

облегчает формирование переходных силицидных фаз, уменьшает сопротивление контакта и снижает температуру и длительность вжигания.

Литература

1. Шевяков В. И. Физико-технологические основы создания выпрямляющих и омических контактов в кремниевых полупроводниковых приборах и интегральных схемах (ИС) с использованием титана и его соединений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Москва, 1998.
2. В.В. Пищагин, М.В. Пашков, А.М. Коновалов К.Л. Енишерлова, А.В. Лютцау, С.В. Миллер, В.С. Куликаускис, «Исследование влияния ионной обработки в процессе электронно-лучевого напыления наноразмерных слоев металлов на гетероструктуры AlGaIn/GaN», 10 – ая Юбилейная международная специализированная конференция Вакуумная техника, материалы и технологии, 2015, стр. 128-136.
3. Новицкий С.В. Методологические аспекты удельного контактного сопротивления TLMметодом с линейной и радиальной геометрией контактов. Петербургский журнал электроники, март 2013, стр. 59.

PECVD установки поштучной обработки кремниевых пластин серии labhitiz для формирования гетеропереходов в структурах солнечных элементов HJT

*А.А. Ясюнас, Е.А. Хохлов, А.С. Мысливец, С.М. Насточкин, В.Я. Ширипов,
*С.Ю. Герасименко, *М.А. Региневич
Минск, ООО «Изовак», ул. Селицкого, 7 – 202, yasunas@izovac.com
Tempe AZ 85284, USA, Regher Solar LLC, 7700 South River Parkway

В работе представлена концепция построения вакуумного оборудования поштучной обработки кремниевых пластин для формирования гетеропереходов солнечных элементов. Показано как улучшение качества пассивирующих слоев и снижение дефектности текстурированной подложки, путем исключения любых механических взаимодействий с ее поверхностью и формированием гетероперехода в одном вакуумном цикле, увеличивают эффективность солнечного элемента.

PECVD processing machines of the HITiz series to form a heterojunction structures in solar cells (HJT). A.A. Yasunas, E.A. Khokhlov, A.S. Myslivets, S.M. Nastochkin, V.Ya. Shiripov, S.Yu. Herasimenka, M.A.Reginevich. The paper presents a concept of the vacuum equipment construction for processing of silicon wafers to form heterojunction solar cells. The ways to increase the solar cells efficiency are: to improve the quality of the passivation layers and to decrease defects in a textured substrate. This takes place due to elimination of any mechanical interaction with its surface and to formation of a heterojunction in the same vacuum cycle.

Введение

Разработка технологии пассивации поверхности монокристаллической кремниевой пластины является одной из основных задач решаемых для увеличения эффективности солнечных элементов. Шмидт и др. показали, что максимально достижимая эффективность кремниевого солнечного элемента без слоя гидрогенизированного аморфного кремния a-Si:H не может быть более 19,8% [1]. В настоящее время для пассивации поверхностей монокристаллических кремниевых пластин в производстве гетероструктурных солнечных элементов используется метод стимулированного плазмой осаждения из парогазовой фазы. Данный метод позволяет формировать слои гидрогенизированного аморфного кремния хорошо

пассивирующие поверхность кремниевой пластины [2,3]. Такие слои предотвращают химические реакции и устраняют интерфейсные состояния в области пространственного заряда солнечного элемента, повышая его технические характеристики и долговечность. Так как в производстве гетероструктурных кремниевых солнечных элементов требуется пассивация обеих поверхностей кремниевой пластины, то при загрузке/выгрузке пластин, при их транспортировке между технологическими операциями и перевороте пластины подвергается механическим воздействиям, которые вносят дефекты не устранимые, или устранимые не полностью в процессе пассивации[4]. При нахождении пластины на атмосфере на ее поверхности образуется естественный окисел, который так же снижает качество последующей пассивации. Для снижения влияния этих факторов необходимо свести к минимуму площадь пластины, которая контактирует с транспортной системой, внутрикамерной оснасткой и другими механическими деталями оборудования, а так же сократить промежуток времени пребывания пластины на атмосфере до ее пассивации.

Описание концепции

При разработке установки плазмохимического осаждения гетеропереходов солнечных элементов было необходимо:

- 1) Свести к минимуму или исключить контакт поверхностей кремниевой пластины с механическими элементами конструкции установки и транспортной системы до завершения нанесения пассивирующих слоев;
- 2) Нанести пассивирующие слои в одном вакуумном цикле;
- 3) Исключить влияние технологических зон обработки друг на друга в процессе осаждения.

Для решения этих задач была предложена концепция реактора представленная на рис. 1. Установка должна включать как минимум два технологических реактора: в первом осаждаются слои на верхнюю поверхность пластины, а во втором на нижнюю поверхность.

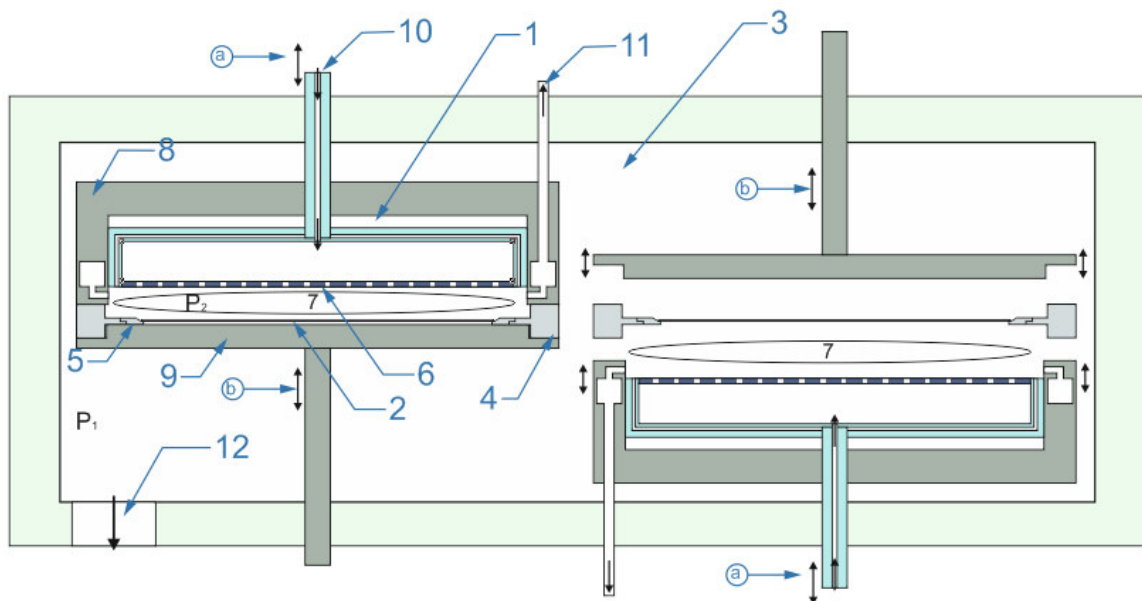


Рис. 1. Схема размещения технологических реакторов в вакуумном коридоре установки ПХО гетеропереходов.

*1 - технологический реактор; 2 - образец; 3 - вакуумный коридор; 4 - каретка;
5 - держатель; 6 –ВЧ электрод; 7 - зона обработки; 8 - запорный корпус; 9 - запорный электрод; 10 - канал подачи газа; 11 - канал откачки технологического реактора; 12 - канал откачки вакуумного коридора.*

Процесс ПХО (плазмохимического осаждения) пассивирующих слоев происходит в следующей последовательности: пластина загружается в шлюзовую камеру установки, откуда передается в вакуумный коридор, каретка перемещает держатель с образцом в реактор,

запорный корпус и запорный электрод прижимаются к держателю образца, запорный электрод приближается к образцу с минимальным зазором, но не касается его. Наличие зазора предотвращает механический контакт рабочей поверхности образца и частей устройства, тем самым, не допуская повреждения поверхности. Рабочий газ по каналу подачи газа поступает в реактор, давление в зоне обработки доводится до требуемого значения и на электрод подается ВЧ (13.56 МГц) напряжение. Активация рабочих вещества в процессе осаждения осуществляется плазмой емкостного разряда. По завершению процесса осаждения запорный корпус и запорный электрод перемещаются по вертикали в противоположные стороны освобождая держатель образца. Образец перемещается на следующую позицию обработки.

Настройка равномерности осаждения в реакторе осуществляется за счет управления расстоянием между электродом и образцом.

Наличие зазора между запорным электродом и образцом позволяет проводить технологический процесс, не воздействуя механически на поверхность пластины, атак как ширина этого зазора меньше расстояния, на котором может формироваться высокочастотный емкостной разряд при давлениях ниже 500 Па, и пленка осаждается только на лицевую поверхность пластины.

На рис. 2 представлена установка револьверного типа серии «LabHITIZ» с двумя реакторами, концепция которых изложена выше. Транспортная система установки представляет собой пятипозиционный барабан, вращением которого обеспечивается транспортировка образцов между технологическими операциями. В первой позиции происходит нагрев подложек, во второй ПХО слоев на верхнюю поверхность пластины, в четвертой на нижнюю, третья и пятая позиции могут быть использованы для размещения других технологических устройств.

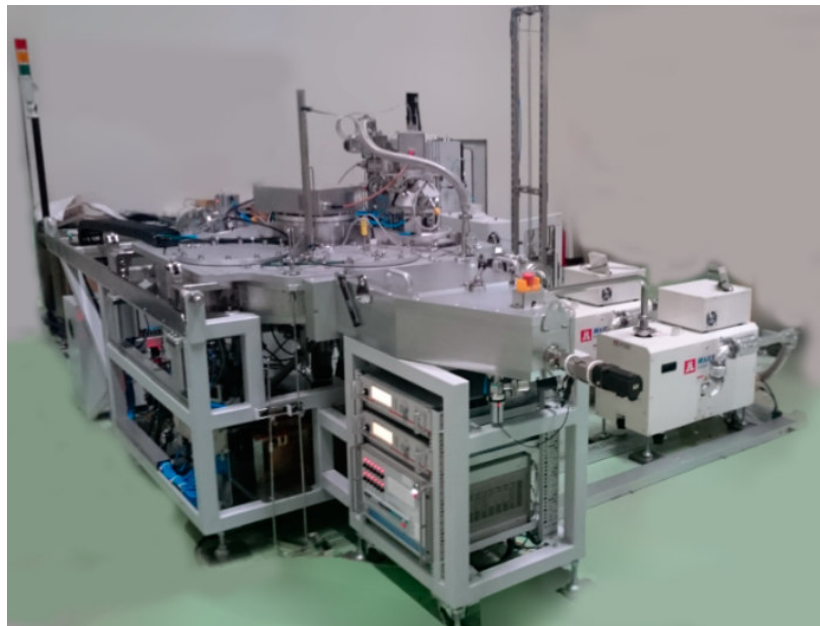
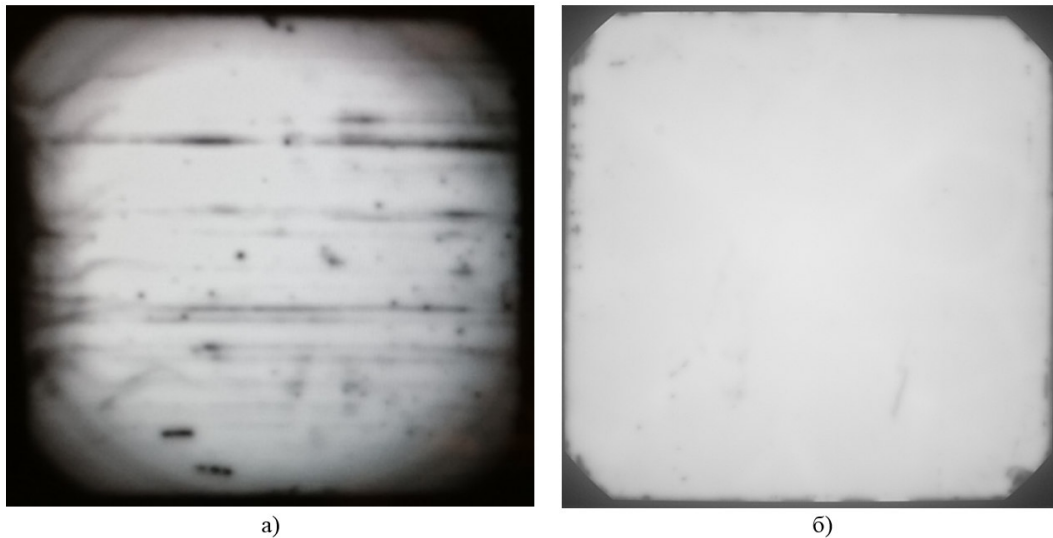


Рис. 2. Установка барабанного типа серии «LabHITIZ» - Изовак.

На рис. 3 представлено сравнение спектров люминесценции кремниевых пластин после пассивации слоем собственного гидрогенизированного кремния i-Si: толщиной 20 нм, полученных на установках «PRECISION 5000»-Applied Materials и установке «LabHITIZ»-Изовак. На спектре люминесценции первого образца (рис. 3-а) видны темные «полосы», которые, скорее всего, свидетельствуют о повреждениях пластины манипулятором в процессе загрузки/выгрузки; так же можно видеть некоторые точечные дефекты, которые могли быть вызваны попаданием пылевых частиц между образцом и держателем. Время жизни неравновесных носителей заряда полученное на установке «LabHITIZ» в 3,5 раза выше, чем полученное в аналогичных условиях на установке «PRECISION 5000», что обеспечивает в

целом увеличение FF на 3-4%, и соответственно увеличение эффективности солнечного элемента на 1,1-1,5 %.



*Рис. 3. Спектры фотолуминесценции кремниевых пластин после пассивации слоем $i\text{-Si:H}$
а) «PRECISION 5000»; б) «LabHITIZ»-Изovac.*

Выводы

Используемая в установках серии «LabHITIZ» концепция формирования гетероперехода позволяет улучшить качество пассивации кремниевой пластины (время жизни неравновесных носителей заряда более 10 мс), и увеличить эффективность солнечного элемента на 1,1-1,5%, в сравнении со стандартными технологическими подходами к ПХО. Модульная конструкция реактора ПХО может быть приспособлена под требования заказчика и обеспечить производительность 10-900 пластин/час.

Литература

1. M. Schmidt, L. Korte, A. Laades, R. Stangl, C. Schubert, H. Angermann, E. Conrad, K. Maydell, Physical aspects of a-Si:H/c-Si hetero-junctionsolar cells, Thin Solid Films 515 (2007) 7475–7480.
2. A. Descoedres, L. Barraud, S. De Wolf, B. Strahm, D. Lachenal, C. Guérin, Z. C. Holman, F. Zicarelli, B. Demaurex, J. Seif, J. Holovsky, C. Ballif, Improved amorphous/crystalline silicon interface passivation by hydrogen plasma treatment, Appl. Phys. Lett. 99 (2011) 123506.
3. T. F. Schulze, H. N. Beushausen, C. Leendertz, A. Dobrich, B. Rech, L. Korte, Interplay of amorphous silicon disorder and hydrogen content with interface defects in amorphous/crystalline silicon heterojunctions, Appl. Phys. Lett. 96 (2010) 252102.
4. Olibet S., Vallat-Sauvain E., Ballif C. Model for a-Si:H/c-Si interface recombination based on the amphoteric nature of silicon dangling bonds // Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys. 2007. Vol. 76.