УДК 539.293+546.561.31

Электрофизические свойства анодных пленок хлорсодержащего Cu_2O на стеклотекстолите

Л.А.Светличная, Л.П.Милешко, А.Н.Королев

Технологический институт Южного федерального университета в г. Таганроге

Определена ширина запрещенной зоны анодного Cu_2O, содержащего 5 ат.% хлора, равная 1,8 эВ. Показано, что в температурном диапазоне 20–75 °С сопротивление резисторов на основе анодных пленок хлорсодержащего Cu_2O снижается почти на 5 порядков, а при увеличении освещенности от 0 до 450 лк экспоненциально уменьшается в 2 раза. Выявлено образование в приконтактных областях Cu–Cu_2O + 5 ат.% Cl–Cu-структур двух встречновключенных *p–n*-переходов (инверсионных слоев), что обнаруживается на ВАХ при варьировании температуры и освещенности.

Свойства полупроводника Cu_2O исследовались с 20-х гг. прошлого столетия. В.П.Жузе и Б.В.Курчатов впервые экспериментально показали существование примесной и собственной областей проводимости в Cu_2O, полученном термическим окислением [1]. Позже на основе разработанной теории были созданы и получили широкое применение меднозакисные выпрямители, изучались их фотоэлектрические свойства. В дальнейшем интерес к Cu_2O несколько уменьшился из-за появления новых полупроводниковых соединений. Тем не менее, постоянно появляются новые сообщения о его свойствах и выявляются новые возможности применения в электронике.

Несмотря на большое число известных методов получения Cu_2O, продолжается поиск и разработка новых способов его синтеза. Одним из перспективных процессов является анодное окисление медной фольги на стеклотекстолите. Этот метод открывает возможность разработки многофункциональных электронных устройств нового поколения и объединяет конструкторско-технологические достоинства микроэлектронных изделий и печатных плат.

В [2] показано, что в состав Cu_2O входит хлор с концентрацией 5 ат.%, и дана термодинамическая интерпретация его наличия в составе анодных оксидных пленок Cu (I) (АОПМ). Однако информация об их электрофизических свойствах до сих пор отсутствует. Цель настоящей работы – изучение влияния температуры и освещенности на проводимость хлорсодержащего анодного Cu_2O.

В качестве исходных образцов использовались пластины размером 3,5×1,5 см фольгированного медью стеклотекстолита марки СТФ 2-5-2,5. Анодное окисление меди проводилось в гальваностатическом режиме в электролите состава $CuSO_4$ (0,01 М), NaCl (0,005 М) и LiCl (0,005 М) [3] при температуре $T = 86$ °С . Удельная электропроводность $\lambda = 6$ мОм$^{-1}$·см$^{-1}$ и pH = 4,8 контролировались с помощью универсального иономера ЭВ-74. Объем анодирующего раствора составил 400 мл, расстояние между анодом и катодом равнялось 2,5 см, площадь анодируемой поверхности – 7,5 см^2. После анодирования образцы промывались дистиллированной водой и сушились на воздухе при комнатной температуре.

© Л.А.Светличная, Л.П.Милешко, А.Н.Королев, 2008

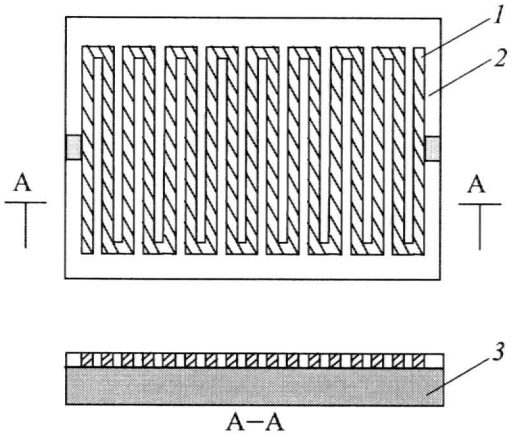

Рис.1. Топологическая схема резистора: *1* – пленка Cu_2O; *2* – контакты Cu; *3* – подложка СТФ 2-5-2,5 (ширина пленки 290 мкм; ширина контактов 310 мкм)

Измерения электрических характеристик проводились на резисторах гребенчатой формы (рис.1), изготовленных прокислением медной фольги в незащищенных позитивным фоторезистом областях. Сопротивление резисторов R измерялось с помощью тераомметра Е6-13. Освещенность E_v контролировалась при помощи люксметра типа Ю16 с фотоэлементом Ф102.

Зависимости проводимости резисторов на основе анодных пленок Cu_2O, сформированных при различных плотностях тока, от температуры показаны на рис.2,*а*. Видно, что независимо от плотности тока анодирования характер кривых для всех образцов приблизительно одинаков и с повышением температуры от 20 до 80 °С проводимость резисторов возрастает почти на 5 порядков.

Отметим наличие трех участков, соответствующих областям собственной, примесной и области истощения примеси [4]. Ширина запрещенной зоны в диапазоне температур 65–80 °С, рассчитанная по выражению [1]

$$\Delta\mathcal{E}_0 = \frac{2k}{0{,}43}\left|\Delta\lg\sigma \Big/ \Delta\left(\frac{1}{T}\right)\right| = \frac{2k}{0{,}43}\left|\lg\frac{\sigma(T_1)}{\sigma(T_2)}\Big/\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2}\right|,$$

составляет 1,8 эВ. Это согласуется с литературными данными для полученного методом термического окисления Cu_2O [3, 4].

Кроме того, определено влияние освещенности светом видимого диапазона на сопротивления резисторов на основе АОП Cu_2O, сформированных при различных плотностях тока и температуре электролита 86 °С.

Как видно из рис.2,*б* экспериментальные зависимости $R(E_v)$ спрямляются в полулогарифмических координатах. Это, по-видимому, обусловлено экспоненциальным возрастанием удельной электропроводности Cu_2O с увеличением освещенности. Независимо от плотности тока анодирования характер изменения сопротивления для всех образцов, примерно одинаков и падение сопротивления уменьшается приблизительно в 2 раза.

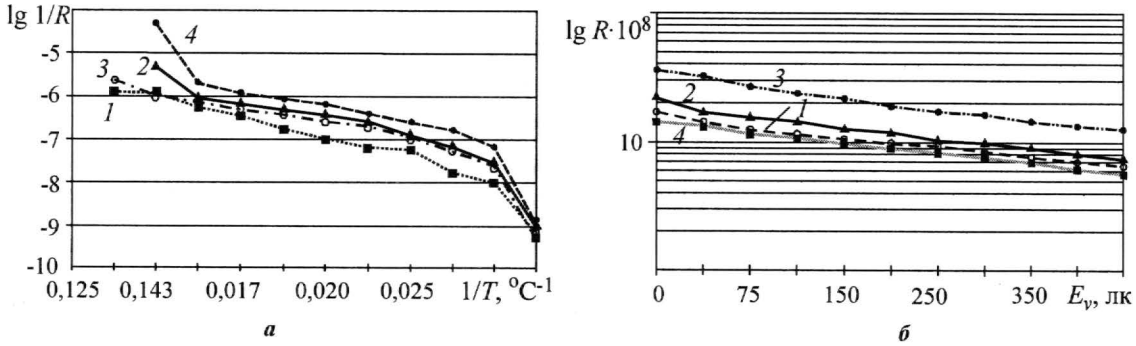

Рис.2. Зависимость проводимости резисторов на основе анодных пленок Cu_2O от температуры (*а*) и освещенности (*б*) при плотностях тока j = 2; 3; 4,5; 6 мА/см^2 кривые *1–4* соответственно

На ВАХ резисторов (рис.3) четко проявляются высокоомные участки от –8,8 до 4,5 В с током утечки менее 0,5 мкА. Это, вероятно, обусловлено как образованием инверсионного слоя на границе Cu_2O–Cu, так и наличием *p–n*-перехода, природа которого – в избытке атомов меди (сверхстехиометрии) в слое Cu_2O, непосредственно прилегающем к медным контактам и имеющем проводимость *n*-типа (в объеме пленка имеет *p*-тип проводимости за счет избытка кислорода).

С ростом температуры наклон кривых возрастает (рис.3,*а*). Аналогичное поведение кривых наблюдается и с повышением освещенности (рис.3,*б*). Особенностью является линейность прямой и обратной ветвей ВАХ, которая может быть вызвана большим вкладом сопротивления объемной части Cu_2O.

Присутствие встречновключенных *p–n*-переходов (инверсионных слоев) в контактных областях вызывает, очевидно, симметричность ВАХ резисторов (рис.4).

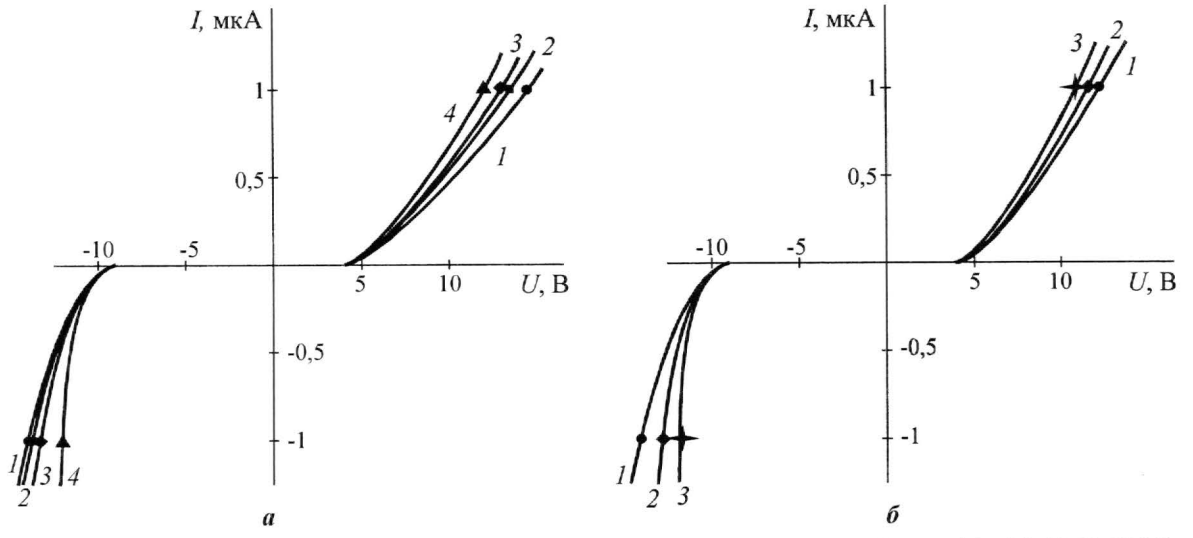

Рис.3. ВАХ *p–n*-перехода (инверсионного слоя) на основе АОПМ: ***а*** – E_v = 200 лк (T = 20;40;60;70 °С – кривые *1–4* соответственно); ***б*** – T = 20 °С (E_v = 0; 200; 400 лк кривые *1–3* соответственно)

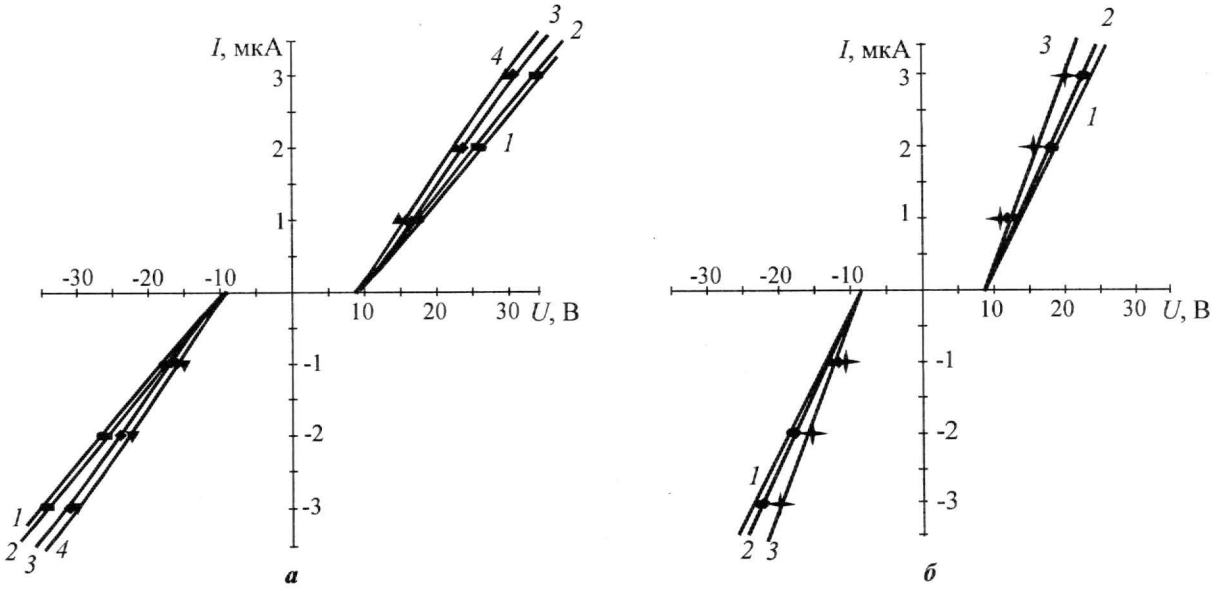

Рис.4. ВАХ резисторов на основе АОПМ: ***а*** – E_v = 200 лк (T = 20; 40; 60; 70 °С кривые *1–4* соответственно); ***б*** – T = 20 °С (E_v = 0; 200; 400 лк кривые *1–3* соответственно)

Созданные на стеклотекстолите структуры Cu–Cu_2O–Cu могут быть рекомендованы для использования в качестве термо- и фоторезисторов в электронных устройствах специального назначения, поскольку в температурном диапазоне 20–75 °С сопротивление резисторов на основе Cu_2O падает примерно на 5 порядков, а в интервале освещенности от 0 до 450 лк – экспоненциально уменьшается в 2 раза. Ширина запрещенной зоны анодного хлорсодержащего Cu_2O составляет 1,8 эВ.

Обнаружено наличие двух встречновключенных *p–n*-переходов (инверсионных слоев) в приконтактных областях Cu–Cu_2O–Cu-структур, которые проявляются на ВАХ соответствующими изменениями наклонов кривых при варьировании температуры и освещенности.

Литература

1. ***Иоффе А.Ф.*** Физика полупроводников. – М. – Л.: Изд-во АН СССР. – 1957. – 491 с.

2. ***Светличная Л.А., Милешко Л.П., Королев А.Н., Капитанчук Л.М.*** Состав анодных пленок Cu_2O и термодинамическая модель их роста в сульфатно-хлоридном электролите // Сб. статей II МНТК «Материалы и технологии XXI века». – Пенза, 2004.

3. ***Fortin E., Masson D.*** Photovoltaic effects in Cu_2O–Cu solar cells grown by anodic oxidation // Solid State Electron. – 1982. – Vol. 25, N 4. – P. 281–283.

4. ***Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.Д.*** Полупроводниковые приборы. – М.: Высшая школа. – 1966. – 415 с.

Статья поступила
1 июня 2007 г.

Светличная Людмила Александровна – инженер кафедры химии и экологии ТТИ ЮФУ. *Область научных интересов*: разработка и исследование газочувствительных химических сенсоров.

Милешко Леонид Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры химии и экологии ТТИ ЮФУ. *Область научных интересов*: физико-химические основы и экологическая безопасность технологических процессов.

Королев Алексей Николаевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой химии и экологии ТТИ ЮФУ. *Область научных интересов*: физическая химия поверхности твердого тела (синтез композитных пленок и модификация поверхности); разработка и эксплуатация газочувствительных химических сенсоров; моделирование и контроль состояния окружающей среды.

Информация для читателей журнала
«Известия высших учебных заведений. Электроника»

Вы можете оформить подписку на журнал по каталогу «Газеты, журналы» Агентства «Роспечать» в любом почтовом отделении связи.

Подписной индекс
47570