

Л.П. Ануфриев, А.С. Турцевич, В.В. Глухманчук

### КИНЕТИКА ОСАЖДЕНИЯ ПЛЕНОК НИТРИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧАЕМОГО АММОНОЛИЗОМ ДИХЛОРСИЛАНА В РЕАКТОРЕ ПониЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ

*Унитарное предприятие "Завод Транзистор" НПО "Интеграл"  
ул. Корженевского, 16, г. Минск, 220064, Республика Беларусь*

Пленки нитрида кремния широко используются в технологии изготовления интегральных схем в качестве маскирующих, пассивирующих слоев, конденсаторного и подзатворного диэлектриков, а также в качестве геттера [1, 2]. Для их получения используется аммонолиз моносилана и хлорсиланов [2, 3], причем из-за лучших технологических параметров аммонолиз дихлорсилана предпочтительнее [4]. Однако в связи с недостаточной изученностью и отсутствием четких представлений о многофакторном влиянии условий получения пленок нитрида кремния аммонолизом дихлорсилана на параметры процесса, а также на свойства осаждаемых пленок, необходимо проведение дальнейших исследований. На практике необходимо знать о взаимодействии, взаимозависимостях между различными шагами технологического процесса, потенциально важных источниках вариаций, понимать влияние критических параметров процесса на стабильность и воспроизводимость осаждения, свойства осаждаемых пленок, а также выход годной продукции. В работе исследована кинетика процесса осаждения нитрида кремния аммонолизом дихлорсилана, свойства осаждаемых пленок, характеризующие их состав и однородность пленок по толщине с целью минимизации отклонений процесса.

#### Методика эксперимента

Осаждение пленок нитрида кремния осуществляли аммонолизом дихлорсилана в промышленном реакторе пониженного давления с горячими стенками, конструкция которого аналогична описанной в [5]. Загрузка-выгрузка подложек осуществлялась бесконтактным методом с применением карбидкремниевой консоли. В качестве подложек использовались кремниевые пластины КДБ-12 диаметром 100 мм. Осаждение осуществлялось при температурах 720 – 850°C. Давление в реакторе варьировалось от 20 до 133 Па. Использовались дихлорсилан и аммиак электронного класса чистоты. Отношение объемных источников аммиака к дихлорсилану – ( $\gamma$ ). Толщина пленок нитрида кремния определялась спектрофотометром, а величина показателей преломления – при помощи лазерного эллипсометра. Плотность пленок нитрида кремния определялась методом полного внешнего отражения рентгеновских лучей при помощи дифрактометра ДТС. Разброс толщины пленки по пластине устанавливался по формуле

$$R_j = \pm \frac{D_{j\max} - D_{j\min}}{2D_j} \times 100\% , \quad (1)$$

где  $D_{j\max}$ ,  $D_{j\min}$  – максимальное и минимальное значения толщины на  $j$ -й пластине,  $D_j$  – среднее значение толщины на  $j$ -й пластине, которое определялось как

$$D_j = \sum_{i=1}^{i=5} \frac{D_i}{5}.$$

Разброс толщины пленки по процессу осаждения определялся по формуле

$$R_k = \pm \frac{D_{k\max} - D_{k\min}}{2D_k} \times 100\%, \quad (2)$$

где  $D_{k\max}$ ,  $D_{k\min}$  – максимальное и минимальное средние значения толщины на пластине в  $k$ -м процессе,  $D_k$  – среднее значение толщины на пластине в  $k$ -м процессе, которое определялось как

$$D_k = \sum_{i=1}^{i=5} \frac{D_k}{6}.$$

Кроме того, определялось  $C_p$  и  $C_{pk}$ :

$$C_p = \frac{\Delta}{3\delta}, \quad (3)$$

где  $\Delta$  – полуширина поля допуска,  $\delta$  – среднеквадратичное отклонение.

$C_p$  характеризует состояние процесса и дает ответ на вопрос: достаточен ли допуск на норму, а также определяет потенциальную воспроизводимость процесса [6].

$$C_{pk} = \frac{\Delta - D_m}{3\delta}, \quad (4)$$

где  $D_m$  – среднее значение толщины по  $m$ -процессам, которое определялось как

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=6} \frac{D_k}{6}.$$

$C_{pk}$  характеризует реальную воспроизводимость процесса с учетом его настроенности [6].

#### Экспериментальные результаты и их обсуждение

При  $\gamma$  равном 10 и температуре 800°C (рис.1) скорость осаждения пленок нитрида кремния ( $V_{oc}$ ) монотонно возрастает от 2,4 до 11,2 нм/мин (в 4,67 раза) при увеличении давления от 20 до 133 Па, а при температуре 750°C – от 1,45 до 4,3 нм/мин (в 2,96 раза). Таким образом чувствительность скорости осаждения к изменению температуры на 1°C снижается при уменьшении давления от 133 до 20 Па от 1,34 до 0,189 А/мин (в 7,1 раза). В то же время изменение давления на 1 Па при температуре 750°C приводит к изменению скорости осаждения нитрида кремния на 0,256 А/мин. Таким образом, зависимость  $V_{oc}$  от давления становится более слабой при снижении температуры осаждения.

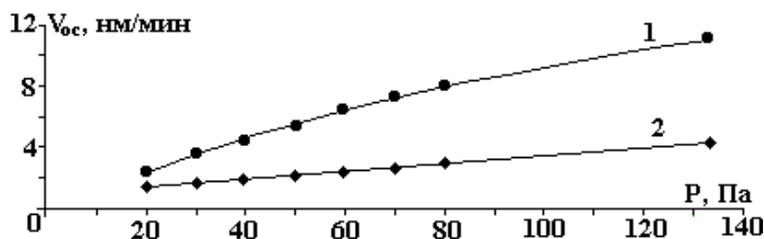


Рис.1. Зависимость скорости осаждения пленки нитрида кремния от давления при  $\gamma$  равном 10; температуры осаждения, °C: 1 – 800, 2 – 750

Из зависимостей  $V_{oc}$  от температуры (рис. 2) видно, что при  $\gamma$  равном 3 скорость осаждения пленки нитрида кремния монотонно возрастает от 1,5 до 9,2 нм/мин с увеличением температуры осаждения  $T_{oc}$  от 720 до 800°C. Характер температурной зависимости сохраняется при увеличении  $\gamma$  от 3 до 10 при постоянном потоке аммиака, однако при возрастании  $\gamma$  скорость осаждения снижается. Кроме того, температура осаждения существенно влияет на зависимость  $V_{oc}$  от  $\gamma$  (рис. 3). Так как при постоянном суммарном потоке (880 см<sup>3</sup>/мин), давлении 50 Па и  $T_{oc}$  равной 800°C с увеличением от 3 до 15  $V_{oc}$  снижается от 9,2 до 4,7 нм/мин (в 1,96 раза), а при температуре 750°C – от 3,2 до 1,8 нм/мин (в 1,78 раза).

При снижении суммарного потока до 370 см<sup>3</sup>/мин скорость осаждения уменьшается от 3,6 до 2,1 нм/мин (в 1,71 раза) при температуре 800°C и от 2,1 до 1,3 нм/мин (в 1,62 раза) при температуре 720°C с увеличением  $\gamma$  от 5 до 15 (рис. 3).

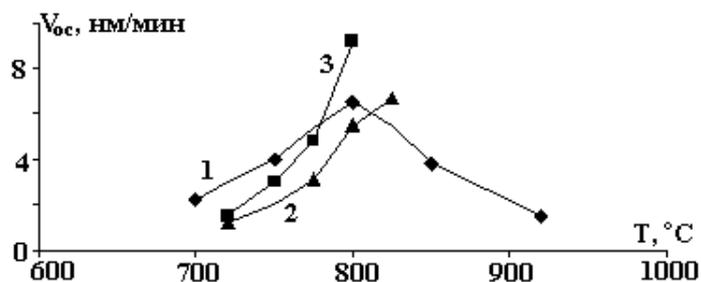


Рис.2. Зависимость скорости осаждения пленки нитрида кремния от температуры осаждения при давлении 50 Па и  $\gamma$ : 1 – [7],  $\gamma = 4$ ,  $P = 126$  Па; 2 –  $\gamma = 10$ , 3 –  $\gamma = 3$

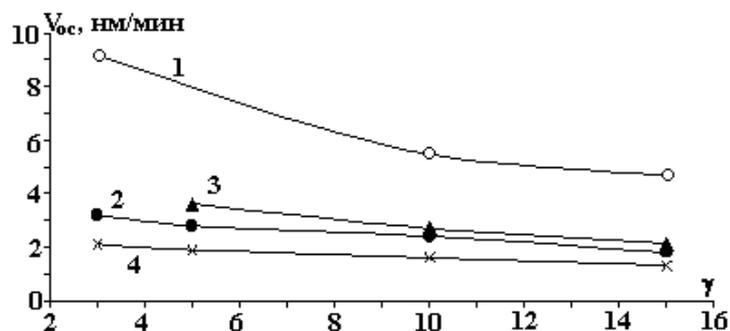


Рис. 3. Зависимость скорости осаждения пленки нитрида кремния от  $\gamma$  при постоянном потоке реагентов: 1 – 800 °С, 50 Па,  $Q_{\text{сум}} = 880$  см<sup>3</sup>/мин; 2 – 750 °С, 50 Па,  $Q_{\text{сум}} = 880$  см<sup>3</sup>/мин; 3 – 800 °С, 50 Па,  $Q_{\text{сум}} = 370$  см<sup>3</sup>/мин; 4 – 750 °С, 50 Па,  $Q_{\text{сум}} = 370$  см<sup>3</sup>/мин

Таким образом, как при снижении температуры осаждения, так и при уменьшении суммарного потока реагентов зависимость  $V_{\text{ос}}$  от  $\gamma$  становится линейной и более слабой. В то же время при увеличении  $\gamma$  от 3 до 15 при постоянном потоке дихлорсилана (33 см<sup>3</sup>/мин) и давлении 50 Па скорость осаждения нитрида кремния увеличивается незначительно – от 2,5 до 2,7 нм/мин (рис. 4), что хорошо согласуется с результатом работы [3], где сообщалось, что при соотношениях  $\gamma > 30$  скорость не зависит от температуры аммиака.

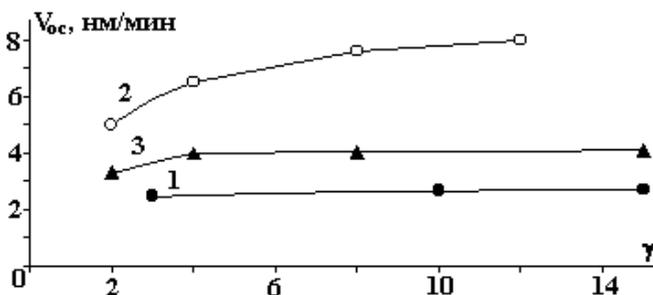


Рис. 4. Зависимость скорости осаждения пленки нитрида кремния от  $\gamma$  при фиксированном потоке дихлорсилана: 1 – 800 °С, 50 Па,  $V_{\text{dxc}} = 33$  см<sup>3</sup>/мин; 2 – [5], 800 °С, 126 Па,  $V_{\text{dxc}} = 25$  см<sup>3</sup>/мин; 3 – [5], 750 °С, 126 Па,  $V_{\text{dxc}} = 25$  см<sup>3</sup>/мин

В исследованном диапазоне изменения  $\gamma$ ,  $P$ , и  $T$  пленка является стехиометрическим нитридом кремния ( $n = 1,95 \pm 0,05$ ).

В свою очередь плотность пленок нитрида кремния при температуре 720 °С составила 2,72 и 2,95 г/см<sup>3</sup>, а при температуре 800 °С – 2,83 г/см<sup>3</sup> и 3,11 г/см<sup>3</sup> при давлениях 50 и 133 Па соответственно. Разброс по толщине пленок нитрида кремния (рис.5), сильно зависит от давления в процессе осаждения.

По мере уменьшения давления от 133 до 30 Па разброс по толщине пленки почти линейно уменьшается от  $\pm 8$  до  $\pm 2,5\%$  (в 3,2 раза) при температуре 800 °С, а при температуре 750 °С  $\pm 5$  до  $\pm 2\%$  (в 2,5 раза) соответственно. Таким образом, понижение как температуры, так и давления в процессе осаждения способствует улучшению однородности пленок нитрида кремния по толщине, что

хорошо согласуется с результатами работы [7]. Дальнейшее уменьшение температуры осаждения ограничено из-за низких скоростей осаждения, повышения токов утечки и увеличения доли пробитых конденсаторов [8]. При этом при толщинах пленки нитрида кремния 14 – 17 нм обеспечивается удельная емкость конденсаторного диэлектрика 2,7 – 3 фФ/мкм<sup>2</sup>.

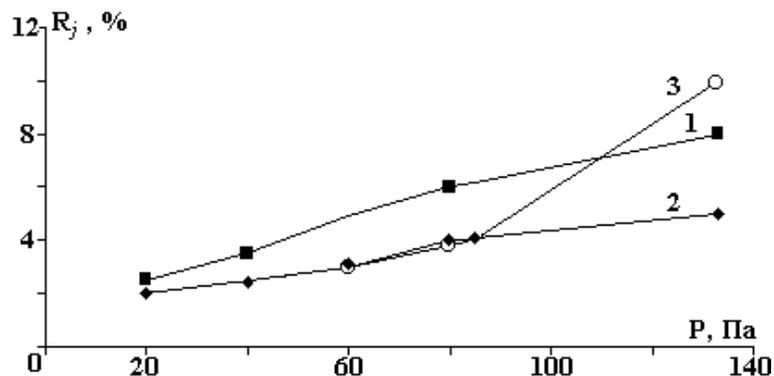


Рис. 5. Зависимость разброса по толщине пленок нитрида кремния от давления в процессе осаждения: 1 – 800 °С,  $\gamma = 10$ ,  $\vartheta = 370 \text{ см}^3/\text{мин}$ ; 2 – 750 °С,  $\gamma = 10$ ,  $\vartheta = 370 \text{ см}^3/\text{мин}$ ; 3 – [10], 750 °С,  $\gamma = 10$ ,  $\vartheta = 165 \text{ см}^3/\text{мин}$

В свою очередь увеличение диэлектрической проницаемости сверхтонких пленок нитрида кремния и снижение токов утечки возможно, как показано в работе [9], за счет использования особо чистого аммиака и азотного затвора для исключения попадания паров влаги и окислителей в реактор в момент загрузки – выгрузки. Кроме того, использование осаждения из газовой фазы при сверхнизких давлениях способствует повышению однородности осажденных пленок по толщине за счет того, что процесс становится ограниченным реакцией на поверхности [10].

Полученные закономерности существенно отличаются от зависимостей, представленных в работах [5, 11]. Так в [5] зависимость скорости осаждения от температуры при  $\gamma = 4$  (рис. 3) носит экстремальный характер с максимумом скорости осаждения при температуре 800 °С, что связывается с обеднением смеси дихлорсиланом из-за интенсивного взаимодействия реагентов в зоне предосаждения и в начале рабочей зоны. В [11] скорость осаждения монотонно возрастает от 1,58 до 2,05 нм/мин при увеличении  $\gamma$  от 2 до 12 при температуре 769 °С и потоке дихлорсилана 15 см<sup>3</sup>/мин. Однако в этом случае рост  $V_{\text{ос}}$  связан с увеличением общего давления в реакторе, так как регулирование скорости откачки не проводилось. В [5] скорость осаждения также возрастает при увеличении  $\gamma$ , но при фиксированном давлении выходит на насыщение при  $\gamma$  более 10 (рис. 4). В то же время зависимости  $V_{\text{ос}}$  от давления, полученные в [5, 11], аналогичны. Имеются также сообщения [12], что при увеличении потока аммиака скорость осаждения возрастает при относительно малых потоках дихлорсилана (10 см<sup>3</sup>/мин) и уменьшается при относительно больших потоках дихлорсилана (50 см<sup>3</sup>/мин). Однако при этом не даются объяснения выявленным закономерностям.

Для сопоставления кинетических зависимостей, полученных при различных условиях, необходимы дополнительные параметры, связывающие геометрию реактора и условия проведения осаждения. В качестве таких параметров можно использовать удельный поток дихлорсилана  $\alpha$ , определяемый как отношение объемного потока дихлорсилана 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 консоли. Кроме того, можно оценить степень использования дихлорсилана по формуле

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

где  $V_{\text{ос}}$  – скорость осаждения (нм/мин);  $\rho$  – плотность нитрида кремния (г/см<sup>3</sup>);  $v$  – отношение количества атомов Si в формулах пленки и газа [3];  $V_{\text{моль}}$  – объем 1 моля газа [22414 см<sup>3</sup>/моль];  $\alpha$  – удельный поток дихлорсилана, определяемый как отношение потока к общей площади осаждения в реакторе (м/с);  $M$  – молярная масса нитрида кремния [140,31 г/моль].

В табл. 1 представлены результаты оценочного расчета величин удельного потока дихлорсилана и скорости движения газа для реакторов с разными геометрическими параметрами и получаемые при этом скорости осаждения. Видно, что особенностью работы [5] является использование более высоких удельных потоков дихлорсилана и более низких  $w$ . К сожалению, данные, необходимые

для расчета удельного потока и скорости движения газа и корректного анализа кинематических зависимостей, в работах [11, 12] не приводятся.

Таблица 1. Результаты оценочного расчета величин удельного потока дихлорсилана и скорости движения газа для реакторов с различными геометрическими параметрами

№ п/п	Поток ДХС, см <sup>3</sup> /мин	T <sub>ос</sub> , °С	γ, отн.ед	Q <sub>сум</sub> , см <sup>3</sup> /мин	Давление, Па	Удельный поток ДХС, см/мин x10	Скорость движения газа, см <sup>3</sup> /мин	V <sub>ос</sub> , нм/мин	Источник информации	
1	25	750	2	75	126	2,05	45	3,3	[5]	
			4	125			75	4,0		
			12	325			195	4,1		
2	25	800	2	75	126	2,05	45	5,0	[5]	
			4	125			75	6,5		
			8	225			135	7,6		
			12	325			195	8,0		
3	23	800	15	370	50	0,5	331	2,1	Данная работа	
	33		10					0,7		2,7
	60		5					1,26		3,6
4	60	800	15	880	50	0,98	619	4,7		
	80		10					1,3		5,5
	220		3					3,58		9,2
5	33	800	3	132	50	0,7	121	2,47		
			10	363			331	2,67		
			15	533			490	2,71		

С учетом сделанных оценок полученные результаты можно объяснить следующим образом. В области малых потоков дихлорсилана и относительно низких скоростей движения газа происходит обеднение смеси дихлорсиланом уже в зоне предосаждения, что обуславливает снижение V<sub>ос</sub> по длине реакционной зоны, ибо максимум скорости осаждения находится в зоне предосаждения, а рабочей зоне соответствует спадающий участок кинетической кривой. 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 скорости осаждения пленки нитрида кремния из зоны осаждения в рабочую зону. И, наконец, в области высоких значений w реакция переходит в кинетическую область, где скорость осаждения перестает зависеть от w. При увеличении γ с сохранением постоянного суммарного потока реагентов происходит уменьшение удельного потока дихлорсилана, что снижает скорость осаждения пленок нитрида кремния.

В области больших потоков дихлорсилана при высоких значениях w с увеличением происходит смещение максимума скорости осаждения к зоне откачки. При этом из-за высоких скоростей движения газовой смеси все большая доза реагентов не успевает прореагировать в рабочей зоне. Подобный эффект описан в [13] для системы SiH<sub>4</sub> – NH<sub>3</sub>. Поэтому при увеличении суммарного потока реагентов сверх определенной величины происходит уменьшение скорости осаждения пленок нитрида кремния.

Полученные зависимости использованы для оптимизации процесса осаждения конденсаторного нитрида кремния для силовых интегральных схем. Результаты аттестации процесса по толщине представлены в табл. 2. Величина среднеквадратичного отклонения толщины пленки не превышает 3,43 А. Таким образом, обеспечивается C<sub>p</sub> ≥ 1,33, C<sub>рк</sub> ≥ 1,0 на этапе опытного производства (для допуска 145 ± 15 А – величина допуска ≥ ± 4σ ≈ 13,72). Следует отметить, что для получения стабильного и воспроизводимого процесса необходим системный анализ и исчерпывающие знания о нем, а также использование соответствующих методов проектирования оборудования [14]. Причем улучшение качества обеспечивается накоплением и концентрацией локальных улучшений в каждом процессе. Кроме того, необходима взаимозаменяемость деталей и узлов установки, чтобы их заменить, не оказывая влияния на разбросы по толщине и параметры пленки. Процесс реализуется в наиболее стабильной области, то есть той, где он менее всего подвержен отклонениям.

Таблица 2. Результаты аттестации процесса осаждения нитрида кремния по толщине

№ п п	D, А					$D_{cp}$ по пл., А	R по пл., А	$\frac{R}{2D_{cp}}$ по пл., ± %	$D_{cp}$ по пр., А	R по пр., А	$\frac{R}{2D_{cp}}$ по пр., ± %	$D_{cp}$ м-ду пр., А	ско А	$\frac{C_p}{C_{pk}}$
	1	2	3	4	5									
1	141	136	141	142	141	140,2	6	2,1						
2	140	139	137	142	140	139,6	5	1,8						
3	139	138	138	141	138	138,8	3	1,1	141,9	8,4	3,0			
4	145	143	140	146	144	143,6	6	2,1						
5	144	139	142	146	140	142,2	7	2,4						
6	149	145	145	152	145	147,2	7	2,4						
1	141	139	140	141	141	140,4	2	0,7						
2	140	136	141	140	141	139,6	4	1,8						
3	139	134	134	139	139	137,0	5	1,8	141,7	8,4	3,0			
4	146	141	147	147	143	144,8	6	2,1						
5	146	139	145	143	142	145,4	7	2,7						
6	147	144	141	149	146	143	8	2,4						
1	145	140	140	143	144	142,8	5	1,8						
2	143	137	137	141	141	139,8	6	2,1						
3	138	136	138	138	140	138	4	1,4	139,9	4,8	1,7			
4	144	139	137	143	141	140,8	7	2,5						
5	142	137	133	141	137	138	9	3,3						
6	143	137	138	143	141	140,2	6	2,1						
1	141	138	138	140	141	139,8	3	1,1						
2	141	137	135	141	139	138,4	6	2,2						
3	142	135	137	142	142	139,6	7	2,5	139,2	2,0	0,7			
4	140	136	136	140	138	138,0	4	1,4						
5	141	137	137	140	140	139,0	4	1,4						
6	141	135	140	142	141	140	7	2,5						
1	145	142	139	144	144	142,8	6	2,1						
2	143	137	138	141	141	140,0	6	2,1						
3	145	139	142	145	142	142,6	6	2,1	142,0	2,8	1,0			
4	148	141	138	143	144	142,8	10	3,5						
5	145	139	139	145	139	141,4	8	2,1						
6	148	141	137	146	141	142,6	11	3,9						
1	143	142	147	145	145	144,4	5	1,7						
2	138	136	142	142	143	140,2	7	2,5						
3	140	136	141	139	142	139,6	6	2,1	139,7	7,0	2,5			
4	140	135	140	138	141	138,8	6	2,2						
5	134	134	141	139	142	138,0	8	2,9						
6	134	133	141	138	141	137,4	8	2,9						

### Заклучение

Исследована кинетика процесса осаждения нитрида кремния аммонолизом дихлорсилана в температурном диапазоне 720 – 850°C и  $\gamma$  от 3 до 15. Показано, что характер температурной зависимости  $V_{oc}$  не зависит от  $\gamma$  и определяется удельным потоком дихлорсилана и скоростью движения газов. Температура осаждения, удельный поток дихлорсилана и скорость движения газового потока оказывают существенное влияние на зависимость  $V_{oc}$  от  $\gamma$ . При снижении  $T_{oc}$  или  $\gamma$ , или увеличении  $w$  зависимость  $V_{oc}$  от  $\gamma$  становится более слабой. С увеличением давления скорость осаждения пленок нитрида кремния монотонно возрастает, однако при этом существенно (в 2,5 – 3,2 раза) увеличивает-ся разброс по толщине пленок. Для уменьшения последнего, повышения стабильности и воспроизводимости процесса осаждения целесообразно уменьшение давления, температуры и увеличение скорости пролета газов за счет возрастания суммарного потока реагентов при постоянном давлении. В исследованном диапазоне изменения  $\gamma$ ,  $P$  и  $T$  пленки, полученные аммонолизом дихлорсилана, являются стехиометрическим нитридом кремния с показателем преломления  $1,95 \pm 0,05$  и плотностью  $2,72 - 3,11 \text{ г/см}^3$ . Предложен механизм, объясняющий различный характер зависимостей скорости осаждения от  $\gamma$  в области относительно малых и больших потоков дихлорсилана. Полученные зависимости использованы для оптимизации процесса осаждения конденсаторного нитрида кремния для интегральных схем силовой электроники.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Goodwin C.A.* The Use off Silicon Nitride in Semiconductor Device // Engineering and Science Proceeding. 1982. V. 3. № 1–2. P. 109 – 119.
2. *Morosanu C.E.* The preparation, characterization and application of silicon nitride films // Thin Solid Films. 1980. V. 165. P. 171 – 208.
3. Современные проблемы физической химии поверхности полупроводников / Под. ред. А.В. Ржанова и С.М. Репнинского, Новосибирск, 1988. С. 130 – 144.
4. *Васильев В.Ю., Сухов М.С.* Аппаратура и методика осаждения слоев при пониженном давлении. Ч. 2. // Обзоры по электронной технике. Сер.7. 1985. Вып. 4 (1088). С. 42 – 46.
5. *Roenigk K.F., Jensen K.F.* Low Pressure CVD of Silicon Nitride // J. Electrochem. Soc. 1987. V. 134. № 7. P. 1777 – 1785.
6. Семь инструментов качества в японской экономике. М., 1990. С. 46 – 47.
7. *Адонин А.С., Васильев А.Н., Гарба Л.С., Михайлов Л.Н.* Осаждение диэлектрических и проводящих слоев из газовой фазы при пониженном давлении. Обзоры по электронной технике. Сер.2. Полупроводниковые приборы. 1983. Вып. 7. С. 35 – 36.
8. *Турцевич А.С., Гранько В.И., Макаревич И.И., Наливайко О.Ю.* Влияние условий получения нитрида кремния аммонолизом дихлорсилана при пониженном давлении на его диэлектрические свойства // Вакуумная техника и технология. 1992. Т. 2. № 2. С. 33 – 37.
9. *Турцевич А.С., Шахова С.Ф., Макаревич И.И., Наливайко О.Ю., Румак Н.В.* Влияние степени очистки аммиака на диэлектрические свойства нитрида кремния, полученного путем аммонолиза дихлорсилана // Высокочистые вещества. 1995. № 3. С. 108 – 113.
10. *Турцевич А.С., Гранько В.И., Смаль И.В., Наливайко О.Ю.* Химическое осаждение из газовой фазы при сверхнизком давлении (ULPCVD) возможности и перспективы // Вакуумная техника и технология. 1992. Т. 2. № 2. С. 10 – 13.
11. *Pan P., Berry W.* The Composition and Physical Properties of LPCVD Silicon Nitride Deposited with Different  $\text{NH}_3/\text{SiH}_2\text{Cl}_2$  Gas Ratio // J. Electrochem. Soc. 1985. V. 132. №. 12. P. 3001 – 3005.
12. *Gregory J.A., Douglas J., Yong J., Montrain R.W., Doherty L.D.* Characterization of low pressure chemically vapor deposited silicon nitride using experimental design // Thin Solid Films. 1991. V. 206. P. 11 – 17.
13. *Васильева Л.В., Гиновер Л.Я., Попов В.П.* Исследование процесса осаждения пленок нитрида кремния при взаимодействии моносилана с аммиаком // Химические науки. 1979. Вып. 5. № 12. С. 54 – 58.
14. *Barlett G., Dahm J., Mappin K. et al.* Using "Six Sigma" to Gauge PECVD // Semiconductor International. 1992. № 6. P. 94 – 100.

Поступила 5.03.03

### Summary

The kinetics of the silicon nitride deposition by ammonolysis of dichlorosilane and the stoichiometry of the films deposited in the temperature range 720 – 850°C with a  $\gamma$  value of an ammonia flow-dichlorosilane ratio in the range of 3 to 15 and pressure 20 to 133 Pa is discussed. It is found that in the explored range of  $T$ ,  $P$ ,  $\gamma$  the films are stoichiometric silicon nitride with refractive index  $1,95 \pm 0,05$  and density 2,72 to 3,11 g/cm<sup>3</sup>. The mechanism explaining the variable nature of deposition rate-  $\gamma$  relations in the area of relatively small and large flows of dichlorosilane is proposed. The obtained results were used to optimize the procedure of capacitor silicon nitride deposition for non-power electronics.