

УДК 621.382.2

ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР С ПОРИСТЫМ КРЕМНИЕМ В ЭЛЕКТРОЛИТЕ

З.О. МХИТАРЯН, А.А. ШАТВЕРЯН, А.З. АДАМЯН, В.М. АРУТЮНЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 24 декабря 2003 г.)

Измерены статические вольт-амперные характеристики (ВАХ) образцов из монокристаллического кремния *p*-типа со слоем пористого кремния в воздухе и структур образец-электролит-контрэлектрод при комнатной температуре. Выпрямляющий характер ВАХ образцов с твердотельным контактом свидетельствует об определяющей роли барьера на границе раздела монокристаллический кремний – пористый кремний. На ВАХ образцов с жидким контактом обнаружены гистерезисные явления. При использовании контрэлектрода из благородного металла ВАХ имеют выпрямляющий характер, при полупроводниковом контрэлектроде ВАХ симметричны.

1. Введение

Несмотря на интенсивные исследования пористого кремния (PS), из-за сложности объекта нет однозначных интерпретаций его физических свойств (см., напр., [1]). Это диктует необходимость исследования PS в каждом конкретном случае. Особый интерес представляет случай, когда твердотельный электрод к PS заменяется жидким (электролитический контакт – ЭК). Как показано в работе [2], PS с ЭК имеет высокий внешний квантовый выход и управляемый напряжением сдвиг фотолюминесценции (ФЛ) и электролюминесценции (ЭЛ) и требует, в отличие от аналогичных структур с твердотельным контактом (ТК), малых потребляемых напряжений.

2. Образцы и методика эксперимента

В качестве образцов использовались структуры из кремния *p*-типа со слоем PS, обладающие фотолюминесцентными свойствами. Образцы для измерений изготавливались из кремния *p*-типа с ориентацией $\langle 100 \rangle$ и удельным сопротивлением 10 Ом·см. Анодирование проводилось в стандартном электролите $\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$ в соотношениях 1:2:1, соответственно, по технологии, приведенной в [3]. Получено, что пористость по методу, описанному в [3], составляет 57%, толщина слоя – 0.5 мм, диэлектрическая проницаемость – 5.64. В качестве ТК применялись контакты из напыленного алюминия с выводами в виде обычных проводников или специально изготовленного

прижимного золотого зонда, перемещаемого с помощью микрометра. В качестве ЭК использовался раствор NaCl в дистиллированной воде с $pH = 5.1$. Электролитическая ячейка изготовлялась из кварцевого стекла: она состояла, как обычно [4], из исследуемого образца, электролита и контрэлектрода. Образец – кремниевая подложка p -типа со слоем PS. Контрэлектрод (КЭ) был сменным – использовались платиновый, золотой, серебряный или монокремниевый электроды, соответственно. Измерения проводились при комнатной температуре. По стандартной методике измерялись статические ВАХ при прямом и обратном смещениях образца. Напряжение на образец подавалось с последовательно соединенных аккумуляторных батарей типа НКН и менялось с шагом 0.1 В по возрастающей и спадающей зависимостям. Контроль напряжения осуществлялся вольтметром DT-830В. Интервал используемых напряжений 0 – 30 В. Ток через образец измерялся миллиамперметром М-254.

3. Экспериментальные данные и обсуждение

На рис.1 приведены статические ВАХ образцов с ТК, снятые при комнатной температуре. При возрастающем и спадающем ходе напряжения и обратные, и прямые ветви ВАХ совпадают, но для некоторых "состаренных" образцов при обратных смещениях больше 12 В на ВАХ наблюдаются осцилляции (вставка на рис.1). Эти осцилляции отсутствовали на ВАХ, снятых на свежизготовленных образцах. Сами ВАХ имеют выпрямляющий характер, причем пропускное направление соответствует положительному смещению, прилагаемому к кремниевой подложке p -типа.

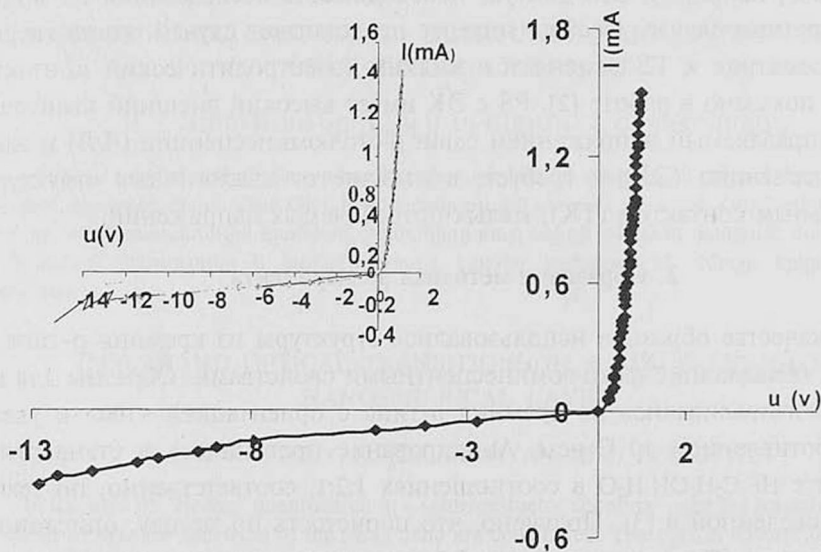


Рис.1. ВАХ образцов с ТК. На вставке – ВАХ "состаренных" образцов.

При опускании образца в электролит между ним и электролитом устанавливается напряжение порядка 0.14 В, причем образец заряжается отрицательно, а контрэлектрод — положительно. Напряжение между электродами зависит от материала контрэлектрода. При золотом КЭ оно равно 0.48 В, при платиновом — 0.54 В, при серебряном — 0.36 В. При использовании полупроводникового КЭ напряжение между электродами 0.09 В.

На рис.2 и 3 приведены статические ВАХ образцов с жидким электродом при комнатной температуре — с золотым КЭ и КЭ из монокристаллического кремния *n*-типа, соответственно. На ВАХ образцов, находящихся в электролите, обнаружен гистерезис, причем ветви ВАХ, снятых при возрастании напряжения, лежат выше ветвей, измеренных при уменьшении напряжения. Это имеет место и при прямом, и при обратном смещениях. Как следует из рисунков, форма и размеры петли гистерезиса зависят от полярности приложенного напряжения. Для КЭ из благородных металлов (платина, золото, серебро) (рис.2) площадь гистерезиса меньше, чем для КЭ из монокристаллического кремния *n*-типа (рис.3). ВАХ образцов с КЭ из благородных металлов имеет в электролите выпрямляющий характер, а при использовании в качестве КЭ монокристаллического кремния имеет симметричный вид.

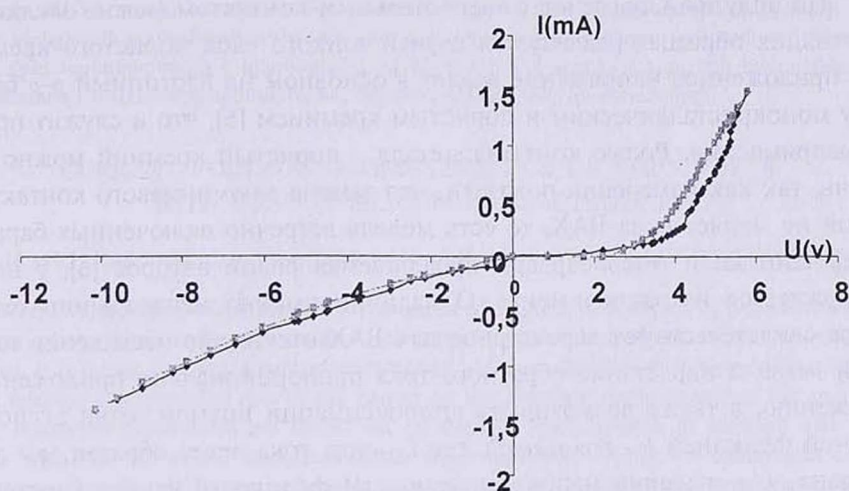


Рис.2. ВАХ образцов с ЭК (КЭ из золота).

Сохранение выпрямляющего характера ВАХ образцов в электролите при использовании КЭ из благородных металлов (рис.2) объясняется тем, что из-за наличия в металлах огромного количества свободных электронов поверхностные состояния не играют особой роли, в отличие от случая полупроводникового электрода. Как видно из рис.3, на ВАХ выпрямление отсутствует, и ВАХ приобретает симметричный вид, что позволяет допустить в

этом случае наличие двух встречно включенных барьеров – барьера в гетеро-структуре со слоем пористого кремния и межфазного барьера, образующегося на границе монокристаллический кремний – электролит.

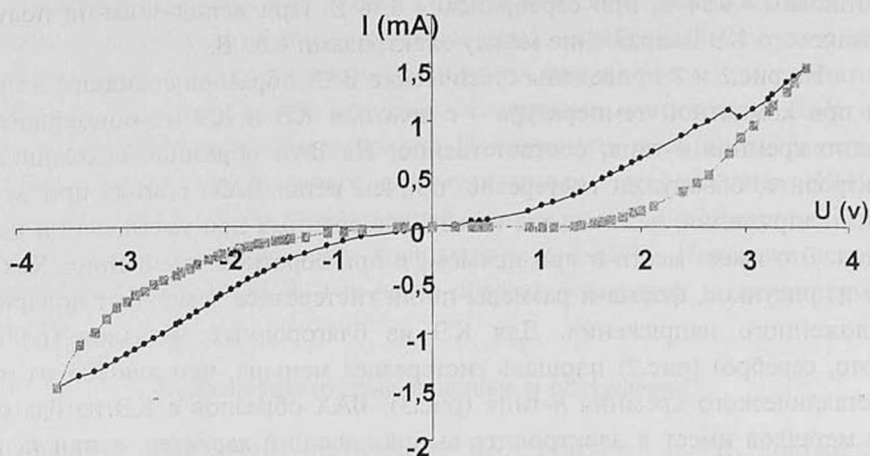


Рис.3. ВАХ образцов с ЭК (КЭ – монокристаллический Si n -типа).

По виду ВАХ образцов с твердотельным контактом можно заключить, что в наших образцах реализуется случай тонкого слоя пористого кремния, когда приложенное напряжение падает в основном на изотипный p - p барьер между монокристаллическим и пористым кремнием [5], что и служит причиной выпрямления. Ролью контакта металл – пористый кремний можно пренебречь, так как измерения показали, что замена алюминиевого контакта на золотой не меняет вида ВАХ, то есть модель встречно включенных барьеров (барьер Шоттки и гетеробарьер), предлагаемая рядом авторов [6], у нас не подтверждается на эксперименте. О наличии именно неидеального гетеробарьера свидетельствуют характерное для ВАХ отсутствие насыщения на обратной ветви и нарастание обратного тока пропорционально приложенному напряжению, а также возможность аппроксимации прямой ветви экспоненциальной функцией $I \sim \exp(qU/nkT)$, где I – сила тока через образец, q – заряд электрона, U – падение напряжения, n – коэффициент неидеальности, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура. Наши оценки показали, что для исследованных образцов уже при небольших смещениях $n = 20$. Большие значения n объясняются высокой концентрацией локализованных электронных состояний в пористом кремнии и его неоднородностью [6].

4. Заключение

1. На статических ВАХ исследованных образцов с жидким контактом обнаружены гистерезисные явления.
2. Форма ВАХ зависит от материала контрэлектрода: при смене

металлического электрода на полупроводниковый выпрямляющий вид ВАХ сменяется на симметричный.

3. Показано, что ВАХ образцов не зависят от материала ТК.

Авторы благодарны З.Н. Адамяну и Р.С. Барсеяну за предоставленные образцы. Работа выполнена в рамках гранта А-322 МНТЦ.

ЛИТЕРАТУРА

1. O.Bisi, S.Ossicini, L.Pavesi. Surf. Sci. Rep., 38, 1 (2000).
2. B.Gelloz, A.Bsiely. Appl. Surf. Sci., 135, 15 (1998).
3. Z.N.Adamyan et al. Solar Energy Materials & Solar Cells, 64, 347 (2000).
4. Дж.Плэмбек. Электрохимические методы анализа. Основы теории и применение. М., Мир, 1985.
5. Э.Б.Каганович, Э.Г.Манойлов, С.В.Свечников. ФТП, 33, 327 (1999).
6. А.Н.Лаптев, А.В.Проказников, Н.А.Рудь. Письма в ЖЭТФ, 23, 59 (1997).

ԷԼԵԿՏՐՈԼԻՏՈՒՄ ԾԱԿՈՏԿԵՆ ՄԻԼԻՑԻՈՒՄ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՎՈԼՏ-ԱՄՊԵՐԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ

Ջ.Հ. ՄԻԹԱՐՅԱՆ, Ա.Ա. ՇԱՏՎԵՐՅԱՆ, Ա.Զ. ԱԴԱՄՅԱՆ, Վ.Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Չափված են ծակոտկեն սիլիցիում պարունակող մնուլների ՎԱԲ-երը օդում և մնուլ-էլեկտրոլիտ-հակաէլեկտրոդ կառուցվածքները սենյակային ջերմաստիճանում: Կոշտ կոնտակտ ունեցող մնուլների ՎԱԲ-ի ուղղիչ հատկությունը պայմանավորված է մոնոբյուրեղային սիլիցիումի – ծակոտկեն սիլիցիումի բաժանման սահմանի վրա գտնվող արգելքով: Հեղուկ կոնտակտով մնուլների ՎԱԲ-ի վրա հայտնաբերվել է հիստերեզիս: ՎԱԲ-երը ունեն ուղղիչ տեսք, եթե հակաէլեկտրոդը ազնիվ մետաղ է և ՎԱԲ-երը սիմետրիկ են, եթե հակաէլեկտրոդը կիսահաղորդիչ է:

CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF STRUCTURES WITH POROUS SILICON IN ELECTROLYTE

Z.H. MKHITARYAN, A.A. SHATVERYAN, A.Z. ADAMYAN, V.M. AROUTIOUNIAN

Current-voltage characteristics of samples made of single crystal silicon of p-type with a layer of porous silicon in air and systems sample-electrolyte-counterelectrode at room temperature are measured. It is shown that straightening character of I-V characteristics of samples with solid-state contact testifies a determining role of the barrier on the interface single crystal of silicon-porous silicon. Hysteresis phenomena are found out on the I-V characteristics of samples with liquid contact. With the use of the counterelectrode made of noble metal, I-V characteristics have straightening character, at the semiconductor counterelectrode I-V characteristics are symmetric.