

**Исследование процесса анизотропного
плазменного травления пассивирующих слоев $\text{Si}_3\text{N}_4\text{--SiO}_2$
в условиях низкой полимеризации**

А.А. Голишников, М.Г. Путря, А.А. Шабанов

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва, Россия*

shabanov.andr1@yandex.ru

Разработан процесс плазменного травления пассивирующей структуры $\text{Si}_3\text{N}_4\text{--SiO}_2$, обеспечивающий получение анизотропного профиля травления и отсутствие полимерной пленки на поверхности алюминиевых контактных площадок. Рассмотрено влияние различных операционных параметров, таких как расход газовой смеси и ВЧ-мощность, на технологические характеристики процесса плазменного травления диэлектрических слоев нитрида и оксида кремния. Установлена корреляция основных технологических характеристик этого процесса с операционными параметрами.

Ключевые слова: плазменное травление; диэлектрические слои; пассивация; анизотропия; полимеризация.

Для цитирования: Голишников А.А., Путря М.Г., Шабанов А.А. Исследование процесса анизотропного плазменного травления пассивирующих слоев $\text{Si}_3\text{N}_4\text{--SiO}_2$ в условиях низкой полимеризации // Изв. вузов. Электроника. – 2017. – Т.22. – №2. – С. 191–194. DOI: 10.24151/1561-5405-2017-22-2-191-194

Study on Anisotropic Plasma Etching Process of Passivation Si_3N_4 – SiO_2 Layers with Low Polymerization Level

A.A. Golishnikov, M.G. Putrya, A.A. Shabanov

National Research University of Electronic Technology, Russia, Moscow

shabanov.andr1@yandex.ru

The process of plasma etching of the passivation Si_3N_4 – SiO_2 structure, which provides to obtain the etching anisotropic profile, has been developed. The influence of various operation parameters, such as the gas mixture consumption and HP power on the technological characteristics of the plasma etching process of silicon nitride and oxide dielectric layers, has been considered. The correlation of the main technological characteristics of this process with the operation parameters has been determined.

Keywords: plasma etching; dielectric layers; passivation; anisotropy; polymerization.

For citation: Golishnikov A.A., Putrya M.G., Shabanov A.A. Study on Anisotropic Plasma Etching Process of Passivation Si_3N_4 – SiO_2 Layers with Low Polymerization Level // Proc. of universities. Electronics. – 2017. – Vol.22. – №2. – P. 191–194. DOI: 10.21415/1561-5405-2017-22-2-191-194

В современной микроэлектронике и микросистемной технике диэлектрические материалы, такие как нитрид и оксид кремния, нашли широкое применение при изготовлении полупроводниковых приборов и элементов МЭМС. В частности, они используются в качестве пассивирующих слоев, которые должны иметь высокую стойкость к влажным и агрессивным средам и сохранять стабильность свойств во времени. Применение системы Si_3N_4 – SiO_2 обусловлено тем, что пленки Si_3N_4 эффективно препятствуют миграции щелочных металлов и проникновению влаги, но менее значительно противодействуют движению электронов в отличие от пленок SiO_2 [1, 2]. Однако в процессе плазменного травления данной пассивирующей структуры при вскрытии контактных площадок могут возникать проблемы, связанные с боковым подтравом под фоторезистивную маску (ФРМ) (рис.1), подтравом слоев Si_3N_4 – SiO_2 относительно друг друга и полимеризацией на поверхности нижележащего слоя металлизации, приводящей к снижению коэффициента выхода годных ИС на сборочных операциях. Поскольку плазменное травление пассивирующих слоев – одна из заключительных технологических операций изготовления ИС и МЭМС, то брак особенно экономически ощутим и должен быть сведен к минимуму.

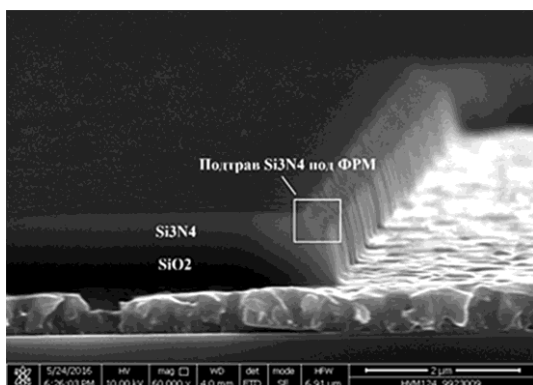


Рис.1. РЭМ-фотография профиля травления слоев пассивации с подтравом слоя Si_3N_4

ции полимеризации нижележащего слоя металлизации.

Очевидно, что для достижения требуемой анизотропии процесс плазменного травления пассивирующих слоев Si_3N_4 – SiO_2 необходимо проводить при низком давлении, с полимеризацией боковой поверхности структуры и высоких значениях ВЧ-напряжения смещения на століке-подложкодержателе с учетом плазмостойкости ФРМ. Для исключения или минимизации полимеризации нижележащего слоя металлизации требуется настроить процесс плазменного травления так, чтобы скорость процесса полимеризации горизонтальной поверхности, протекающего одновременно с процессом травления, была меньше, чем скорость последнего [3].

Опытными образцами служили кремниевые пластины диаметром 150 мм с осажденной многослойной структурой Si_3N_4 – SiO_2 –Al и сформированной ФРМ (марки S1813 G2 Sp15 фирмы Dow) толщиной 1,2 мкм, с линейными размерами контактных площадок ~ 150 мкм.

Профили и геометрические параметры протравленных диэлектрических структур исследовались с помощью сканирующего электронного микроскопа с ионным фокусирующим пучком Qunta 3D FEG фирмы FEI, а толщины диэлектрических слоев до и после плазменного травления измерялись на эллипсометре Auto SE фирмы Horiba Jobin Yvon.

Эксперименты проводились в реакторе индуктивно связанной плазмы, интегрированном в установку кластерного типа CPX фирмы SPTS, который обеспечивает высокую концентрацию травящих частиц и низкое рабочее давление, что позволяет достигать высоких значений анизотропии и скоростей травления различных функциональных слоев.

В последнее время для плазменного травления пассивирующих слоев используются различные галогеносодержащие многокомпонентные газовые смеси [4]. В настоящей работе в качестве рабочего плазмообразующего газа применялся тетрафторметан CF_4 , обеспечивающий требуемую анизотропию, высокую скорость травления и минимальную полимеризацию поверхности, исключая влияние на изменения контактных характеристик слоя металлизации после вскрытия слоев пассивации. Использование однокомпонентной газовой смеси CF_4 позволяет тщательно отслеживать параметры процесса при меньших зависимостях, что, в свою очередь, повышает эффективность при разработке и упрощает оптимизацию процесса плазменного травления диэлектрических слоев.

Эксперименты проводились при значениях ВЧ-мощности смещения на столике-подложкодержателе $W_{\text{см}} = 100...300$ Вт, расхода рабочего газа $Q_{\text{CF}_4} = 10...30$ см³/мин при постоянном рабочем давлении $P = 2$ мторр, ВЧ-мощности на индукторе $W_{\text{инд}} = 1000$ Вт и температуре столика-подложкодержателя $T = 25$ °С.

В ходе проведенных исследований установлена корреляция основных технологических характеристик процесса плазменного травления слоев пассивации с операционными параметрами. Выявлено, что при повышении ВЧ-мощности смещения на столике-подложкодержателе и расхода рабочего газа в указанных диапазонах скорость травления оксида кремния возрастает с 408 до 650 нм/мин, нитрида кремния – с 358 до 662 нм/мин, а ФРМ – с 296 до 708 нм/мин. Также показано, что при увеличении расхода рабочего газа и ВЧ-мощности селективность Si_3N_4 и SiO_2 к ФРМ монотонно падает с 1,21 до 0,88 и с 1,38 до 0,77 соответственно.

На основе анализа результатов исследований процесса травления пассивирующих слоев Si_3N_4 – SiO_2 проведена оптимизация его операционных параметров: $W_{\text{см}} = 300$ Вт, $Q_{\text{CF}_4} = 20$ см³/мин, $P = 2$ мторр, $W_{\text{инд}} = 1000$ Вт и $T = 25$ °С. Разработанный процесс обеспечивает следующие технологические характеристики:

Степень анизотропии	~ 0,98
Скорость травления Si_3N_4	0,66 мкм/мин
Скорость травления SiO_2	0,64 мкм/мин
Селективность SiO_2 к фоторезисту	1,2
Селективность Si_3N_4 к фоторезисту	1,1
Равномерность травления функциональных слоев	не менее 95 %

На рис.2 представлен полученный профиль плазменного травления диэлектрических слоев Si_3N_4 – SiO_2 .

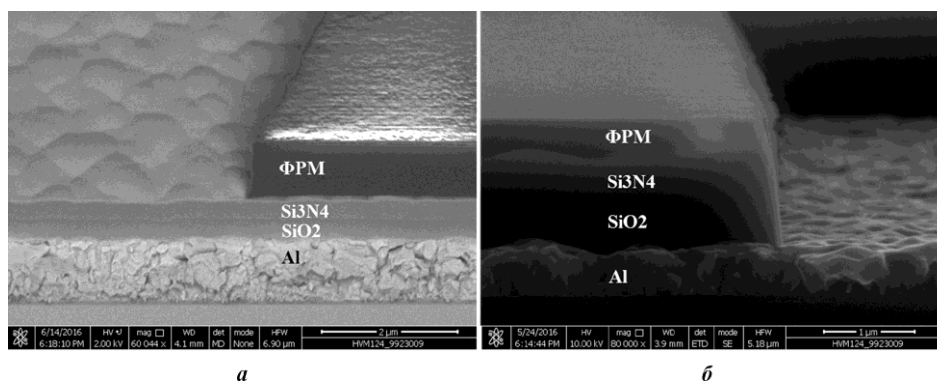


Рис.2. РЭМ-фотографии профилей травления слоев пассивации до (а) и после (б) травления

Разработанный процесс плазменного травления пассивирующей структуры $\text{Si}_3\text{N}_4\text{--SiO}_2$ обеспечивает получение анизотропного профиля травления и отсутствие полимерной пленки.

Литература

1. Киреев В.Ю. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография – процессы и оборудование: учебно-справ. рук. – Долгопрудный: Интеллект, 2016. – 320 с.
2. Исследование влияния структуры плазмохимического нитрида кремния на маскирующие свойства / В.И. Гармаш, В.И. Егоркин, В.Е. Земляков и др. // Изв. вузов. Электроника. – 2014. – № 5. – С. 33–38.
3. Исследование процесса плазменного травления полиимидных материалов / С.П. Тимошенков, М.Г. Путря, Д.В. Вертянов и др. // Современные информационные и электронные технологии. – 2014. – Т. 2. – № 15. – С. 123–124.
4. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: в 2 ч. Ч. 2: Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М.А. Королев, Т.Ю. Крупкина, М.Г. Путря и др.; под общ. ред. Ю.А. Чаплыгина. – 3-е изд. – М.: БИНОМ; Лаборатория знаний, 2015. – 425 с.

Поступило 23.11.2016 г.; принято к публикации 24.01.2017 г.

Голишников Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры интегральной электроники и микросистем (ИЭМС) МИЭТ (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д.1), A.Golishnikov@tcen.ru.

Путря Михаил Георгиевич – доктор технических наук, профессор кафедры ИЭМС, декан факультета электроники и компьютерных технологий МИЭТ (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д.1), pmg@miee.ru.

Шабанов Андрей Александрович – аспирант кафедры ИЭМС МИЭТ (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д.1), shabanov.andr1@yandex.ru.

References

1. Kireev V.Yu. *Nanotekhnologii v mikroelektronike. Nanolitografiya - protsessy i oborudovanie: uchebno-sprav. ruk.* [Nanotechnologies in microelectronic. Nanolithography - processes and equipment]. Dolgoprudnyj, Intellekt, 2016, 320 p. (In Russian).
2. Garmash V.I., Egorkin V.I., Zemlyakov V.E., et al. Issledovanie vliyaniya struktury plazmokhimicheskogo nitrida kremniya na maskiruyushhie svoystva [Study on Influence of Plasma-Chemical Silicon Nitride on Masking Properties]. *Izv. vuzov. Elektronika – Proceedings of universities. Electronics*, 2014, no. 5(109), pp. 33–38. (In Russian).
3. Timoshenkov S.P., Putrya M.G., Vertyanov D.V., et al. Issledovanie protsessa plazmennogo travleniya poliimidnykh materialov [Plasma etch process of polyimide materials]. *Sovremennye informatsionnye i ehlektronnye tekhnologii – Modern information and electronic technologies*, 2014, vol. 2, no15, pp. 123–124. (In Russian).
4. Korolev M.A., Krupkina T.Yu., Putrya M.G., et al. *Tekhnologiya, konstruktzii i metody modelirovaniya kremnievykh integral'nykh mikroskhem: v 2 ch. Ch. 2: EHle-menty i marshruty izgotovleniya kremnievykh IS i metody ikh matematicheskogo modelirovaniya* [Technology, constructions and methods of silicon integrated circuits modeling: Part 2: Elements and manufacturing silicon IC routes and methods of mathematical modeling]. Pod obshh. red. Yu.A. Chaplygina, 3-e izd., Moscow, BINOM; Laboratoriya znaniy, 2015, 425 p. (In Russian).

Submitted 23.11.2016; accepted 24.01.2017