

УДК 621.3.049.772

**ПЛЕНКИ НИТРИДА КРЕМНИЯ,  
ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ PECVD,  
В ПРОИЗВОДСТВЕ МЭМС**

Д. т. н. Л. П. Ануфриев, к. т. н. Н. С. Ковальчук, к. т. н. И. И. Рубцевич

ОАО «ИНТЕГРАЛ»  
Республика Беларусь, г. Минск  
7033696@mail.ru

*Пленки нитрида кремния, полученные методом химического осаждения из газовой фазы с плазменной активацией процесса (PECVD), используются в качестве пассивирующего слоя при изготовлении кристаллов датчиков класса МЭМС. Проведены исследования влияния технологических режимов формирования на величину остаточных напряжений в пленках нитрида кремния, полученных PECVD-методом. Получен оптимальный режим нанесения пленки как элемента мембраны МЭМС.*

*Ключевые слова: нитрид кремния, остаточные напряжения*

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) — это множество микроустройств самых разнообразных конструкций и назначения, производимых сходными методами с использованием модифицированных групповых технологических приемов микроэлектроники. Объединяет их два признака. Первый — это размер, второй — наличие движущихся частей и предназначение к механическим действиям. В мире они известны под аббревиатурой MEMS — MicroElectroMechanical Systems [1].

Основным материалом для изготовления кристаллов МЭМС является кремний, что связано с его хорошими механическими свойствами и отработанной технологией структурирования, разработанной для создания современных интегральных схем и изделий микроэлектроники. Все это позволяет производить МЭМС по существующим технологиям микроэлектроники.

Мембраны кристаллов высокотемпературных датчиков, как правило, состоят из слоев, которые по структуре и составу, механическим, электрическим и теплофизическим свойствам способны обеспечить их работу в условиях повышенной температуры. Технология изготовления мембранных устройств включает в себя базовые процессы микроэлектроники для получения материалов, композиций слоев и методы объемной поверхностной тонкой микромеханики [4]. Умение получать функциональные слои с заданными уровнями остаточных механических напряжений позволяет формировать многослойные мембраны с низкими остаточными напряжениями для широкой номенклатуры датчиков.

Пленки нитрида кремния в многослойной мембране МЭМС используются в качестве основы мембраны и в качестве пассивирующего покрытия. В качестве основного элемента мембраны служат пленки нитрида кремния, сформированные LPCVD-методом, а в качестве пассивирующего покрытия — полученные PECVD-методом. Важным преимуществом способа формирования пленки нитрида с плазменной активацией процесса (PECVD-метода) является то, что осаждение материала происходит при температурах, значительно меньших, чем в случае чисто термических реакций, для которых скорость осаждения более высокая. Для пленок нитрида кремния важен уровень остаточных напряжений, возникающих при их осаждении. Технология использования этих пленок в многослойных структурах мембран датчиков для защиты поверхности мембраны предъявляет высокие требования к механической прочности и адгезии пленки. Уровень остаточных напряжений в пленках нитрида кремния и диоксида кремния существенно зависит от условий получения пленок — состава газовой плазмы, общего давления в реакторе, параметров плазмы, температуры подложки. Вследствие этого рекомендации для выбора режима осаждения в конкретном процессе могут быть даны только на основании исследований, проводимых с целью установления основных зависимостей между режимами нанесения и характеристиками пленок. В ходе работы была исследована связь между параметрами процесса осаждения пленок нитрида кремния и диоксида кремния (скорости потока рабочих газов, давления, мощности ВЧ-генератора) и уровнем остаточных напряжений, скоростью осаждения. Под-

бор параметров процесса позволяет достичь заданного уровня остаточных напряжений в пленках нитрида кремния и диоксида кремния.

При получении пленок нитрида кремния PECVD-методом обычно используются исходные реагенты в виде силана и аммиака или азота. Реакция протекает следующим образом:



Величина отношения расхода газов  $\text{NH}_3/\text{SiH}_4$  влияет на то, с каким элементом – кремнием или азотом – оказывается преимущественно связан водород. Увеличение расхода  $\text{SiH}_4$  смещает распределение водорода в сторону связей Si – H. Увеличение расхода  $\text{NH}_3$  снижает скорость осаждения пленки и может повлечь ухудшение равномерности ее толщины на пластинах из-за недостатка силана.

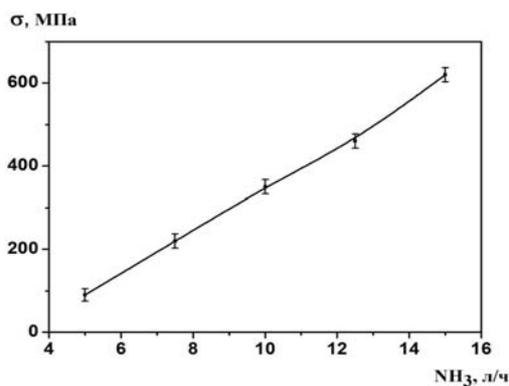


Рис. 1. Зависимость уровня остаточных напряжений в пленке нитрида кремния, полученной PECVD-методом, от объемного расхода аммиака

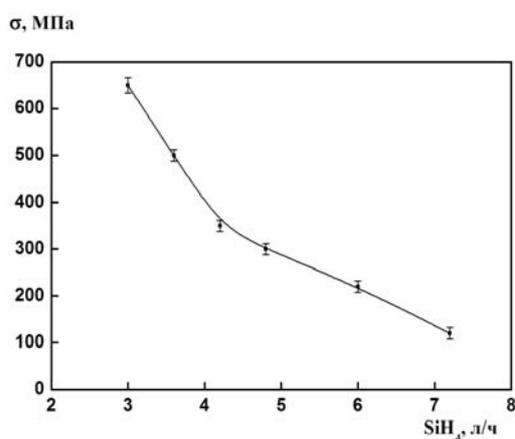


Рис. 2. Зависимость уровня остаточных напряжений в пленке нитрида кремния от объемного расхода силана

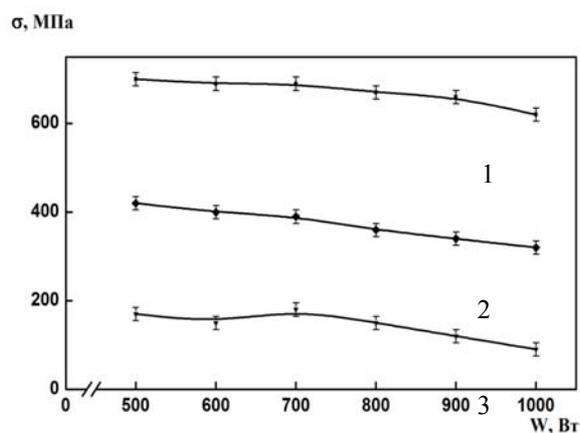


Рис. 3. Зависимость внутренних остаточных напряжений в пленке нитрида кремния от мощности ВЧ-генератора при различных соотношениях расхода газов  $\text{SiH}_4/\text{NH}_3/\text{N}_2$ : 1 – 3,0/15/100; 2 – 4,8/15/100; 3 – 7,2/15/100

Несмотря на то, что пленки  $\text{SiN}_x$ , полученные PECVD-методом, более проницаемы для  $\text{Na}^+$  и других примесей, чем пленки  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , полученные методом LPCVD, они широко применяются в качестве пассивирующих слоев. Как видно из рис. 1, с увеличением объемного расхода аммиака уровень остаточных напряжений увеличивается. Одной из причин является увеличение содержания азота в сформированной пленке. Это является следствием того, что существует обратная зависимость между объемным расходом  $\text{SiH}_4$  и  $\text{NH}_3$  и скоростью осаждения, так же как и уровнем остаточных напряжений. В этом случае снизится скорость формирования пленки. Увеличение скорости потока  $\text{NH}_3$  приводит к увеличению содержания азота в полученной пленке и, как следствие, увеличит неоднородность материала. Это приводит к увеличению уровня остаточных напряжений в материале.

При исследовании влияния скорости потока газа SiH<sub>4</sub>, скорости потоков NH<sub>3</sub> и N<sub>2</sub> поддерживались постоянными (15 и 100 л/ч соответственно), в то время как объемный расход SiH<sub>4</sub> изменялся в пределах от 3,0 до 7,2 л/ч. При увеличении объемного расхода силана уровень остаточных напряжений уменьшается. Причиной снижения остаточных напряжений является появление избытка кремния в пленке нитрида кремния с увеличением объемного расхода силана. Рис. 2 отображает зависимость уровня остаточных напряжений от объемного расхода силана.

Поскольку все реагенты находятся в газообразной фазе, давление является важным фактором. В этом эксперименте давление варьировалось от 60 до 120 Па, в то время как объемные расходы газов были постоянными SiH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub>/N<sub>2</sub> = 3,0/15/100 (л/ч), а мощность ВЧ-генератора составляла 800 Вт. Увеличение давления в реакционной камере приводит к увеличению процентного содержания азота в сформированном слое, и, как следствие, к увеличению остаточных напряжений в пленке нитрида кремния. На рис. 3 представлена зависимость уровня остаточных напряжений от ВЧ-мощности при различном соотношении расхода газов. Анализировались следующие условия осаждения: SiH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub>/N<sub>2</sub> = 3/15/100 (л/ч); SiH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub>/N<sub>2</sub> = 4,8/15/100 (л/ч); SiH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub>/N<sub>2</sub> = 7,2/15/100 (л/ч), мощность генератора на высоких частотах (400 кГц) варьировалась от 500 до 1000 Вт. При увеличении ВЧ-мощности уменьшаются остаточные напряжения в пленке нитрида кремния [2].

Был определен оптимальный режим нанесения в качестве пассивационного слоя изделий класса МЭМС пленок нитрида кремния PECVD-методом: соотношение объемного расхода рабочих газов SiH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub>/N<sub>2</sub> = 7,2/15/100 (л/ч) при мощности ВЧ-генератора 1000 Вт. При этом уровень остаточных напряжений в слое будет находиться в пределах 90 ... 100 МПа, что совместимо с другими используемыми в многослойной мембране слоями.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Zhang Q. X., Yu A. B., Yang R. Integration of RF MEMS and CMOS IC on a printed circuit board for a compact RF system application based on wafer transfer // IEEE Transactions on Electron Devices.– 2008.– Vol. 55, № 9.– P. 2484–2491.

2. Рубцевич И. И., Соловьев Я. А., Высоцкий В. Б. и др. Исследования свойств нитрида и оксида кремния, полученных методом плазмохимического осаждения на кремниевую подложку // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2011.– № 4.– С. 29–32.

---

L.P. Anufriev, N.S. Kovalchuk, I. I. Rubtsevich

#### **Silicon nitride films obtained by PECVD in the production of MEMS.**

Silicon nitride films produced by plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) are used as a passivation layer in the manufacture of crystals for MEMS sensors. The effect of process conditions of the formation on the residual stress in the silicon nitride films obtained by PECVD-method has been investigated. The optimal mode of application of the film as a part of the membrane MEMS has been obtained.

Keywords: *silicon nitride, residual stresses.*