

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК АМОРФНОГО ГИДРИРОВАННОГО НИТРИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ В ПЛАЗМЕ ВЫСОКАЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА

© А.С.Абрамов, А.Я.Виноградов, В.Г.Голубев, А.И.Косарев,
М.А.Матюшкина, А.В.Пацеккин

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия
(Получена 21 ноября 1995 г. Принята к печати 28 ноября 1995 г.)

Исследованы пленки $a\text{-SiN}_x\text{:H}$, полученные методом осаждения в плазме емкостного тлеющего разряда на повышенной частоте 55 МГц из смеси силан+азот. Обнаружено, что при выращивании $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ на частоте 55 МГц по сравнению с 13.56 МГц требуются меньшие концентрации азота в рабочих смесях, чтобы проявилось влияние азота на электронные свойства получаемых пленок. Наблюдалось изменение электронных свойств исследованных пленок с изменением содержания азота в газовой фазе $X = [\text{N}]/[\text{Si}]$. Данные инфракрасной спектроскопии показали, что водород формирует химические связи преимущественно с кремнием. Азот в пленках, полученных при $X < 8$, по-видимому, ведет себя как примесь, образующая химическую связь с решеткой кремния, тогда как при $X > 8$ образуется широкозонный сплав типа $a\text{-SiN}_x\text{:H}$.

1. Введение

Пленки аморфного гидрированного нитрида кремния ($a\text{-SiN}_x\text{:H}$) имеют широкое применение в электронике в основном в качестве подзатворного изолятора в тонкопленочных полевых транзисторах [1], а также в качестве изолирующего и пассивирующего слоя [2], блокирующего слоя в фотосенсорах [3], туннельно-прозрачных изоляторов [4], активного слоя в светоизлучающих приборных структурах [5].

Структурные и электронные свойства пленок $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ определяются технологическими параметрами получения пленок и могут варьироваться в широких пределах. Наиболее широко используется осаждение пленок $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ в плазме высокочастотного (ВЧ) разряда на частоте 13.5 МГц из смеси $\text{SiH}_4 + \text{NH}_3$ [6]. Пленки $a\text{-SiN}_x\text{:H}$, полученные из такой смеси, содержат значительное количество водорода, который, как полагают, обуславливает нестабильность электронных свойств. Поэтому ведутся исследования получения пленок из смеси $\text{SiH}_4 + \text{N}_2$ и других смесей.

Ранее было показано, что при использовании разряда на частоте 13.5 МГц и смеси $\text{SiH}_4 + \text{N}_2$ пленки приемлемого качества могут быть получены лишь при очень высокой концентрации N_2 ($[\text{N}_2]/[\text{SiH}_4] \sim 1000$), причем структура пленок в этом случае ухудшается за счет избытка азота. Необходимость столь высокой концентрации N_2 связана с низкой степенью возбуждения азота в смеси с силаном [7]. Недавно было обнаружено, что в разряде на более высокой частоте, $50 \div 100$ МГц, возбуждение молекул и их диссоциация происходят значительно эффективнее [8]. Во многих работах показано, что структура и электронные свойства пленок $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ определяются структурой и соотношением химических связей, в частности связей Si-N [9-11].

Цель данной работы — исследование структуры и электронных свойств пленок $a\text{-SiN}_x\text{:H}$, полученных в плазме тлеющего разряда на более высокой частоте. В основу положено предположение, что повышение частоты приведет к более эффективному возбуждению молекул N_2 и последующему формированию пленок $a\text{-SiN}_x\text{:H}$, имеющих достаточно хорошие электрические характеристики и не содержащих в больших количествах водород и/или азот.

2. Экспериментальные установки и методики

Пленки $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ выращивались в установке для плазмохимического газофазного осаждения, снабженной кассетным шлюзом и интерферометрическим лазерным контролем оптических свойств в процессе роста пленок. Использовался емкостной тлеющий разряд на частоте $f = 55$ МГц в смеси $\text{SiH}_4 + \text{N}_2$ при давлении $P = 5.6 \cdot 10^{-2}$ мм рт.ст., температуре подложки $T_s = 250^\circ\text{C}$, удельной поглощенной мощности $W = 14 \div 21$ мВт/см². Соотношение потоков газов варьировалось таким образом, что при неизменном суммарном потоке Q отношение $X = [\text{N}]/[\text{Si}]$ менялось в пределах $X = 0 \div 40$. Технологические параметры процесса осаждения пленок приведены в табл. 1.

Скорость роста пленок V определялась по интерференционной картине, которая формировалась при отражении луча He-Ne-лазера от поверхности растущей пленки и регистрировалась в реальном масштабе времени. Для определения толщины пленок d использовался показатель преломления, определенный из измерений спектральных характеристик оптического пропускания.

Таблица 1. Технологические параметры и характеристики процесса осаждения пленок $a\text{-SiN}_x\text{:H}$

№ образца	$X = [\text{N}]/[\text{Si}]$	Толщина d , мкм	Скорость роста V , Å/с	ВЧ мощность W , мВт/см ²
133-01	0	0.4	3.3	14
133-02	20	1.2	1.36	21
133-03	2.6	1.0	2.31	16
133-04	8	1.4	2.59	21
133-05	38	1.65	1.37	18

Примечание. $f = 55$ МГц, $T_s = 250^\circ\text{C}$, $Q = 27$ см³/мин, $P = 0.056$ мм рт.ст.

В качестве подложек использовались пластины кристаллического Si (для измерений спектров инфракрасного поглощения), кварц (для оптических измерений в видимой области спектра), ситалл (для измерений электропроводности и фотопроводимости). Эти подложки устанавливались в каждом процессе.

Для характеристики электронных свойств пленок были измерены спектральные зависимости оптического пропускания и определенные спектральные зависимости коэффициента межзонного поглощения $\alpha(h\nu)$ для $h\nu > E_g$, оптическая ширина запрещенной зоны по Тауцу E_g , длинноволновый показатель преломления n_0 , температурные зависимости электропроводности $\sigma(T)$, спектральные зависимости внутризонного поглощения $\alpha(h\nu)$ при $h\nu < E_g$ методом постоянного фототока (МПФ), из которых находились параметры распределения плотности состояний и концентрация глубоких дефектов по методу, предложенному в работе [12]. Измерения электропроводности и фотопроводимости проводились в вакуумном термостате. Структура химических связей исследовалась с помощью инфракрасной (ИК) спектроскопии. Измерения ИК спектров выполнялись на ИК фурье-спектрометре IFS-113v фирмы «Bruker». Кроме того, были измерены фотоиндуцированные изменения свойств пленок после интенсивного (400 мВт/см^2) облучения ксеноновой лампой ДКСШ-500 с водяным фильтром.

3. Экспериментальные результаты

3.1. Температурная зависимость электропроводности

Температурная зависимость электропроводности $\sigma(T)$ измерялась при нагревании и охлаждении образца со скоростью 4 град/мин в диапазоне температур $300 \div 500 \text{ К}$. При этом значения σ изменялись на $4 \div 5$ порядков, а зависимость $\sigma(T)$ следовала экспоненциальному закону. Поэтому для анализа кривых $\sigma(T)$ были использованы выражения, описывающие активационный механизм электропроводности в аморфных материалах:

$$\sigma(T) = \sigma_0 \exp(\gamma/kT) \exp(-E_a/kT) = \sigma^* \exp(-E_a/kT), \quad (1)$$

$$\sigma(T) = \sigma_0 \exp(E_F^T/kT), \quad (2)$$

$$E_a = E_F^0, \quad E_F^T = E_F^0 - \gamma T, \quad (3)$$

$$\sigma^* = \sigma_0 \exp(\gamma/k), \quad (4)$$

$$\sigma_0 = eN(E_c)kT\mu_c \quad (5)$$

где σ_0 — минимальная металлическая проводимость (обычно при обработке данных принимается $\sigma_0 = 200 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ [13]), E_a — энергия активации, измеряемая экспериментально, E_F^0 — энергия Ферми при нулевой температуре (здесь и далее отсчет энергии осуществляется от края зоны проводимости), E_F^T — энергия Ферми при температуре T , γ — температурный коэффициент положения уровня Ферми, $N(E_c)$ — плотность состояний на краю зоны проводимости, μ_c — подвижность электронов в зоне проводимости.

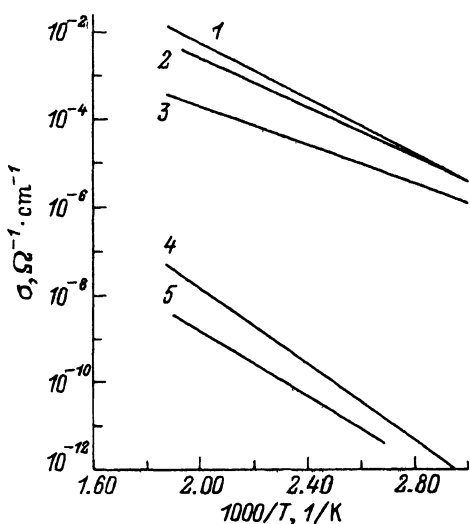


Рис. 1. Температурные зависимости удельной электропроводности пленок $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ с разным содержанием азота: 1 — 133-01, 2 — 133-04, 3 — 133-03, 4 — 133-02, 5 — 133-05.

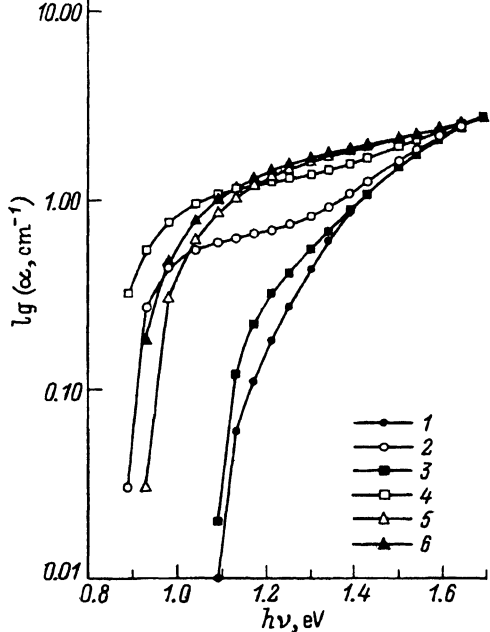


Рис. 2. Спектральные зависимости коэффициента поглощения α пленок $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ с разным содержанием азота в начальном состоянии А (1, 3, 5) и после интенсивной засветки В (2, 4, 6). Образцы: 1, 2 — 133-01; 3, 4 — 133-03; 5, 6 — 133-04.

Экспериментальные кривые $\sigma(T)$ приведены на рис. 1. По ним с помощью выражений (1)–(5) были определены характеристики электропроводности, которые представлены в табл. 2. Из анализа этих данных следует, что с ростом содержания азота в пленках происходит следующее.

1. Величина электропроводности при комнатной температуре σ_{RT} уменьшается от $\sim 5 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ в пленке без азота до $\sim 5 \times 10^{-13} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ в пленке с максимальным содержанием азота.

Таблица 2. Электрические и оптические характеристики пленок $a\text{-SiN}_x\text{:H}$

№ образца	133-01	133-02	133-03	133-04	133-05
$X = [\text{N}]/[\text{Si}]$	0	20	2.6	8	38
$\lg(\sigma_{RT}, \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1})$	7	13	7	7	13
$E_a, \text{эВ}$	0.62	0.68	0.44	0.56	0.74
$\lg(\sigma_0, \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1})$	7.0	-0.28	-0.65	4.8	-5.4
$E_F^T, \text{эВ}$	0.58	1.00	0.59	0.57	1.00
$\gamma, 10^{-4} \text{эВ/град}$	1.48	-4.58	-5.18	-0.43	-9.31
$E_g, \text{эВ}$	1.79	2.2	1.75	1.8	2.32
$B, (\text{см} \cdot \text{эВ})^{-0.5}$	311	209	250	243	118
n_0	3.14	2.39	3.67	3.12	2.13

2. Энергия активации E_a слабо изменяется, сохраняя значение $E_a \simeq 0.7 \div 0.6$ эВ.

3. Положение уровня Ферми E_F^T для пленок с небольшим содержанием азота ($X < 8$) практически не зависит от концентрации азота и составляет $E_F^T = 0.6$ эВ. Однако с ростом X E_F^T возрастает до 1 эВ. Оптические измерения показали, что в пленках с $X < 8$ оптическая ширина зоны не изменяется, и этот факт в сопоставлении с данными по $\sigma(T)$ свидетельствует о том, что в этих пленках азот ведет себя как примесь. При больших концентрациях, $X > 8$, формируется соединение SiN_x , что ведет к увеличению оптической ширины зоны, при этом энергия уровня Ферми E_F^T также начинает увеличиваться.

3.2. Оптические свойства пленок

3.2.1. Видимая область и край поглощения (межзонное поглощение)

Оптические характеристики пленок в видимой области, соответствующей межзональному поглощению, определялись по экспериментальным зависимостям коэффициента пропускания от длины волны. Показатель преломления в длинноволновой области и толщина пленки определялись по интерференционным экстремумам [14]. Коэффициент поглощения в области края поглощения рассчитывался по методике, описанной в работе [15,16].

Оптическая ширина зоны по Тауцу определялась по формуле $[\alpha(h\nu)]^{1/2} \sim B(h\nu - E_g)$. Оптические характеристики пленок представлены в табл. 2. Видно, что при содержании азота $X < 8$ оптическая ширина зоны E_g и показатель преломления n_0 практически не отличаются от значений, полученных для реперной пленки $a\text{-Si}:\text{H}$ ($E_g \simeq 1.8$ эВ, $n_0 \simeq 3.14$). При $X \simeq 20$ происходит значительное изменение E_g ($E_g \simeq 2.2$ эВ) и n_0 ($n_0 \simeq 2.39$), дальнейшее увеличение X ведет к небольшому росту E_g и уменьшению n_0 .

Интересно, что величина, которая характеризует скорость нарастания плотности состояний вблизи краев зоны проводимости и валентной зоны, с ростом X монотонно уменьшается в отличие от E_g и n_0 . Это означает, что введение азота даже в относительно небольших количествах, когда не происходит изменения ширины зоны, ведет к увеличению плотности состояний вблизи краев зон.

3.2.2. Область внутризонного поглощения

Измерения малых коэффициентов поглощения при энергии фотона меньше оптической ширины зоны (внутризонное поглощение), $h\nu < E_g$, были выполнены с помощью метода постоянного фототока. Этот метод позволяет измерить α в относительных единицах. Для перехода к абсолютным значениям была выполнена нормировка на кривые $\alpha(h\nu)$, измеренные по оптическому пропусканию в области совпадения тех и других. Далее, следуя работе [12], рассчитывали распределение плотности состояний $N(E)$ и определяли характеристики $N(E)$ и концентрацию глубоких дефектных состояний N_d . С помощью этой методики для пленок, которые обладали достаточной фотопроводимостью σ_{ph} ,

Таблица 3. Характеристики образцов, измеренные в начальном состоянии (А) и в состоянии после интенсивной засветки (В)

№ образца		133-01	133-03	133-04
$\sigma_{ph}, \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	А	$1.9 \cdot 10^{-4}$	$8.4 \cdot 10^{-5}$	$6.4 \cdot 10^{-5}$
	В	$4.5 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.7 \cdot 10^{-5}$
$E_U, \text{эВ}$	А	0.067	0.067	0.141
	В	0.076	0.103	0.140
$E_{vt}, \text{эВ}$	А	0.064	0.060	0.108
	В	0.066	0.080	0.090
$E_d, \text{эВ}$	А	0.88	1.16	1.23
	В	0.89	0.98	1.25
$W_d, \text{эВ}$	А	0.139	0.190	0.135
	В	0.060	0.106	0.167
$N_d, \text{см}^{-1}$	А	$3.7 \cdot 10^{15}$	$1.5 \cdot 10^{16}$	$1.8 \cdot 10^{17}$
	В	$1.4 \cdot 10^{16}$	$6.2 \cdot 10^{16}$	$3.4 \cdot 10^{17}$
$\tau, \text{мин}$		6	5	15

были измерены спектры $\alpha(h\nu)$ для $h\nu < E_g$, приведенные на рис. 2, и определены следующие характеристики: энергия Урбаха в области экспоненциального поглощения E_U ; характерная энергии спада «хвоста» плотности состояний вблизи края валентной зоны E_{vt} ; положение пика состояний дефектов E_d , отсчет от E_c ; характерная ширина пика состояний дефектов W_d (в предположении гауссовой формы плотности состояний), концентрация состояний дефектов N_d . Эти параметры приведены в табл. 3. Измерения МПФ удалось выполнить на образцах с содержанием азота $X < 8$, поскольку образцы с более высоким X не обладали достаточной фотопроводимостью. Наблюдались следующие закономерности по мере увеличения X : увеличение E_U от 0.06 ($X = 0$) до 0.11 эВ; увеличение E_{vt} от 0.06 ($X = 0$) до 0.11 эВ; смещение пика дефектов E_d в глубь зоны от 0.94 до 1.08 эВ; уширение пика дефектов — увеличение W_d от 0.069 до 0.11 эВ; возрастание концентрации дефектов от $6.8 \cdot 10^{15}$ до $3.9 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Такие изменения характеристик свидетельствуют о том, что по мере увеличения количества вводимого азота в пленках не только происходит изменение плотности состояний вблизи краев зон, как это следует из оптических измерений, но также существенно изменяются и характеристики глубоких дефектов: увеличивается концентрация, изменяются их положение и конфигурация.

3.2.3. Инфракрасное поглощение и структура химических связей

Инфракрасные спектры поглощения измерены при комнатной температуре в диапазоне от 4500 до 500 см^{-1} с разрешением 8 см^{-1} и усреднением по 600 актам сканирования. Поглощение A вычислялось по формуле $A = -\log(T/T_0)$, где T — интенсивность излучения, прошедшего через подложку с осажденной на ней пленкой, T_0 — интенсивность из-

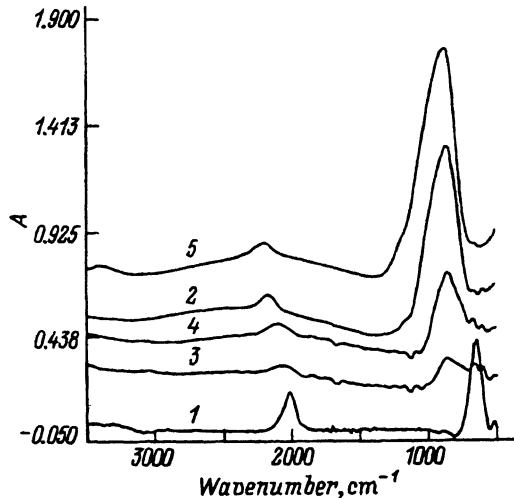


Рис. 3. Спектры ИК поглощения A пленок $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ с разным содержанием азота: 1 — 133-01, 2 — 133-02, 3 — 133-03, 4 — 133-04, 5 — 133-05.

лучения, прошедшего через свободную кремниевую подложку. Спектры ИК поглощения пленок приведены на рис. 3.

В спектре реперного образца (133-01), представляющего собой пленку $a\text{-Si:H}$ без азота, в спектре отчетливо видны линии валентных колебаний Si-H-связей в виде симметричной линии 2010 см^{-1} и соответствующих деформационных колебаний в области 640 см^{-1} (рис. 3, спектр 1). В пределах погрешности не наблюдались линии колебаний в конфигурациях SiH_2 , SiH_3 . Такой спектр типичен для пленок аморфного кремния приборного качества. Концентрация водородных связей с кремнием определялась из интергальной интенсивности I_ω полосы деформационных колебаний 640 см^{-1} по формуле

$$N_{\text{H}} [\text{см}^{-1}] = C_{\text{H}} I_\omega = C_{\text{H}} \int A(\omega) / \omega d\omega$$

с использованием константы $C_{\text{H}} = 1.6 \cdot 10^{19}\text{ см}^{-1}$ из работы [17] и составила 13 ат%.

По мере увеличения содержания азота в пленках наблюдалось систематическое смещение пика валентных колебаний Si-H от 2010 до 2200 см^{-1} . К сожалению, в области $700 \div 1100\text{ см}^{-1}$ вследствие вероятного вклада эффекта отражения излучения в полосе остаточных лучей [18] для пленок $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ линии валентных колебаний Si-N ($830 \div 890\text{ см}^{-1}$) и деформационных колебаний N-H (1170 см^{-1}) маскируются и их не удалось выделить. Для образца с наибольшим X наблюдалась линия 3391 см^{-1} , которая идентифицируется с колебаниями типа растяжения N-H-связи.

Таким образом, данные ИК спектроскопии позволяют считать, что в исследованных пленках водород связан в основном с кремнием (только в пленке с максимальным содержанием азота наблюдалась линия, обусловленная N-H-связью). Причем по мере роста концентрации азота наблюдалось смещение положения линии Si-H-связи в сторону боль-

них волновых чисел, что разумно интерпретировать как эффект изменения суммарной электроотрицательности атомов, образующих вторую координационную сферу для атома водорода в группе Si-H при встраивании азота в структурную сетку аморфного кремния [19,20].

3.3. Фотоиндуцированные эффекты

Фотоиндуцированные эффекты были исследованы МПФ в образцах 133-01, 133-03 и 133-04, которые обладали достаточной фотопроводимостью. Исследовались характеристики пленок, определенные МПФ до освещения (состояние А) и после длительного освещения. Освещение проводилось лампой с водяным фильтром, чтобы отсесть ИК составляющую в спектре лампы. Интенсивность составляла ~ 400 мВт/см. Во время освещения контролировался фототок образца, который уменьшался со временем освещения. Освещение проводилось до достижения стационарного значения фототока (состояние В). В состоянии В были выполнены также измерения характеристик МПФ и определены E_U , E_{vt} , E_d , W_d . Полученные данные приведены в табл. 3.

Как видно из таблицы, в пленках, содержащих азот, наблюдаются фотоиндуцированные эффекты, аналогичные тем, что обнаружены в $a\text{-Si:H}$ (см. результаты измерений реперного образца 133-01).

Заключение

Исследованы пленки $a\text{-SiN}_x\text{:H}$, полученные методом осаждения в плазме емкостного тлеющего разряда на повышенной частоте 55 МГц из смеси силан+азот. Обнаружено влияние азота на электронные свойства пленок, выращенных в разряде на 55 МГц при концентрациях азота в рабочей смеси, меньших чем концентрация азота в рабочей смеси на частоте 13.56 МГц.

Наблюдалось изменение электронных свойств исследованных пленок с изменением содержания азота в газовой фазе X . С ростом X все больше азота связывается со структурной решеткой, формируемой в основном кремнием, причем водород формирует химические связи преимущественно с кремнием. Только при максимальном $X = 40$ наблюдается поглощение, обусловленное N-H-связями.

С ростом содержания азота наблюдалось уменьшение электропроводности (приблизительно на 5 порядков) и увеличение энергии Урбаха, концентрации глубоких дефектов, характеристики В наклона кривой в спектральной зависимости Тауда. При этом оптическая ширина зоны E_g и показатель преломления n_0 в пленках с содержанием азота до $X \simeq 8$ практически не изменялись. В этих пленках азот, по-видимому, ведет себя как примесь, образующая химическую связь с решеткой кремния. Фотоиндуцированные эффекты в таких пленках проявляются таким же образом, как и в пленках $a\text{-Si:H}$. При большем содержании азота X E_g и n_0 существенно изменялись, что, по-видимому, свидетельствует об образовании соединения типа $a\text{-SiN}_x\text{:H}$, причем в пленках с наибольшим X наблюдалось присоединение водорода к азоту в виде N-H-связи.

- [1] M. Tsukuda, S. Nata, Y. Kohda, S. Miyazaki, M. Hirose. *J. Non-Cryst. Sol.*, **97-98**, 317 (1987).
- [2] M. Swartz, K.K. Kitamura, M. Vijan, J. Mebill, V. Cnnola, Z. Yaniv. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, **95**, 635 (1987).
- [3] M. Yoshimi, T. Ishiko, K. Hattovi, H. Okamoto, Y. Hamakawa. *J. Non-Cryst. Sol.*, **137-138**, 1283 (1991).
- [4] T. Futagi, N. Ohtani, M. Katsuno, K. Kawamura, Y. Ohta, H. Mimura, K. Kitamura. *J. Non-Cryst. Sol.*, **137-138**, 1271 (1991).
- [5] D. Rvuanghara, W. Boonkosum, P. Siamchai, S. Panya. *Conf. Sol. St. Dev. (Mater. Business Cent. for Acad. Soc. Japan, Tokio, 1992)* p. 563.
- [6] S. Hasegava, S. Narikava, Y. Kurata. *Phil. Mag. B*, **48**, 431 (1983).
- [7] W.Y. Xu, Z.L. Sun, Z.P. Wang. *J. de Phys.*, **42** (Suppl. C4), № 2, 695 (1981).
- [8] K.S. Frolov, A.F. Koganov, A.S. Smirnov, L.D. Tsendin, A.Yu. Ustavshikov, A.J. Vinogradov. *XXI Int. Conf. Prenom. in Ionized Gases* (Bohum, 1993) p. 53.
- [9] R. Karcher, L. Ley. *Phys. Rev. B*, **30**, 1984 (1986).
- [10] A. Morimoto, Y. Tsujimura, M. Kumeda, T. Shimizu. *Japan. J. Appl. Phys.*, **24**, 1394 (1985).
- [11] D.V. Tsu, G.L. Lucovsky, M.J. Mantini. *Phys. Rev. B*, **33**, 7069 (1986).
- [12] M. Vanecek, J. Kocka, S. Stuchlik, Z. Kozisek, O. Stika, A. Triska. *Sol. Energy Mater.*, № 8, 411 (1983).
- [13] A.I. Kosarev, A.G. Kovrov, R.A.G. Gibson, P.G. LeComber, T.A. Sidorova, A.Y. Vinogradov. *J. Non-Cryst. Sol.*, **137-138**, 371 (1991).
- [14] A.B. Раков. *Спектрофотометрия тонкопленочных полупроводниковых структур* (М., Сов. радио, 1975).
- [15] R. Tsu, W. Howard, L. Esaki. *Phys. Rev.*, **172**, 779 (1968).
- [16] H. Shanks, C.J. Fang, L. Ley, M. Cardona, F.J. Demond, S. Kolbitzer. *Phys. St. Sol.* (b), **100**, 43 (1980).
- [17] H.R. Shanks, F.R. Jeffrey, M.E. Sowry, *J. de Phys.*, **42** (Suppl. C4), N 2, 773 (1981).
- [18] Rang-Cheng Lin, Si-Chen Lee. *J. Appl. Phys.*, **72**, 5474 (1992).
- [19] G. Lucovsky. *Sol. St. Commun.*, **29**, 571 (1979).
- [20] G. Lucovsky. *Solar Cell*, **2**, 431 (1980).

Редактор Л.В. Шаронова

Study of hydrogenated amorphous silicon nitride films, prepared in HF discharge plasma

A.S. Abramov, A.J. Vinogradov, V.G. Golubev, A.I. Kosarev,
M.A. Matyushkina, A.V. Patsekin

α -SiN_x:H films prepared by deposition in glow discharge plasma at high frequency of 55 MHz from silane-hydrogen mixture were studied. It was found that at frequency 55 MHz as compared with 13.56 MHz nitrogen influenced on electronic properties of the films at lower nitrogen concentrations in gas mixture used. Dependence of electronic parameters of the films studied on nitrogen content $X = [N]/[Si]$ in gas mixture was observed. Infrared spectroscopy showed that hydrogen was mostly bonded to silicon atoms. Nitrogen at $X < 8$ revealed itself as dopant, while at $X > 8$ it formed wide-band-gap α -SiN_x:H alloy.