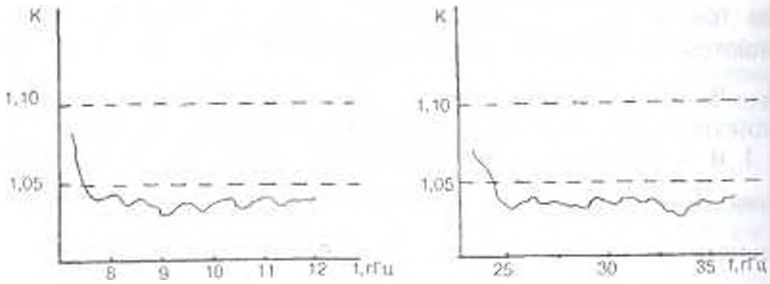

Рис. 3. Зависимость К от частоты

Волноводная нагрузка предложенной конструкции практически не вносит изменений в габаритные размеры приборов и волноводных трактов, а КСВН ничуть не хуже, чем у серийно выпускаемых. На рис.3 приведены графики зависимостей КСВН для различных диапазонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Клич С.М.** Проектирование СВЧ устройств радиолокационных приемников. - М.: Советское радио, 1973. - 320 с.
2. **А.с.** 344539 СССР, H01, 1/26. Волноводная нагрузка. Опубл. 19.02.72. Бюл. № 21.
3. **Лебедев М.В.** Техника и приборы СВЧ. - М.: Высшая школа, 1970. - Т.1. - 374 с.

ГИУА

24.03.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 2, 1998, с. 248-251

УДК 621.382.333

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г.Е. АЙВАЗЯН, Г.А. МАКАРЯН, А.А. ЧОМОЯН, А.Р. АКОПЯН

ПАССИВАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ХЛОРСОДЕРЖАЩИМ ОКИСЛОМ

Տույց է տրված արեգակնային տարրերի էլեկտրական բնութագրերի լավացման հնարավորությունը նրանց մակերևույթը նոր պատրաստվող օքսիդով պասիվացնելու դեպքում

Показана возможность улучшения электрических характеристик солнечных элементов путем пассивации их поверхности тонким хлорсодержащим окислом.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.

The possibility of electric characteristics improvement of silicon solar cells by surface passivation with thin chlorine containing oxides is demonstrated.

Fig. 1. Table 1. Ref. 6.

Известно, что пассивирующая пленка на поверхности солнечных элементов (СЭ) уменьшает эффективную скорость поверхностей рекомбинации, улучшая их фотоэлектрические характеристики. Получение тонких (толщиной 30 *нм*) пассивирующих пленок осуществляется как правило термическим окислением кремниевых пластин в атмосфере сухого кислорода [1, 2].

В настоящее время в полупроводниковой технологии широкое распространение получил способ термического окисления при наличии в окисляющей смеси малых добавок хлорсодержащих газов [3]. Это обусловлено улучшением электрических свойств оксидных пленок за счет образования электрически неактивных комплексов хлора с щелочными металлами (пассивирующий эффект) [4] или возможностью оказывать сильное воздействие на объемные свойства кремния за счет образования летучих хлорсодержащих соединений металлических примесей (геттерирующий эффект) [5].

Показана возможность улучшения характеристик СЭ путем пассивации их поверхности хлорсодержащим окислом. Исходными образцами служили полированные пластины монокристаллического кремния с удельным сопротивлением 3 *Ом·см*. Кремний ориентацией (111) был выращен методом Чохральского (легирующая добавка – фосфор). Создание P^+-N перехода осуществляли диффузией бора из жидкого источника BBr_3 при температуре 900 °С в течение 30 *мин* (продолжительность подачи диффузанта – 4 *мин*). После удаления в плавиковой кислоте (HF) образовавшегося боросиликатного стекла пластины термически окисляли как в атмосфере сухого кислорода, так и в смеси сухого кислорода и азота, содержащей соляную кислоту (HCl). Содержание HCl в окисляющей смеси варьировали в интервале 2...13%. Температура окисления составляла 850 °С, продолжительность – 40 *мин*. В результате получили "чистый" и "хлорсодержащий" окисел толщиной 18...21 *нм*. Конечная глубина залегания P^+-N перехода составляла 0,8...0,9 *мкм*.

Токосъемочные контакты СЭ создавали методами фотолитографии и электрохимического никелирования с последующим обслуживанием в расплаве оловянно-свинцового припоя. Просветляющее покрытие, являющееся одновременно защитным слоем на поверхности СЭ, не наносили. Изменение параметров СЭ осуществляли стандартными фотовольтаическими методами в условиях AM1,5 при мощности освещения 100 *мВт/см*^{2}.

Для оценки плотности поверхностных состояний на границе раздела Si-SiO_2 на основе окисленных пластин были изготовлены тестовые МОП-конденсаторы. Затвор конденсаторов создавали напылением алюминия на пластину с последующей фотолитографией. Площадь затвора составляла 1 *мм*^{2}. Плотность поверхностных состояний измеряли методом вольт-фарадных измерений.

Как видно из зависимости изменения плотности поверхностных состояний N_{ss} (в нормированных единицах) на границе раздела Si-SiO_2 от процентного содержания HCl в окисляющей смеси (рис.), существует порог содержания HCl (~ 4%), ниже которого влияние хлора незаметно. Начиная с этого значения, с увеличением концентрации HCl плотность поверхностных состояний монотонно уменьшается. С другой стороны, необходимо отметить, что наличие

слишком высоких концентраций HCl (> 10%) может привести к образованию сильной шероховатости на поверхности пластин. Наблюдаемое уменьшение N_{ss} объясняется захватом и нейтрализацией подвижных ионов натрия вблизи границы раздела $Si-SiO_2$ [3].

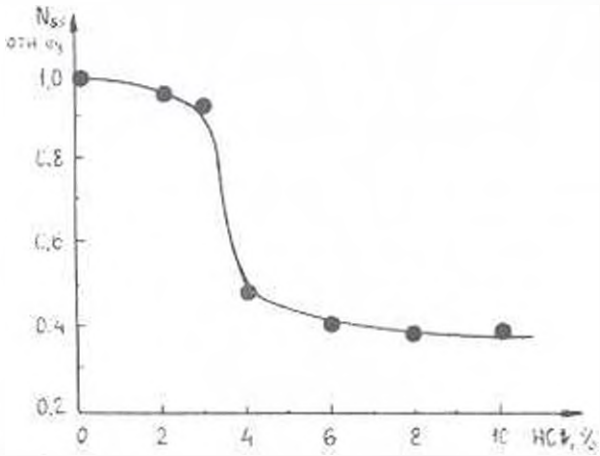

Рис. Изменение плотности поверхностных состояний (в нормированных единицах) на границе раздела $Si-SiO_2$ в зависимости от процентного содержания HCl в окисляющей смеси

Представлены электрические характеристики нескольких типичных СЭ с пассивирующим окислом, выращенным в различных условиях (табл.). Приведены следующие обозначения: U_{xx} - напряжение холостого хода; $I_{кз}$ - плотность тока короткого замыкания; F - коэффициент заполнения ВАХ; μ - коэффициент полезного действия

Таблица

Электрические характеристики солнечных элементов

Условия получения окисла	Uxx, *мВ*	$I^*_{кз}$, *мА/см²*	F	μ^*, %
1. Сухой кислород	596	28,5	0,71	12,1
2. 3% HCl	592	28,0	0,72	11,9
3. 6% HCl	612	30,1	0,72	13,3
4. 8% HCl	615	29,9	0,72	13,4

* - параметр относится к активной поверхности СЭ

Как видно из таблицы, лучшие электрические характеристики имеют СЭ с пассивирующим хлорсодержащим окислом, выращенным в 6- и 8-% HCl. Особенно заметно повышение U_{xx}. Напряжение холостого хода СЭ определяется выражением

$$U_{xx} = (kT/q)\ln(1 - I_{xx}/I_{кз}), \qquad (1)$$

где k - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура; q - заряд электрона; I_0 - плотность тока насыщения.

Снижение N_{SS} при использовании хлорсодержащего окисла приводит к уменьшению скорости поверхностной рекомбинации S_1 в соответствии с выражением $S_1 = \varepsilon V_H N_{SS}$, где ε - сечение захвата; V_H - скорость носителей заряда.

С уменьшением S_1 снижается I_0 [6], в результате чего, как следует из (1), U_{XX} логарифмически возрастает. С уменьшением S_1 следует также ожидать увеличение кратковолновой спектральной чувствительности СЭ [6].

В заключение отметим, что после удаления в HF пленки окисла U_{XX} уменьшается и составляет ~ 580 *мВ* независимо от предыстории окисления. Этот результат свидетельствует о том, что в данном случае геттерирующий эффект хлора не существенен, а улучшение характеристик СЭ однозначно связано с пассивирующим эффектом хлорсодержащего окисла.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Elgamel H.E., Barnett A.M., Rohagi A.** Efficient combination of surface and bulk passivation schemes of high-efficiency multicrystalline silicon solar cells // J. Appl. Phys. - 1995. - V. 78, № 5. - P. 3457 - 3461.
2. **Pogg A., Susi E.** Effect of passivating oxides on the surface recombination velocity in silicon // Phys. Stat. Sol (a). - 1989. - V.113. - K 61 - 66.
3. МОП-СБИС. Моделирование элементов и технологических процессов / Под ред. **П. Антонетти**. Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1988. - 496 с.
4. **Sofield C.J.** Oxidation of silicon: The VLSI gate dielectric // Semicond. Sci. and Technol. - 1995. - V. 10, № 3. - P. 215-219.
5. **Айвазян Г.Е., Бабаян Г.С., Бахшецян А.Г.** Влияние термообработок на образование окислительных дефектов упаковки в кремнии // Изв. АН Армении. Сер. ТН. - 1991. - Т. XLIV, № 5-6.-С. 211-216.
6. **Зи С.** Физика полупроводниковых приборов: Кн. 2. Пер. с англ. - М.: Мир, 1984. - 456 с.

НПП "Транзистор"

13.02.1997