

кристаллической решётки р-слоя 3 её температура понижается и соответственно снижается температура ППСЭ. Величина поглощаемой тепловой энергии определяется зависимостью

$$Q = \Pi I t, \quad (5)$$

где  $\Pi$  – коэффициент Пельтье;  $I = I_a \cdot S$  – ток, протекающий в р-слое широкозонного полупроводника сечением  $S$ ;  $t$  – время протекания тока. Поскольку для р- из n перехода из невыраженных полупроводников

$$\Pi = A * \frac{kT}{e} \ln \frac{n_n}{n_p}, \quad (6)$$

где  $A$  – коэффициент, учитывающий соотношение энергий электронов в р- и n- областях;  $n_n$  и  $n_p$  – концентрация собственных электронов в n- и р- слоях р-n перехода, причём соотношение  $\ln(n_n/n_p) \geq 6$ , то температура ППСЭ понижается до отрицательных значений, обеспечивая резкое снижение концентрации собственных носителей заряда в i-слое широкозонного полупроводника, увеличение диффузионной длины носителей заряда и соответственно резкое повышение концентрации фотоносителей  $\Delta n$  и  $\Delta p$ , то есть величину фототока  $I_f$ .

Величина фото ЭДС определяется суммарной высотой потенциальных барьеров первого р+и слоя и второго i-n переходов и составляет  $\Delta U \approx (0,8 - 1,0)$  В.

Создано экспериментальное устройство – полупроводниковый преобразователь солнечной энергии, который может использоваться как элемент-модуль солнечной электростанции. Устройство выполнено структурой р+–iSi резкий

УДК 621.382.002

## ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНОК ОКСИНИТРИДА КРЕМНИЯ РЕАКТИВНЫМ ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ КВАРЦА

Телеш Е.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь*

Пленки оксинитрида кремния широко применяются в микроэлектронике и оптике благодаря сочетанию свойств  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Si}_3\text{N}_4$  [1, 2]. Обычно их получают осаждением из смесей газов или распылением кремния ионами аргона, кислорода и азота. В последнем случае необходимо точно поддерживать соотношение активных газов. Для упрощения процесса было предложено распылять мишень из кварца ионами аргона и азота. Покрываются на подложках кремния, арсенид галлия и стекла ионно-лучевым распылением кварцевой мишени ионами аргона и азота.

Проведено исследование зависимости скорости нанесения  $V_n$  от мощности плазменного разряда  $P$ , степени компенсации заряда на мишени и состава рабочего газа (рисунок 1). Остаточный

переход i-nSi плавный переход и n-pSi резкий переход с омическими контактами из светопротводящего прозрачного окисла олова.

Экспериментальный полупроводниковый преобразователь солнечной энергии размером полезной площади 48 x 48 мм при интенсивности солнечного излучения  $P_{\Sigma} = 65$  мВт/см<sup>2</sup> позволяет получать  $I = 0,32$  А, рабочее напряжение 0,8 В, полезную выходную мощность  $P_{\text{вых}} \approx 0,256$  Вт. Рабочая температура  $T_p \approx -2$  °С, расчётная надёжность безотказной работы ППСЭ составляет 105 часов. Для аналогов эквивалентных размеров эти параметры составляют:  $I \approx 0,11$  А;  $P_{\text{вых}} \approx 0,15$  Вт;  $T_p \approx 25$  °С и надёжность работы не выше  $2 \cdot 10^4$  часов.

На базе предлагаемого ППСЭ при использовании матрицы элементов может быть создана солнечная батарея электрической энергии больших мощностей, используемая как автономный источник электроэнергии в стационарных, подвижных и космических объектах.

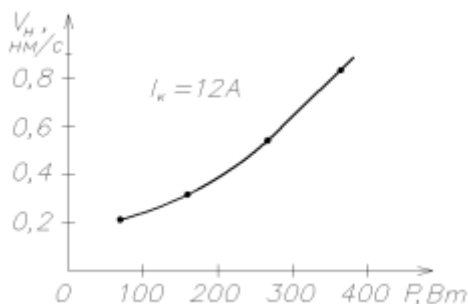
1. Афанасьев, В.П. Приемники излучения на основе аморфного гидрогенизированного кремния / В.П. Афанасьев, В.А. Васильев // Известия С. – Петербургского электротехнического университета. – 1994, №471. -с.46-68.
2. Мирсагатов, Ш.А. Фотоприемники с управляемым спектром фоточувствительности / Ш.А. Мирсагатов, Б.И. Айтбаев, В.М. Рубинов // Физика и техника полупроводников. -1996. 30.№3. –с.-550-557.

вакуум в камере не превышал  $2 \cdot 10^{-5}$  мм рт.ст. Рабочий вакуум в процессе нанесения составлял от  $3,3 \cdot 10^{-4}$  до  $6,3 \cdot 10^{-4}$  мм рт.ст. Содержание азота при этом составляло около 25%.

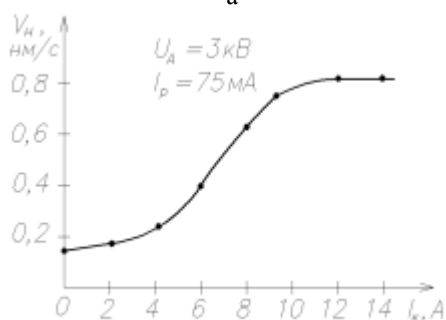
Увеличение  $P$  приводит к росту  $V_n$ . При эффективной компенсации заряда на мишени также наблюдается увеличение  $V_n$ .

На рисунке 2 приведена зависимость скорости нанесения и травления в травителе  $\text{NH}_4\text{F}:\text{H}_2\text{O}:\text{HF}+150:300:60$  процентного содержания азота в рабочем газе. Установлено, что увеличение доли азота в рабочем газе снижает  $V_n$ , что связано с меньшим коэффициентом распыления кварца ионами азота по сравнению с аргоном. В то же время снижение  $V_n$  способствует повышению плотности пленок, что выражается в уменьшении их скорости травления. Реализуе-

мый диапазон скоростей напыления плёнок является приемлемым для технологических процессов формирования диэлектрических слоев токопроводящих систем.



а



б

Рисунок 1 – Зависимость скорости нанесения покрытий от мощности разряда (а) и тока компенсатора (б)

Для измерения электрофизических параметров формировали тестовые структуры никель/SiON/кремний. Диэлектрические слои наносились при температуре около 100°C. Исследовалось влияние состава рабочего газа и тока компенсатора  $I_k$  на параметры покрытий.

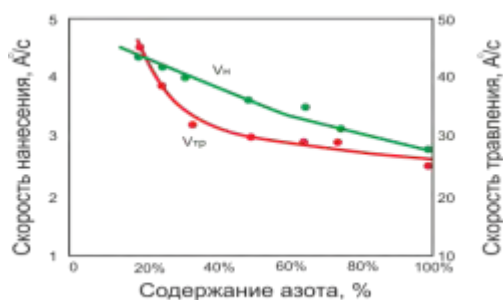


Рисунок 2 – Зависимость скорости нанесения покрытий и травления от содержания азота

Добавка азота к аргону привела к снижению диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , хотя нитрид кремния имеет большее значение  $\epsilon$ , чем SiO<sub>2</sub>. Влияние состава рабочего газа на тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  неоднозначно. Ми-

нимальное значение  $\text{tg}\delta$  плёно SiON достигается при 30–50% содержания азота. Рост  $I_k$  привел к увеличению  $E_{пр}$  с  $0,5 \cdot 10^6$  до  $2 \cdot 10^6$  В/см. В тоже время  $E_{пр}$  практически не зависела от состава рабочего газа.

С целью выяснения состава полученных покрытий проводились измерения ИК-спектров пропускания. Спектры пропускания плёнок SiON, полученных при различном содержании азота, приведены на рисунке 3. Спектры регистрировались двухлучевым спектрофотометром ИКС-29 в спектральной области 1400–400 см<sup>-1</sup> (7,14–25 мкм). Полученные пленки имели две характерные полосы поглощения: полосу около  $\nu_{as} = 1085$  см<sup>-1</sup>, соответствующую валентным антисимметричным колебаниям Si→←O←Si и полосу около  $\delta_{as} = 800$  см<sup>-1</sup>, соответствующую деформационным дважды вырожденным колебаниям Si – O – Si.

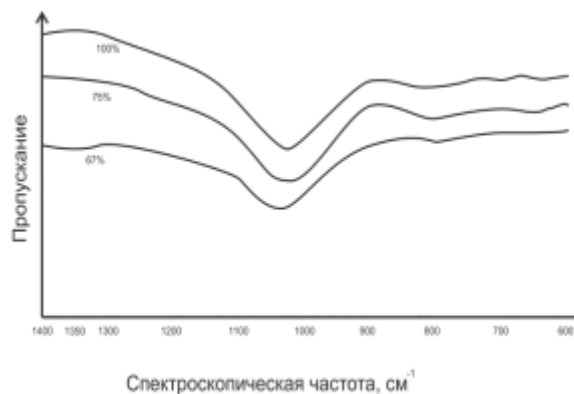
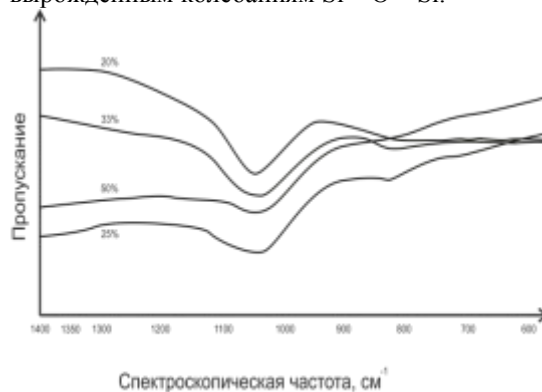


Рисунок 3 – Спектры ИК пропускания покрытий SiON

Положение максимума полосы  $\nu_{as} = 1085$  см<sup>-1</sup> практически не зависела от энергии распыляющих ионов, в то же время состав газа оказывает влияние на положение максимума. На рисунке 4 приведена зависимость положения максимума полосы  $\nu_{as} = 1085$  см<sup>-1</sup> от процентного состава азота в рабочем газе. Наиболее яркий максимум поглощения получен при 50% –ном содержании азота. Покрытия, полученные ионно-лучевым распылением не содержали OH-группы в коли-

честве, которое может быть определено методом ИК-спектроскопии. Это свидетельствует о высокой плотности пленок.

Качество диэлектрических плёнок во многом определяется адгезией его к подложке. Это имеет особое значение при использовании двухуровневых систем металлизации. В этом случае необходимо обеспечить также адгезию диэлектрических плёнок к металлу первого уровня.

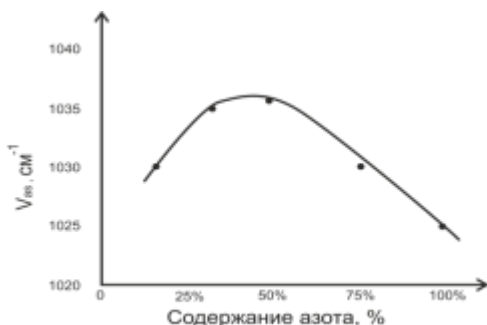


Рисунок 4 – Зависимость положения максимума полосы поглощения от процентного содержания азота

Метод ионно-лучевого распыления, как правило, обеспечивает отличную адгезию из-за более высокой энергии осаждаемых частиц по УДК 621.382.002

### ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАНЕСЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ ИЗ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Телеш Е.В., Титова В.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

Новый метод нанесения тонких пленок посредством генерации потока ионов пленкообразующих газов из пучкового фокуса является перспективным для различных покрытий [1]. Его суть заключается в том, при определенных условиях в ионном источнике на основе ускорителя с анодным слоем имеет место формирование зоны вторичного разряда. Зона этого разряда имеет форму слаборасходящегося пучка ионов [2].

Экспериментальные исследования проводили на модернизированной установке вакуумного напыления ВУ-1А. Внешний вид подколпачного устройства представлен на рисунке 1, а полученный ионный пучок на рисунке 2.

Проведено исследование влияния скорости нанесения  $V_n$  на структурно-фазовые, электрофизические и оптические характеристики покрытий из диоксида кремния, полученных осаждением из вторичного ионного пучка. В качестве рабочих газов использовались, смесь 5%SiH<sub>4</sub>+95%Ar и кислород. Покрытия наноси-

сравнению с термическим испарением, пиролизом и другими методами. Установлено, что диэлектрические плёнки, сформированные ионно-лучевым распылением, обладают адгезией, которая в 2–4 раза выше, чем у плёнок, полученных низкотемпературным окислением и электронно-лучевым испарением, т.е. подтверждается положение об энергетической зависимости величины адгезии. Об этом свидетельствуют также и зависимость адгезии покрытий, полученных ионно-лучевым распылением, от режимов напыления. Результаты измерений свидетельствуют, что наибольшей адгезией обладали плёнки, сформированные при больших ускоряющих напряжениях и токах компенсатора. Эти условия процесса способствуют увеличению энергии распыленных частиц.

1. Konofaos, N. Electrical characterization of the SiON/Si interface for applications on optical and MOS devices/ N.Konofaos, E/K/Evangelou// Semicond. Sci. Technol.–V.18. –2003.–P.56–59.
2. Pandey, R.K. Growth and characterization of SiON thin films by using thermal CVD machine / R.K.Pandey, L.S.Patil, J.P.Bange, D.R.Patil, A.M.Morajan, D.S.Patil,D.K.Cauntam //Optical materials.–V.25.–2004.–P.1–7

лись на неподвижную подложку. при температуре последней 50°C. Парциальное содержание кислорода составляло  $(2,5-3,2) \cdot 10^{-4}$  мм рт.ст., потенциал диафрагмы – 0.



Рисунок 1 – Внешний вид подколпачного устройства установки ВУ-1А

В видимом диапазоне коэффициент пропускания составлял 0,80 – 0,92 и зависел от  $V_n$ . На рисунке 3, а приведен спектр пропускания