

УПРАВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫМИ СОСТОЯНИЯМИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ПАССИВАЦИЕЙ АМОРФНЫМ ГИДРОГЕНИЗИРОВАННЫМ КРЕМНИЕМ СОБСТВЕННОЙ ПРОВОДИМОСТИ

по приоритету «Энергетика и машиностроение»

по теме № AP05133645 «Управление поверхностными состояниями кристаллического кремния пассивацией аморфным гидрогенизированным кремнием собственной проводимости», руководитель PhD Токмолдин Н.С.

Цель проекта: формирование теоретических знаний и экспериментальных и технических навыков в области текстурирования и пассивации поверхности монокристаллических кремниевых пластин для высокоэффективных кремниевых солнечных элементов

Новизна проекта: текстурирование монокристаллических кремниевых пластин и последующая пассивация их аморфным кремнием собственной проводимости позволяют управлять ключевыми характеристиками, включая время жизни неравновесных носителей и отражательная способность поверхности

Возможность практического применения: Результаты исследования будут использованы при изготовлении промышленных образцов гетеропереходных кремниевых солнечных элементов

Описание проблемы, на решение которой направлен проект: Управление поверхностными состояниями монокристаллического кремния позволяет решить задачу повышения КПД солнечных элементов до значений, превышающих 20%

Технология формирования гетероперехода аморфный кремний-кристаллический кремний основана на плазмохимическом осаждении тонких пленок аморфного гидрогенизированного кремния (a-Si:H) на поверхность монокристаллической кремниевой пластины (c-Si). Данная комбинация позволяет получать солнечные элементы с рекордным значением коэффициента полезного действия (КПД), превышающим 26%.

Монокристаллическая кремниевая пластина является основным составляющим солнечных фотоэлементов. При создании полупроводникового перехода необходимо обеспечить качественную пассивацию поверхности пластины с целью уменьшения поверхностной рекомбинации носителей заряда.

Высокие значения времени жизни (порядка нескольких тысяч микросекунд) и возможность наносить контакты непосредственно поверх проводящего оксида, не допуская контакта металла и эмиттера, исключают рекомбинационные потери на границе металла и легированного аморфного кремния и позволяют достичь высоких показателей напряжения холостого хода (U_{xx}). Однако, так как время жизни носителей заряда в аморфных плёнках во много раз меньше, чем кристаллическом кремнии, то это оказывает негативное влияние на проводимость структуры. Так как видимый свет поглощается в кристаллической пластине, то негативное влияние ощутимо

лишь с фронтальной стороны ФЭП, оно выражается падением тока короткого замыкания ($I_{кз}$).

Последовательность осаждения слоёв аморфного кремния на поверхность кремниевой подложки проводилось методом плазмохимического осаждения из газовой фазы (PECVD) в следующей последовательности:

- включение и прогрев установки;
- удаление слоя оксида кремния с поверхности кремниевой пластины, образование на поверхности Si-H связей;
- промывка кремниевых пластин в ДИ воде;
- установка пластины на держатель загрузочной камеры установки;
- откачка вакуума;
- запуск рецепта;
- перемещение пластины в рабочую камеру;
- прогрев;
- нанесение буферного (рабочие газы: SiH_4 , CH_4 , H_2 ; рабочая температура: 250°C) и собственного (нелегированного) слоя (рабочие газы: SiH_4 , H_2 ; рабочая температура: 250°C) с фронтальной стороны в первой камере;
- перемещение образца в загрузочную камеру;
- напуск воздуха;
- перевертывание кремниевой пластины;
- повторение пунктов с 5 по 9;
- перемещение образца в загрузочную камеру;
- напуск воздуха;
- выгрузка полученного образца.

Отработка процесса производится индивидуально для каждого вида оборудования и внешних условий среды. Мы используем линию АК 1000. Линия АК 1000 состоит из установки по плазмохимическому осаждению из газовой фазы (PECVD) и установки по вакуумному напылению (PVD). Настоящая линия предназначена для напыления слоев серебра и оксида индия-олова (ИТО) с помощью установки PVD и для осаждения слоев кремния с помощью установки PECVD.

В результате отработки технологии были изготовлены образцы с различными характеристиками.

Для выращивания аморфных плёнок с достаточно точными значениями толщины, производилась настройка рецепта роста. Для этого на стекле выращивали плёнки различной толщины, а затем производили измерение толщины выращенных плёнок. Далее рассчитывали скорость роста плёнки при заданных параметрах: потока газов, давления в камере, частоты высокочастотного генератора. Затем в рецепте задавалась высчитанная скорость роста той или иной плёнки при указанных параметрах. Таким образом можно утверждать, что, следуя настроенным рецептам, можно вырастить аморфную плёнку нужной, указанной в рецепте толщины.

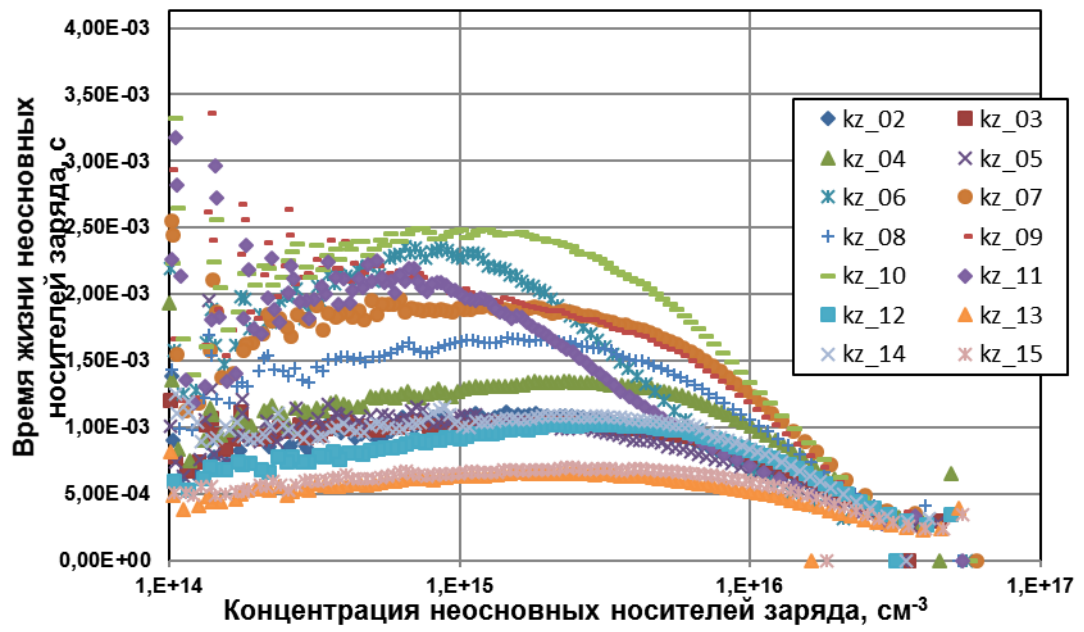
Методом PECVD на монокристаллической коммерческой подложки кремния с обеих сторон были выращены плёнки аморфного кремния

толщиной 7, 30 и 50 нм. Затем, бесконтактным методом Синтона на этих структурах было измерено время жизни неосновных носителей заряда, что подтвердило качественную зависимость результатов работы. Далее образцы были исследованы методом фотолюминесценции при комнатной температуре. С помощью данного метода удалось получить зависимость концентрации неравновесных носителей заряда от интенсивности излучения фотолюминесценции. Данные зависимости показали, что на образцах с меньшей толщиной аморфного кремния интенсивность меньше, нежели в образцах с большей толщиной аморфного слоя. Данные результаты хорошо согласуются с предыдущими.

Одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность фотоэлемента структуры НГТ, является пассивация поверхностных состояний на пластине кристаллической подложки. Для исследования влияния пассивации кристаллического кремния плёнкой аморфного кремния методом PECVD на монокристаллической коммерческой подложке кремния с обеих сторон были выращены плёнки аморфного кремния толщиной 7, 30 и 50 нм. Затем на изготовленных образцах для определения значений времени жизни неосновных носителей заряда использовался бесконтактный метод измерения Синтона. Чем лучше пассивация поверхности кремниевой подложки, тем меньше рекомбинационных центров и ловушек, что ведёт к более большим значениям времени жизни неосновных носителей заряда в структуре.

Оказалось чем больше толщина нанесённой на кристаллическую подложку аморфной плёнки, тем больше значение времени жизни неосновных носителей заряда. Результаты исследования подтвердили качественную зависимость результатов работы других авторов.

На рисунке показана зависимость времени жизни ННЗ от их концентрации при освещении светом, во время измерения. Очевидно, что наилучшее значение времени жизни показывают функционалы, соответствующие большей толщине аморфного пассивирующего слоя, равной 50 нм.



Зависимость времени жизни неосновных носителей заряда от их концентрации