

УДК 621.382.002

О. Ю НАЛИВАЙКО, д. т. н. А. С. ТУРЦЕВИЧ

Республика Беларусь, г. Минск, ОАО «ИНТЕГРАЛ»  
E-mail: onalivaiko@integral.byПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК  $\text{Si}_3\text{N}_4$   
ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ НА ПЛАСТИНАХ  
ДИАМЕТРОМ ДО 200 ММ

*Исследовано влияние режимов осаждения нитрида кремния на параметры полученных пленок. Установлено, что с уменьшением температуры осаждения скорость осаждения пленок нитрида кремния уменьшается, при этом повышается однородность толщины пленки по пластине. Это позволяет воспроизводимо осаждать пленки нитрида кремния толщиной менее 10 нм. Установлено, что с целью уменьшения глубины прокисления нитрида кремния окисление целесообразно проводить при температуре 850–900°С. Разработанный процесс осаждения нитрида кремния позволил получить накопительные конденсаторы с удельной емкостью 3,8–3,9 фФ/мкм<sup>2</sup> при толщине пленки 7,0 нм. Ключевые слова: нитрид кремния, конденсаторный диэлектрик, осаждение тонких пленок.*

В технологии изготовления интегральных схем пленки нитрида кремния широко используются в качестве маскирующих, пассивирующих и геттерирующих слоев, конденсаторного и подзатворного диэлектриков [1, 2].

Основным направлением увеличения степени интеграции запоминающих устройств является уменьшение вертикальных и горизонтальных размеров ячейки памяти и, в первую очередь, накопительного конденсатора (НК) [2, 3]. В то же время, величина заряда, хранимого в ячейке памяти, должна позволять уверенно отличать логическую единицу от логического нуля при считывании содержимого ячейки, поэтому емкость конденсатора хранения должна оставаться на уровне 30 фФ на ячейку (что соответствует  $(1-2) \cdot 10^6$  электронов на ячейку) [4]. Очевидно, что при уменьшении размеров обкладок НК для того, чтобы сохранить величину этого заряда, необходимо уменьшать толщину конденсаторного диэлектрика, в качестве которого используются пленки нитрида кремния. В то же время, имеются сообщения об обнаружении размерного эффекта [1, 4], проявляющегося в уменьшении относительной диэлектрической проницаемости нитрида кремния  $\text{Si}_3\text{N}_4$  при уменьшении толщины пленки.

В настоящей работе решалась задача определения условий осаждения, позволяющих воспроизводимо осаждать тонкие пленки нитрида кремния, и условий окисления тонкого нитрида кремния, обеспечивающих минимальное изменение его диэлектрической проницаемости. Для этого исследовалось влияние режимов осаждения нитрида кремния на характеристики получаемых пленок (однородность и воспроизводимость толщины слоев  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , показатель преломления и диэлектрическая проницаемость получаемых пленок).

Кроме того, исследовалось влияние толщины пленок  $\text{Si}_3\text{N}_4$  и режимов его прокисления на электрофизические характеристики МОП-конденсаторов, в которых диэлектриком служит  $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ .

## Методика эксперимента

В качестве подложек использовались кремниевые пластины КДБ-12 (100) диаметром 100, 150 и 200 мм. Осаждение пленок  $\text{Si}_3\text{N}_4$  на пластины диаметром 100 и 150 мм проводилось в горизонтальном, а на пластины диаметром 200 мм в вертикальном реакторе пониженного давления (РПД). Выбор вертикального реактора обусловлен тем, что при уменьшении проектных топологических норм и увеличении диаметра обрабатываемых пластин ужесточаются требования к однородности толщины и свойств пленок. Особенности же конструкции вертикальных РПД позволяют существенно повысить однородность осаждаемых слоев [5].

Температура осаждения  $T_{\text{ос}}$  варьировалась в диапазоне от 690 до 800°С, соотношение объемных потоков  $\text{NH}_3/\text{SiH}_2\text{Cl}_2$  ( $\gamma$ ) изменялось от 3:1 до 15:1. Измерение толщины, показателя преломления пленок  $\text{Si}_3\text{N}_4$  на пластинах диаметром 150 и 200 мм проводили методами спектрофотометрии и эллипсометрии на установке OptiProbe 2690UV. На пластинах диаметром 100 мм толщину измеряли на установке MPV-SP методом спектрофотометрии, а показатель преломления — на лазерном эллипсомере SPECORD-60.

Для исследования электрофизических характеристик пленки  $\text{Si}_3\text{N}_4$  на подложках диаметром 200 мм формировали планарные тестовые конденсаторы размером 100×100 мкм.

Нижней обкладкой конденсатора служила поверхность монокристаллического кремния, ле-

гированного бором до получения  $p^+$ -области и окисленная на глубину 3,5 нм при температуре 850°C. На нее осаждали пленки  $\text{Si}_3\text{N}_4$  различной толщины. Прокисление пленок проводили в сухом кислороде при температурах 900 и 1000°C либо пироженным окислением при 850°C.

Верхней обкладкой конденсатора служил слой поликристаллического кремния толщиной  $0,25 \pm 0,02$  мкм, легированный фосфором методом ионной имплантации с дозой  $5,0 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup> и энергией 40 кэВ. Верхнюю обкладку формировали плазмохимическим травлением слоя поликристаллического кремния.

Измерение электрофизических характеристик МОП-конденсаторов (емкости, токов утечки) проводили при помощи измерительной системы HP4061A на частоте 100 кГц. Диэлектрическую проницаемость нитрида кремния определяли с учетом конечной толщины слоев нитрида кремния и оксида кремния в конденсаторном диэлектрике. Кроме того, для оценки качества диэлектрика проводили выдержку МОП-конденсаторов под нарастающим напряжением для определения характеристического заряда, при котором происходит необратимый пробой диэлектрика.

**Результаты эксперимента**

Было установлено, что если в реакторе при давлении 50 Па снизить  $\gamma$  от 15 до 3 и увеличить температуру с 700 до 800°C (рис. 1, а), то скорость осаждения пленок нитрида кремния  $V_{oc}$  монотонно возрастет от 0,8 до 9,2 нм/мин (рис. 1, б). Эффективная энергия активации для процесса осаждения  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , рассчитанная из уравнения Аррениуса, с увеличением  $\gamma$  от 3 до 10 уменьшается от 122 до 106 кДж/моль (рис. 2), что на 6 кДж/моль выше, чем в [6]. В вертикальном реакторе при давлении 30 Па снижение температуры с 800 до 690°C приводит к тому, что скорость осаждения пленок  $\text{Si}_3\text{N}_4$  монотонно уменьшается с 2,4 до 0,45 нм/мин, а неоднородность толщины пленки по пластине ( $\Delta$ ) уменьшается с  $\pm 4,6$  до  $\pm 1,9\%$  (рис. 3).

Следует отметить, что в вертикальном РПД достигается более высокая однородность толщи-

ны пленок по пластине. Это обусловлено тем, что при снижении температуры осаждения снижается скорость реакции, что облегчает своевременную доставку реагентов к месту реакции при одинаковых потоках и давлении. Повышение однородности толщины вдоль реактора достигается путем оптимизации профиля температуры. При этом при снижении  $T_{oc}$  уменьшается градиент температуры между началом и концом реакционной зоны, необходимый для компенсации обеднения смеси реагентов вдоль реактора и получения однородного профиля скорости осаждения вдоль реакционной зоны. Так, при  $T_{oc} = 800^\circ\text{C}$  градиент температуры вдоль зоны осаждения составляет 50–55°C, а при  $T_{oc} = 740^\circ\text{C}$  – примерно 35°C.

Однородность и воспроизводимость тонких слоев нитрида кремния повышается при уменьшении скорости осаждения. Для обеспечения управляемости процесса осаждения пленок  $\text{Si}_3\text{N}_4$  толщиной менее 10 нм целесообразно поддерживать скорость осаждения не более 0,35 нм/мин. Такая скорость может быть достигнута за счет уменьшения температуры осаждения и давления, а также выбора оптимального соотношения объемного расхода дихлорсилана и аммиака.

На рис. 4, где представлена зависимость скорости осаждения пленок  $\text{Si}_3\text{N}_4$  от объемного расхода дихлорсилана для пластин диаметром 200 мм, видно, что за счет варьирования расхода дихлорсилана скорость осаждения может быть уменьшена до 0,35 нм/мин. При этом неоднородность толщины пленки по пластине не превышает  $\pm 1,8\%$ , а по партии из 100 пластин не превышает  $\pm 3,9\%$ , что позволяет воспроизводимо осаждать пленки нитрида кремния толщиной менее 10 нм. Как видно из рис. 5, при снижении толщины пленки  $d$  происходит монотонное уменьшение показателя преломления  $n$ , причем при толщине менее 10 нм наблюдается его резкое уменьшение. Следует отметить, что при осаждении тонких пленок нитрида кремния в горизонтальном РПД наблюдалось существенное уменьшение показателя преломления уже при толщине

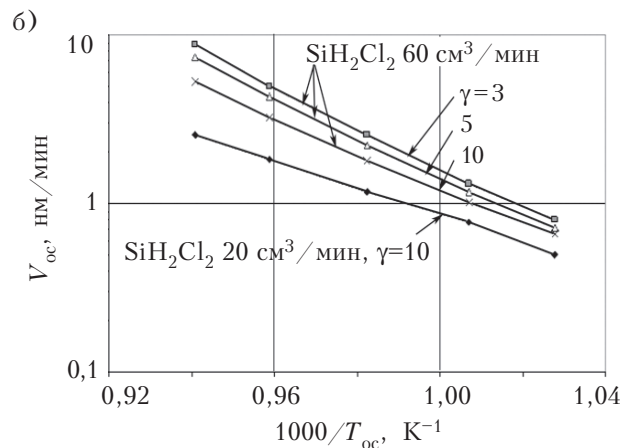
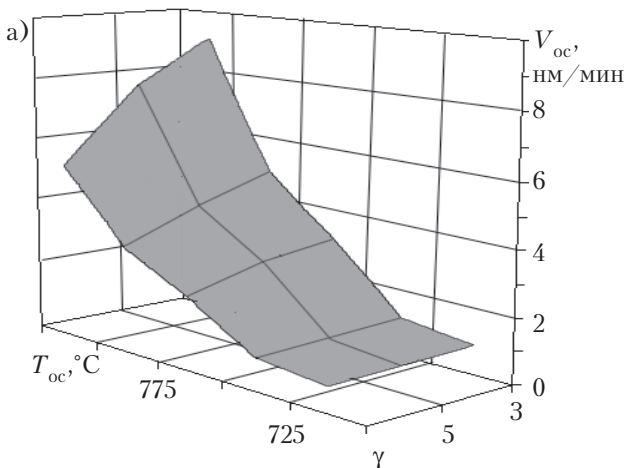


Рис. 1. Зависимость скорости осаждения  $\text{Si}_3\text{N}_4$  от режима осаждения (а) и от  $T_{oc}$  при различных  $\gamma$  (б)

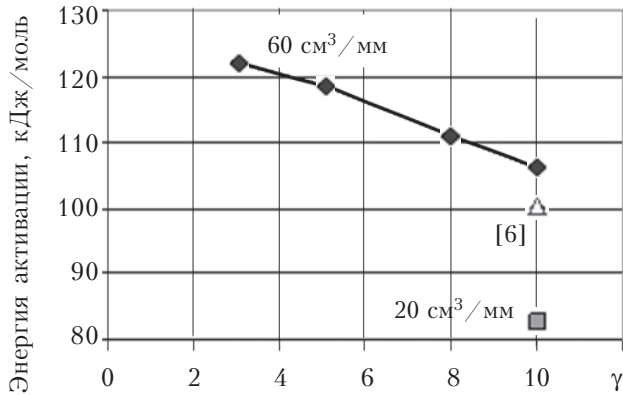


Рис. 2. Зависимость энергии активации нитрида кремния для процесса осаждения от  $\gamma$  при разном расходе SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>

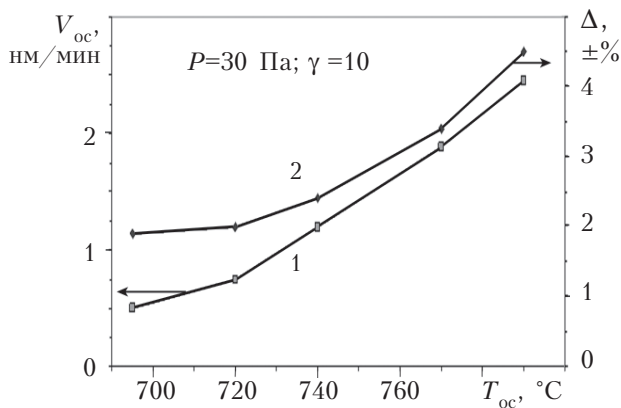


Рис. 3. Температурная зависимость скорости осаждения пленки Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (1) и неоднородности ее толщины по пластине (2)

не менее 20 нм. По нашему мнению, это связано с более сильным окислением поверхности пластин на воздухе во время загрузки-выгрузки в горизонтальном РПД, тогда как в вертикальном РПД загрузка пластин производится в атмосфере азота. Кроме того, при проведении процессов осаждения нитрида кремния в вертикальном РПД использовались газы более высокой степени чистоты (99,9999%). Полученные результаты свидетельствуют о том, что в пленках Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> толщиной более 10 нм элементы находятся в стехиометрическом соотношении.

Для того чтобы сопоставить кинетические зависимости, полученные при различных условиях осаждения, необходимо ввести дополнительные параметры, связывающие геометрию реактора и условия проведения процесса осаждения. В качестве таких параметров можно использовать удельный поток дихлорсилана ( $\alpha$ ), определяемый как отношение его объемного потока к общей площади, на которую производится осаждение пленки в реакторе, и скорость движения газового потока ( $w$ ), определяемую как отношение суммарного объемного потока реагентов к площади зазора между внутренней поверхностью реактора и кассетой с подложками на

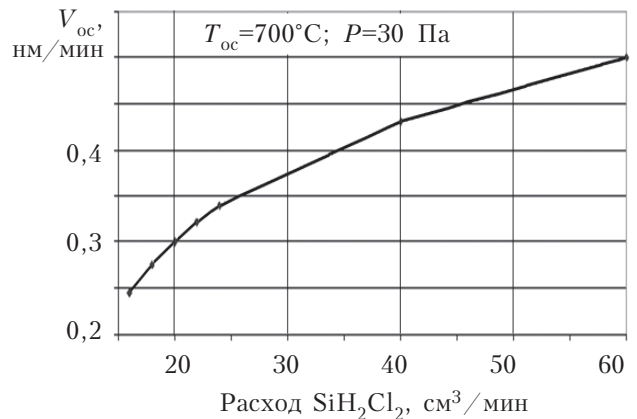


Рис. 4. Зависимость скорости осаждения пленки Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> от объемного расхода SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>

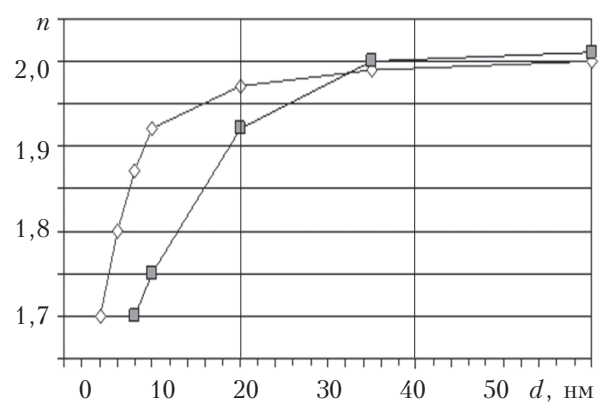


Рис. 5. Зависимость показателя преломления пленки Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> от ее толщины:

◇ — экспериментальная; ■ — данные из [1]

консоли. Кроме того, можно оценить степень использования дихлорсилана по формуле

$$K_{\text{исп}} = V_{\text{ос}} \rho v V_{\text{моль}} / (\alpha M),$$

где  $\rho$  — плотность нитрида кремния;

$v$  — отношение количества атомов Si в молекулах газа и в пленке Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (1:3);

$V_{\text{моль}}$  — объем одного моля газа (для дихлорсилана  $V_{\text{моль}} = 22414$  см<sup>3</sup>/моль);

$M$  — молярная масса Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (140,31 г/моль).

В табл. 1 представлены параметры процессов осаждения нитрида кремния в различных реакторах на пластинах диаметром 100, 150 и 200 мм и характеристики пленок.

Как видно, при увеличении диаметра пластин существенно возрастает общая площадь осаждения. Это приводит к уменьшению удельного потока дихлорсилана при одинаковом объемном расходе газа на входе в реактор и к повышению коэффициента использования дихлорсилана, что способствует более сильному обеднению газовой смеси и, как следствие, к ухудшению однородности толщины пленки нитрида кремния. Улучшение однородности и воспроизводимости толщины пленок достигается при уменьшении температуры осаждения за счет снижения скорости

реакции. При этом, как видно из табл. 1, с уменьшением температуры снижается коэффициент использования дихлорсилана, что и способствует уменьшению градиента его концентрации и повышению однородности толщины осаждаемых пленок. Кроме того, при более низких температурах осаждения можно дополнительно уменьшить объемный расход дихлорсилана, что позволяет еще больше снизить скорость осаждения для получения тонких пленок нитрида кремния.

С учетом сделанных оценок, полученные результаты можно объяснить следующим образом.

При высоких температурах осаждения в области малых потоков дихлорсилана и относительно низких скоростей движения газа  $w$  происходит обеднение смеси дихлорсиланом уже в начальной зоне реактора (зоне загрузки). Это обуславливает снижение скорости осаждения по длине реакционной зоны, т. к. максимум  $V_{oc}$  находится в начальной зоне реактора. Причем данный эффект проявляется сильнее при более высоких температурах. В свою очередь, увеличение потока аммиака и, следовательно, возрастание суммарного потока реагентов при постоянном давлении в реакторе приводит к увеличению скорости движения газа, что способствует смещению максимума  $V_{oc}$  из начальной зоны реактора в рабочую зону. И, наконец, в области высоких значений скорости движения газового потока реакция переходит в кинетическую область, где скорость осаждения перестает зави-

сеть от  $w$ . При увеличении  $\gamma$  и сохранении суммарного объема потоков реагентов происходит уменьшение удельного потока дихлорсилана, что приводит к снижению скорости осаждения пленок нитрида кремния.

В области больших потоков дихлорсилана при высоких значениях  $w$  с увеличением  $\gamma$  происходит смещение максимума  $V_{oc}$  к зоне откачки. При этом из-за высоких скоростей движения газовой смеси все большая доля реагентов не успевает прореагировать в рабочей зоне. Подобный эффект описан в [7] для системы  $SiH_4-NH_3$ . Поэтому при увеличении суммарного потока реагентов сверх определенной величины может происходить снижение скорости осаждения пленок  $Si_3N_4$ . Снижение  $T_{oc}$  позволяет уменьшить коэффициент использования дихлорсилана и градиент его концентрации и, как следствие, повысить однородность осаждаемых пленок. Как видно из табл. 1, наилучшая однородность толщины пленок  $Si_3N_4$  достигается при значениях коэффициента использования дихлорсилана не более 0,35.

Таким образом, при оптимизации процесса осаждения необходимо учитывать существенное влияние на скорость осаждения и однородность пленок  $Si_3N_4$  как величины удельного потока дихлорсилана, так и скорости движения газа.

Преобразование исходных реагентов — дихлорсилана и аммиака — в твердофазный нитрид кремния является многостадийной реакцией. Пред-

Таблица 1

Сравнительная характеристика процессов осаждения нитрида кремния в различных реакторах

Параметры	Тип реактора					
	горизонтальный		вертикальный			
Диаметр пластин, мм	100	150	200			
Диаметр реактора, см	18,2	20,2	26			
Длина трубы, см	200	248	116			
Площадь трубы, см <sup>2</sup>	11430	15730	9470			
Количество пластин	220	110	169			
Площадь пластин, см <sup>2</sup>	34540	38858	106132			
Общая площадь осаждения, см <sup>2</sup>	45970	54588	115602			
Соотношение объемного расхода потоков дихлорсилан/аммиак	1:5	1:4	1:4	1:4	1:5	1:10
Удельный поток дихлорсилана, см/мин	1,3052	1,0991	0,5190	0,5190	0,5190	0,1730
Температура осаждения, °С	800	800	790	740	700	700
Давление, Па	40	40	30	30	30	25
Скорость осаждения, нм/мин	2,7	2,7	2,5	1,25	0,5	0,35
Коэффициент использования дихлорсилана	0,297	0,3532	0,6925	0,3463	0,346	0,2909
Неоднородность толщины по пластине, не более	±3,2%	±4,7%	±4,5%	±2,4%	±2,6%	±1,8%
Неоднородность толщины в партии пластин, не более	±6,2%	±6,5%	±5,0%	±3,0%	±4,5%	±3,9%



полагается, что газофазные реакции более медленные, чем поверхностные, в ходе которых происходит образование нитрида кремния [8–11].

Какие бы реакции ни происходили в газовой фазе или на поверхности, они в основном могут быть описаны как серия последовательных шагов, приводящих к замещению связей SiH, SiCl и NH связями SiN. Благодаря малому градиенту температуры вдоль реактора и избытку аммиака эти реакции обеспечивают однородное осаждение, несмотря на уменьшение содержания дихлорсилана в газовой смеси вдоль реакционной зоны.

С целью минимизации прокисления пленок нитрида кремния было проведено исследование влияния режимов окисления пленок нитрида кремния на их конечную толщину в диапазоне температур 850–1000°C. Результаты, представленные в **табл. 2**, показывают, что при температуре 1000°C прокисляется слой Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> толщиной 3,3–4,2 нм, что неприемлемо для пленок толщиной менее 10 нм, т. к. это приводит к существенному снижению удельной емкости накопительного конденсатора. Снижение температуры окисления до 900°C позволяет снизить глубину прокисления до 2,2 нм (при одинаковой толщине оксида кремния на контрольной кремниевой пластине), а при пироженном прокислении при 850°C она снижается до 1,9 нм.

Указанные выше режимы прокисления были также опробованы на тонких пленках нитрида кремния. Было установлено, что при температуре 1000°C происходит полное прокисление пленок толщиной менее 7 нм, что может быть связано с тем, что слой нитрида кремния толщиной 5–6 нм не является достаточным барьером для кислорода, который при высокой температуре может проникать через него к границе раздела SiO<sub>2</sub>/Si и приводить к окислению кремния подложки. При прокислении при 900°C в сухом кислороде или пироженном окислении при 850°C прокисляется около 1,5–1,7 нм слоя нитрида кремния. Таким образом, для уменьшения глубины прокисления тонких пленок Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> целесообразно проводить процессы при более низких температурах, а именно, 900 или 850°C.

Удельная емкость МОП-конденсаторов при исходной толщине пленок Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 9,0 нм составила 3,5–3,6 фФ/мкм<sup>2</sup>, а при толщине 7,0 нм –

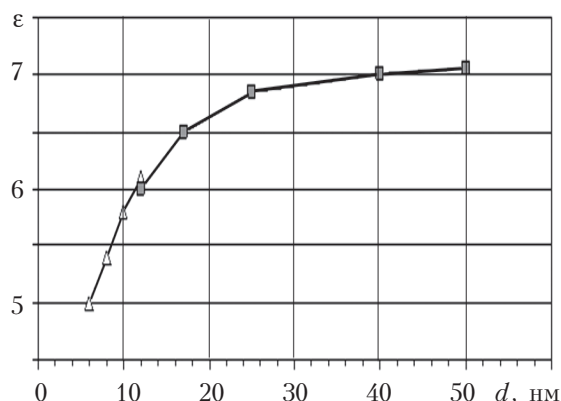


Рис. 6. Зависимость диэлектрической проницаемости пленки нитрида кремния от ее толщины:  $\Delta$  – экспериментальная;  $\blacksquare$  – данные из [1]

3,8–3,9 фФ/мкм<sup>2</sup>, что соответствует конденсаторной структуре (7,5 нм Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)/(5,5 нм SiO<sub>2</sub>) и (5,5 нм Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)/(4,2 нм SiO<sub>2</sub>).

На **рис. 6**, где представлена зависимость диэлектрической проницаемости ε пленки нитрида кремния от ее толщины, видно, что при снижении толщины с 10 до 6 нм происходит уменьшение диэлектрической проницаемости с 5,8 до 5,0. Причиной такого уменьшения может быть нарушение стехиометрического состава пленки из-за попадания в нее кислорода или наличие пор в ней, которые могут привести также и к снижению электрической прочности пленки. В связи с этим для повышения удельной емкости накопительных конденсаторов с тонкими пленками нитрида кремния необходимо использовать специальные методы, позволяющие повысить электрическую прочность и диэлектрическую проницаемость тонких пленок Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, например послойное их осаждение с обработкой каждого слоя в среде аммиака [12].

Для пластин с исходной толщиной слоя нитрида кремния 9,0 нм электрическая прочность конденсаторного диэлектрика составляет (9–10)·10<sup>6</sup> В/см, токи утечки при напряжении 5 В не превышают 10<sup>-13</sup> А (10<sup>-17</sup> А/мкм<sup>2</sup>), характеристический заряд составляет 0,8–1,6 Кл/см<sup>2</sup>. Однако дальнейшее уменьшение толщины пленки нитрида кремния приводит к резкому уменьшению характеристического заряда, что обуславливает необходимость проведения дополни-

Таблица 2

Влияние режимов прокисления на конечную толщину пленок нитрида кремния

Параметр	Режим термического окисления				
	сухое			пироженное	
Температура окисления, °С	1000			900	850
Толщина SiO <sub>2</sub> на контрольной кремниевой пластине, нм	35	20	10	10	10
Исходная толщина слоя Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , нм	21,458	21,482	21,454	21,493	21,452
Толщина слоя Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> после окисления, нм	17,249	17,528	18,157	19,279	20,537
Глубина окисления, нм	4,209	3,954	3,297	2,214	1,915

тельных исследований для повышения качества конденсаторного диэлектрика  $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ .

### Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что с уменьшением температуры осаждения скорость осаждения пленок уменьшается, при этом повышается однородность толщины пленки по пластине и по партии пластин, что позволяет воспроизводимо осаждавать пленки нитрида кремния, в том числе и тонкие (толщиной менее 10 нм).

Установлено, что прокисление тонких пленок  $\text{Si}_3\text{N}_4$  целесообразно проводить при температурах 850–900°C с целью уменьшения глубины прокисления. При снижении толщины пленки с 10 до 6 нм происходит уменьшение диэлектрической проницаемости с 5,8 до 5,0. Разработанный процесс осаждения тонких пленок позволил получить накопительные конденсаторы с удельной емкостью 3,8–3,9 фФ/мкм<sup>2</sup> при толщине пленки нитрида кремния 7,0 нм.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Турцевич А.С., Емельянов В.А. Формирование из газовой фазы функциональных слоев интегральных микросхем. – Минск: Интегралполиграф, 2007. [Turtsevich A.S., Emel'yanov V.A. Formirovanie iz gazovoi fazy funktsional'nykh sloev integral'nykh mikroskhem. Minsk: Integralpoligraf, 2007]
2. Гергель В. А., Миронов В. П., Ракитин В. В. и др., Перспективы развития и предельные характеристики накопителей сверхбольших динамических ЗУ // Микроэлектроника. – 1988. – Т. 17, вып. 3. – С. 237–243. [Gergel' V. A., Mironov V. P., Rakitin V. V. i dr. // Mikroelektronika. 1988. Vol. 17, iss. 3. P. 237]
3. Mandelman J. A. et al. Challenges and future directions for the scaling of dynamic random-access memory (DRAM) // IBM J. RES. & DEV. – 2002 – Vol. 46. – N 2/3. – P. 187–212.
4. Худяков В. В. Исследование размерного эффекта для диэлектрической проницаемости тонких пленок  $\text{Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{SiO}_2$  // Электронная техника. Сер. 3 Микроэлектроника. – 1985. – Вып.1(114). – С. 114–116. [Khudyakov V. V. Issledovanie razmernogo effekta dlya dielektricheskoi pronitsaemosti tonkikh plenok  $\text{Si}_3\text{N}_4$  i  $\text{SiO}_2$  // Elektronnaya tekhnika. Ser. 3 Mikroelektronika. 1985. Iss.1(114). P. 114]
5. Емельянов В. А., Турцевич А. С., Наливайко О. Ю. Оборудование для химического осаждения из газовой фазы функциональных слоев – Минск: Белорусская наука, 2007. [Emel'yanov V. A., Turtsevich A. S., Nalivaiko O. Yu. Oborudovanie dlya khimicheskogo osazhdeniya iz gazovoi fazy funktsional'nykh sloev. Minsk: Belorusskaya nauka, 2007]
6. Технология СБИС / Под ред С. Зи. – Москва: Мир, 1986. – С. 160–162. [Tekhnologiya SBIS / Pod red S. Zi. Moscow: Mir, 1986. P. 160]
7. Васильева Л. Л., Гиновер Л. Я., Попов В. П. Исследование процесса осаждения пленок нитрида кремния при взаимодействии моносилана с аммиаком // Известия СО АН СССР. Сер. Химические науки. – 1979. – Вып. 5, № 12. – С. 54–58. [Vasil'eva L. L., Ginover L. YA., Popov V. P. // Izvestiya SO AN SSSR. Ser. Khimicheskie nauki. 1979. Iss. 5, N 12. P. 54]
8. Roenigk K. F., Jensen K. F. Low Pressure CVD of Silicon Nitride // J. Electrochem. Soc. – 1997. – Vol. 134, N 7. – P.1777–1785.

9. Wittbrodt J. M., Schlegel H. B. An ab initio study of the thermal decomposition of dichlorosilane // Chem. Phys. Lett. – 1997. – Vol. 265, N 3–5. – P. 527–531.

10. Jenkins R. L., Wanderwielen A. J., Ruis S. P. et al. Pyrolysis of halosilanes and the formation and insertion reactions of chlorosilylene and fluorosilylene // Inorg. Chem. – 1973. – Vol. 12, N 12. – P. 2968–2972.

11. Swihart M. T., Carr R. W. Thermochemistry and thermal decomposition of the chlorinated disilanes ( $\text{Si}_2\text{H}_n\text{Cl}_{6-n}$ ,  $n = 0–6$ ) studied by ab initio molecular orbital methods // J. Phys. Chem. A. – 1997. – Vol. 101, N 40. – P. 7434–7445.

12. А. с. СССР 1715138. Способ формирования пленки нитрида кремния / приоритет от 09.10.1989. – 20.03.2012. [A. s. SSSR 1715138. / prioritet ot 09.10.1989. 20.03.2012]

Дата поступления рукописи  
в редакцию 06.06 2012 г.

Nalivaiko O. Yu., Turtsevich A. S. **The deposition of silicon nitride films under low pressure on wafers up to 200 mm.**

*Keywords: silicon nitride, deposition, capacitor.*

The influence of silicon nitride deposition condition on parameters of the obtained films has been investigated. It has been found that the deposition rate of silicon nitride films decreases with deposition temperature decreasing, and at the same time the within wafer thickness uniformity improves. It allows performing the reproducible deposition of silicon nitride films with thickness of less than 10 nm. It has been found that in order to decrease the oxidation depth of silicon nitride, it is appropriate to carry out the oxidation under 850–900°C. The developed process of silicon nitride deposition made it possible to obtain reservoir capacitors with specific capacitance of 3,8–3,9 fF/μm<sup>2</sup> at film thickness of 7,0 nm.

Republic of Belarus, Minsk, JSC «INTEGRAL»

Наливайко О. Ю., Турцевич А. С. **Одержання тонких плівок при зниженому тиску на пластинах діаметром до 200 мм.**

*Ключові слова: нітрид кремнію, конденсаторний діелектрик, осадження тонких плівок.*

Досліджено вплив режимів осадження нітриду кремнію на параметри отриманих плівок. Встановлено, що зі зменшенням температури осадження швидкість осадження плівок нітриду кремнію зменшується, при цьому підвищується однорідність товщини плівки по пластині. Це дозволяє відтворювати осаджувати плівки нітриду кремнію товщиною менш ніж 10 нм. Встановлено, що з метою зменшення глибини прокиснення нітриду кремнію окиснення доцільно проводити при температурах 850–900°C. Розроблений процес осадження нітриду кремнію дозволить отримати накопичувальні конденсатори з питомою ємністю 3,8–3,9 фФ/мкм<sup>2</sup> при товщині плівки 7,0 нм.

Республіка Білорусь, м. Мінськ, ВАТ «ІНТЕГРАЛ».