAM with SIPOS resistor / Chue-Sun You.— 1998.
5. Pat. 5478790 USA. Method of fabricating poly-silicon resistor / S. Shishiguchi.— 1995.
6. Кукушкин С. А., Осипов А. В. Формирование и эволюция фазового состава и связанных с ним свойств в процессе роста тонких пленок // Журнал технической физики.— 1997.— Т. 67, № 10.— С. 112—120.
7. Современные проблемы физической химии поверхности полупроводников / Под ред. А. В. Ржанова, С. М. Репинского.— Новосибирск: Наука, 1988.
8. Chapple-Sokol J. D., Guinda C. J., Gordon R. G. A kinetic study of the atmospheric pressure CVD reaction of silane and nitrous oxide // J. Electrochemical Society.— 1989.— Vol. 136, N 10.— P. 2993—3003.
9. Васильев В. Ю., Курченко А. Н. Об осаждении SiO₂ окислением моносилана закисью азота при пониженном давлении / В кн.: Полупроводниковая тензометрия.— Новосибирск: НЭТИ, 1988.— С. 11—22.
10. Сухов М. С., Щеглова Е. З. О роли адсорбционных стадий процесса при осаждении слоев окислением моносилана закисью азота // Поверхность.— 1985.— № 4.— С. 72—77.
11. Hitchman M. L., Kane J. Semi-insulating polysilicon (SIPOS) deposition in a low pressure CVD reactor. I. Deposition kinetics // J. of Crystal Growth.— 1981.— Vol. 55, N 6.— P. 485—500.
12. Turtsevich A. S., Krasnitsky V. Y., Emelyanov V. A. et al. The effect of production condition for in situ phosphorus doped LPCVD polysilicon in monosilane/phosphine system on the deposition process kinetics // Thin Solid Films.— 1994.— Vol. 248.— P. 28—31.
13. Турцевич А. С., Наливайко О. Ю., Макаревич И. И. и др. Кинетика осаждения слоев в системе SiH₄-N₂O в реакторе пониженного давления // Поверхность.— 1996.— № 8.— С. 10—18.
14. Harbeke G., Klausbauer L., Steingmeir E. P. Growth and physical properties of LPCVD polycrystalline silicon films // J. Electrochemical Society.— 1984.— Vol. 131, N 3.— P. 675—682.
15. Hitchman M. L., Widmer A. E. Semi-insulating polysilicon (SIPOS) deposition in a low pressure CVD reactor. II. Oxygen content // J. of Crystal Growth.— 1981.— Vol. 55, N 6.— P. 501—509.
16. Турцевич А. С., Наливайко О. Ю., Ануфриев Л. П. и др. Структурно-морфологические и электрофизические свойства пленок полупроводящего кремния // Вакуумная техника и технология.— 2006.— Т. 16, № 1.— С. 31—33.
17. Турцевич А. С., Ануфриев Л. П. Пленки поликристаллического кремния в технологии производства интегральных схем и полупроводниковых приборов.— Мн.: Белорусская наука, 2006.
18. Pat. 6660570 USA. Method of fabrication of a high voltage semiconductor device using SIPOS / J. K. Kim, J. M. Kim, K. W. Kim et al.— 2003.
19. Sundoe J. N., Hugles J. R. Properties of the SIPOS-silicon interface/insulating films on semiconductors // Proceedings of the Intern. Conf. INFOS-85.— Toulouse, France.— 1985.— P. 212—217.
20. Турцевич А. С., Гранько В. И., Наливайко О. Ю. и др. Начальная стадия роста слоев поликристаллического кремния, легированного фосфором в процессе роста // Электронная техника.— Сер. Технология, организация производства и оборудование.— 1993.— № 4—5.— С. 57—59.
21. Турцевич А. С., Ануфриев Л. П., Лесникова В. П. и др. Влияние условий осаждения поликристаллического кремния на его структурно-морфологические свойства // Вакуумная техника и технология.— 2004.— Т. 14, № 4.— С. 227—232.
22. Бакланов М. Р., Кручинин В. Н., Репинский С. М. и др. Критические условия при взаимодействии закиси азота с поверхностью кремния при низких давлениях // Поверхность.— 1986.— № 10.— С. 79—86.
23. Сухов М. С., Кокорин С. М. Мономолекулярные стадии в процессе осаждения слоев диоксида кремния // Изв. АН СССР. Неорганические материалы.— 1987.— Т. 23, № 12.— С. 2021—2025.

НОВЫЕ КНИГИ

Блюмих Б. Основы ЯМР.— М.: Техносфера, 2007.— 160 с.

В книге охвачены все области ядерно-магнитного резонанса: методология, оборудование, химический анализ, двумерная спектроскопия, ЯМР-визуализация, ЯМР подвижных жидкостей, контроль качества при помощи ЯМР.

Это наиболее полный учебник по ЯМР на сегодняшний день.

Книга предназначена для преподавателей, аспирантов и студентов, изучающих физику, химию, химическое машиностроение и материаловедение, а также для ученых и инженеров, желающих пополнить свои знания о ЯМР.

