

УДК 620.9.91

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ

Мазинов А.С., Лисовец Е.В., Каравайников А.В.

Как независимое направление в современной микроэлектронике в настоящий момент выделяется проектирование и создание полупроводниковых приборов на основе аморфных и поликристаллических слоев. Это связано с новыми возможностями построения приборов на основе «неупорядоченных» систем, с одной стороны, и с физическими ограничениями, которые накладываются на размеры монокристаллов и минимальный размер элементарного прибора, с другой. Применение же аморфных и поликристаллических слоев позволяет уйти от выше указанных ограничений и применять их в устройствах, где ограничения на размер интегральной логики практически отсутствуют. Например: панели для сканеров цветного изображения, ксероксов [1], жидкокристаллических дисплеев [2], фотоэлектрических преобразователей [3], солнечных батарей [4] и т. д., так называемая "электроника больших площадей" (ЭБП) [5].

Основой для большинства приборов с аморфными рабочими слоями служат пленки кремния выращенные различными методами. Однако, получение аморфных структур с приемлемым качеством рабочих слоев удается достичь лишь плазмохимическим методом VHF-GD (very high frequency glow discharge) или методом химического осаждения из паровой фазы (chemical vapor deposition - CVD) [6]. Но данные методики имеют ряд технологических недостатков, в числе которых выращивание таким способом законченной структуры, имеющей тыльный и фронтальный контакты, потенциальный барьер и защитное покрытие весьма затруднительно. Поэтому нами была предпринята попытка апробации более гибкой методики - магнетронного распыления материала.

МАГНЕТРОННЫЙ МЕТОД И ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Из множества методов получения тонких пленок [7] для создания слоистых структур большой площади был использован метод магнетронного распыления в вакууме с различными смесями газов. Эта методика широко применяется в технологии при выращивании изолирующих слоев [8] и нанесения защитных пленок [7].

Были проанализированы возможности основных промышленных установок использующие крупногабаритные магнетронные распылительные системы, для нанесения пленок из различных материалов на большие поверхности [9]. Так установка подобного класса УНИП.У-1 [10] имеет остаточное давление в камере и в шлюзе $2,66 \cdot 10^{-3}$ и 13 Па соответственно. Подложка очищается в плазме ВЧ разряда. Давление аргона в камере 0,798 Па, магнитная индукция над мишенью 0,03 Тл и ток катода 2,5 А. Скорость

распыления может варьироваться в пределах 0,01-0,5 мкм/мин при мощности разряда 600-3000Вт.

Более совершенной, с точки зрения промышленного получения слоистых структур, является установка по нанесению покрытий УВНМ.ДЕ.П065-011 [11], предназначенная для комплексной обработки подложек размером 650 x 650 мм. В случае крупномасштабного промышленного производства перспективной является вакуумная система типа УВМ-15. Установка имеет производительность за один технологический цикл 13 м²! Рабочее давление в вакуумной камере не более $1,33 \cdot 10^{-2} (10^{-4})$ Па (мм. рт. ст.). Наибольшая величина натекания 6,6(50) л.Па/с (л. мм рт. ст./с). Объем вакуумной камеры 4,3м³. Наибольшая площадь напыляемого изделия 1,8 м² (1200x1500 мм). Средняя толщина наносимого слоя покрытия не менее 0,12 мкм. Время технического цикла не более 1500 (2,5) мин. (ч.). Потребляемая мощность при этом 6,3 кВт. Естественно, эти установки требуют дополнительной модернизации для получения многослойных тонкопленочных структур в едином вакуумном цикле.

СВОЙСТВА И ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОК a-Si:H

Для синтеза пленок была выбрана модифицированная установка УРМ 3.279.014. Полученные образцы представляли собой одно, двух и трехслойные структуры (рис.1), систему омического контакта с полупроводниковым рабочим слоем (рис.1а) и потенциальный барьер диода Шоттки (рис.1б). Одновременно, были проверены возможные варианты дешевых подложек.

Отсутствие у аморфного кремния упорядоченной структуры позволяет осаждать его

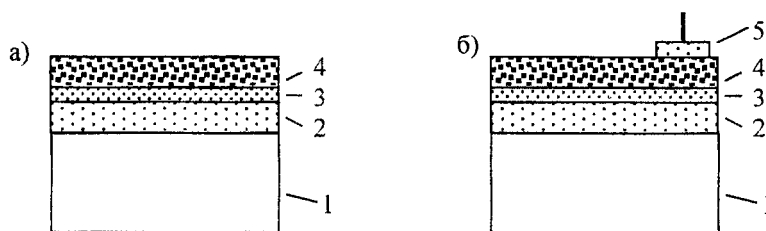


Рис.1 Полученные структуры.

1- подложка, 2- тыльный омический контакт, 3- переходная омическая область, 4- рабочий слой, 5- фронтальный барьер

на подложки любого недорогостоящего материала [9,12]. Единственное ограничение - способность материала противостоять воздействию повышенных температур (250...350 °С). Варьируя температурой подложки и временем отжига осажденных пленок [13], можно целенаправленно изменять энергию активации и проводимость осажденных слоев. Также, осаждая пленки аморфного кремния магнетронным методом на некристаллические подложки возможно получение структуры с большой площадью, что является важным достоинством разрабатываемой технологий выращивания пленок.

В качестве подложек для тестирования при осаждении пленок нами были выбраны два основных вида материала: проводящие и диэлектрические. Металлические подложки

играли роль токособирающего тыльного контакта. А диэлектрические подложки, обладая оптической прозрачностью, служили защитным экраном от внешних воздействий для тонких пленок, в частности, от взаимодействия с кислородом и механических повреждений. В качестве материалов для металлических подложек были выбраны: латунь, титан, серебро, бериллиевая бронза, алюминиевая пленка напыленная на стекло. Для диэлектрических подложек были использованы: стекло ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$), стекло с нанесенной пленкой нитрида кремния, ситалловые подложки трех видов (щео 781 001 0у, шу 7. 817 002-15, Ст-50-1-1-0.6). Полученные пленки а-Si в вакуумной установке УРМ3.279.014, при давлении в рабочей камере $8 \cdot 10^{-3}$ Па, напряжении и токе мишени - 650В и 2А, показали хорошую адгезию, как на проводящих, так и диэлектрических подложках. Структура растущих пленок сильно зависит от структуры и типа подложки.

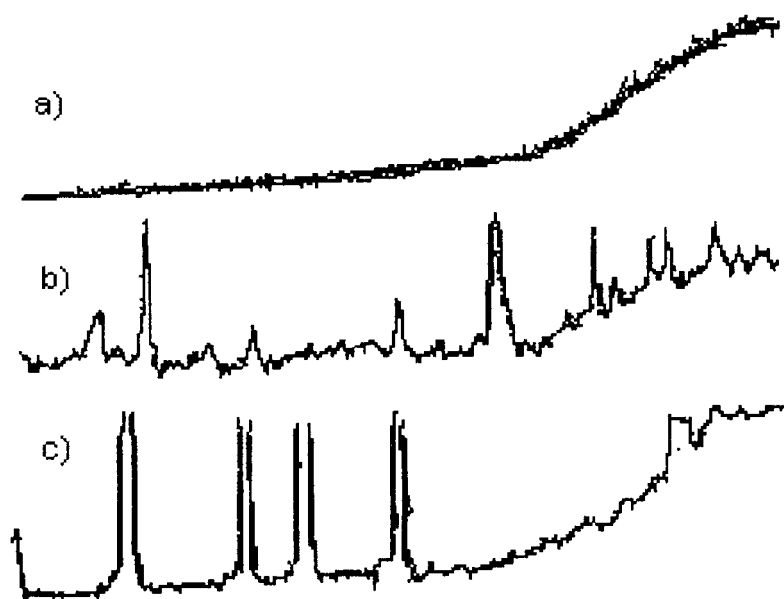


Рис.2 Рентгенограммы: а) пленки на стекле; б) пленки на ситалле; в) кристаллический Si.

Это видно из приведенных рентгенограмм (рис.2) и температурных зависимостей проводимости полученных пленок (рис.3).

К сожалению, удовлетворительных свойств кремниевых пленок на металлических подложках достичь не удалось. Это обусловлено относительно низким качеством поверхности проводящих подложек. Лучшие характеристики показали пленки напыленные на ситалловые подложки и специализированное стекло. Также неплохие свойства показали пленки, осажденные на “обычное” стекло (рис.3, зависимости 3).

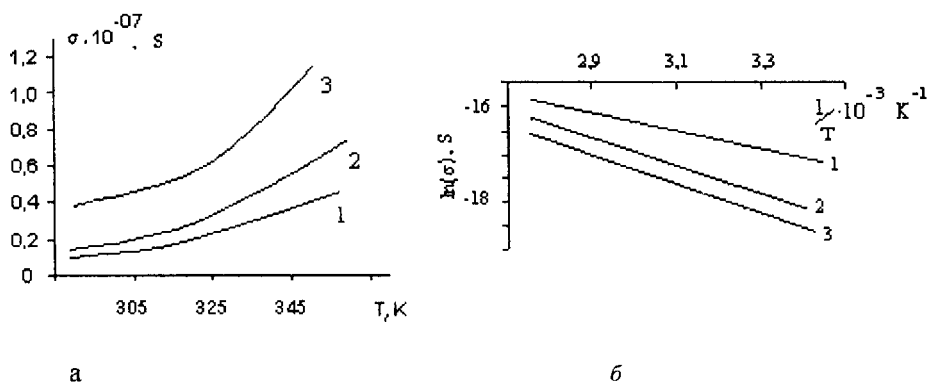


Рис.3 Температурные зависимости проводимости (а) и логарифма проводимости (б) пленки $a\text{-Si}$ на : 1 - ситалле; 2 - "специализированном" стекле; 3 - простом стекле.

С целью достижения необходимых качеств рабочих слоев исследовалась возможность пассивирования разорванных связей в аморфной структуре кремния. В связи с вышесказанным, данная операция так же должна вписываться в одно-циклового вакуумный процесс получения прибора. Для этого кремниевая мишень расплывалась в смеси газов аргона и водорода.

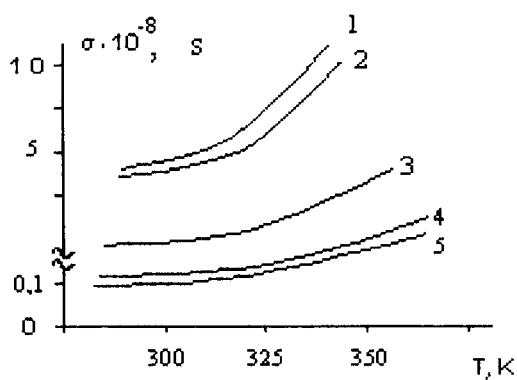


Рис.4 Температурные зависимости проводимости при различных парциальных отношениях водорода на ситалловых подложках 2- без водорода, 5 -- 60% водорода; на стеклянных 1 - без водорода; 3 - 20% водорода, 4 - 60% водорода.

Изменения вида излучения аргоно-водородной плазмы в зависимости от парциального отношения, показало, что добавление водорода в аргоновую среду приводит к изменению состава абсорбционных комплексов, которые изменяют температурные зависимости проводимости (рис.4).

Увеличение концентрации водорода в аргоно-водородной смеси привело к изменению свойств аморфных пленок: уменьшению проводимости (рис. 4) и увеличению энергии активации (рис. 5). Такие изменения обусловлены уменьшением числа оборванных связей в энергетической структуре аморфного кремния за счет пассивации последних атомарным водородом с образованием $\text{Si}-\text{H}$ связей. Это в свою очередь, приводит к уменьшению энергетических уровней в хвостах проводимости запрещенной зоны.

В пользу улучшения качества пленок, с увеличением концентрации водорода в плазме, говорит уменьшение разброса параметров энергии активации проводимости (заштрихованная область на диаграмме рис.5).

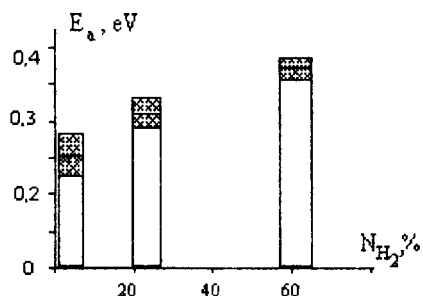


Рис.5 Изменение энергии активации в зависимости от парциального отношения водорода в аргоно-водородной среде

Механизм целенаправленной модификации a-Si:H пленок еще предстоит изучить. Именно магнетронный метод осаждения позволит, при высоком уровне контроля, выстраивать структуру с заданными оптическими и электрическими свойствами [14], следовательно, позволит гибко изменять ширину щели подвижности и строить тянущее поле в i-фотоиндуцирующем слое. В нашем эксперименте было показано, что в течение времени выращивания пленки можно легко изменять процентное отношение водорода в рабочей плазме от 0 до 60 % и тем самым увеличивать его концентрацию в кремнии, что в свою очередь является простым способом

изменения ширины запрещенной зоны [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате наших исследований можно сделать вывод, что метод магнетронного осаждения пленок является перспективным методом получения слоистых структур промышленным способом в едином вакуумном цикле с использованием относительно недорогих материалов для приборов, имеющих большую площадь. Эффективное гидрирование a-Si пленок можно производить изменением процентного содержания водорода в рабочей смеси газов. При создании активных элементов p-i-n структур и биполярных транзисторов возможно использование стандартной технологической цепочки на основе плазмохимического метода, с заменой этапа низкотемпературного осаждения рабочих слоев из силановой плазмы на более гибкое магнетронное осаждение с кремниевой мишени в аргоно-водородной плазме.

Список литературы

1. Gradishnik V., Pavlovic M., Pivac B., Zulim I., Study of the Color Detection of a-Si : H by Transient Response in the Visible Range // IEEE Transactions on Electron Devices.-2002.- Vol. 49, No.4.-p.550-556.
2. Toshic Golo N., Kuper F.G., Mouthaan T.J., Analysis of the Electrical Breakdown in Hydrogenated Amorphous Silicon Thin-Film Transistors// IEEE Transactions on Electron Devices.-2002.- Vol. 49, No.6.-p.1012-1018.
3. Nascetti A., Caputo D., Amorphous Silicon Phototransistor as Nonlinear Optical Device for High Dynamic Range Imagers // IEEE Transactions on Electron Devices.-1999.- Vol. 49, No.3.-p.395-399.
4. Gordijn A., Zambrano R.J., Rath J.K., Schropp R.E.I, Highly Stable Hydrogenated Amorphous Silicon Germanium Solar Cells // IEEE Transactions on Electron Devices.-2002.- Vol. 49, No.5.-p.949-952.

5. Гордиенко Ю.Е., Яковлев Д.Р. Тонкопленочные транзисторы на основе неупорядоченного кремния // Радитехника.-1999.- Vol. 46, No.10.-p.2086-2092.
6. Frank F.R., Faller A. H. High-Temperature CVD for Crystalline-Silicon Thin-Film Solar Cells// IEEE Transactions on Electron Devices.-1999.- Vol. 46, No. 10 (October).-p.2048-2054.
7. Гольцев В.П., Ходасевич В.В., Карпенко Г.Д. и др. Ионно-плазменная технология получения износостойких покрытий. – Минск: БелНИИТИ, 1987, – 32с.
8. Низкотемпературное нанесение пленок нитридов кремния и алюминия реактивным распылением в вакууме //Министерство электронной промышленности: Под. ред. Г.М. Иноземцева. – М.: 1989, –54с.
9. Keppner H., Meier J., Torres P., Fischer D., Shah A. Microcrystalline silicon and micromorph tandemsolar cells// Applied Physics A, Materials Science & Processing.-1999.-V69.- p.169–177.
10. Уксусов А.С., Борисов В.П. Тенденции развития оборудования ионно-плазменного осаждения и травления слоев// Электронная промышленность. – 1988. –№7 –С.3-4.
11. Андросенко В.А., Зоткин Н.Ф., Корчагин Б.В. и др. Установка магнетронного нанесения покрытий УВНМ.ДЕ.П-650-011 //Электронная промышленность. – 1988. –№8 –С.54.
12. Rech V., Wagner H. Potential of amorphous silicon for solar cells// Applied Physics A, Materials Science & Processing.-1999.-V69.- p.155–167.
13. Курова А.Ю., Ормонт Н.Н., Трапезникова И.Н., Афанасьев В.П., Гудовский А.С. Электрические и фотоэлектрические свойства а-Si:H и влияние на них термического отжига// Физика и техника полупроводников-2001.-№3-С.367-370.
14. Голикова О.А., Казанин М.М., Кузнецов А.Н., Богданова Е.В. Наноструктурированные пленки а-Si:H, полученные методом разложения силана в магнетронной камере// Физики и техника полупроводников. – 2000. –№9 –С.1125-1129

Поступила в редакцию 15.11.2002 г.