

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СЛАБО ЛЕГИРОВАННЫХ ПЛЕНОК ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Ф.Д. КАСИМОВ, М.Р. РАГИМОВ, Ф.Ф. КАСИМОВА, Н.М. МУРАДОВ

Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство,

370106, Баку, пр. Азадлыг, 159

Исследованием температурных и частотных зависимостей электропроводности слаболегированных пленок поликристаллического кремния (ППК) различной микроструктуры установлено, что наряду с барьерной проводимостью через границы зерен имеет место и прыжковый перенос заряда по локализованным состояниям межзеренных прослоек в широком диапазоне температур. Показано, что в ППК с размером зерен 0,5 мкм и концентрацией свободных носителей в объеме зерен порядка 10^{14} см^{-3} прыжковая проводимость осуществляется вплоть до комнатных температур.

Как известно, при описании электропроводности ППК рассматривается как чередование монокристаллических зерен с межзеренным промежутками толщиной в несколько десятков ангстрем, материал которых считается аморфным. Согласно модели сегрегации примесей [1], концентрация свободных носителей в объеме зерен при уровнях легирования до 10^{18} см^{-3} всегда меньше, чем концентрация в монокристаллическом кремнии с таким же уровнем легирования. Ненасыщенные связи на границах зерен (ГЗ) создают глубокие уровни энергии в запрещенной зоне, захват носителей на которые образует потенциальные барьеры, ограничивающие проводимость ППК [2]. Для количественного описания барьерного механизма проводимости обычно используется или диффузионная модель [3], или модель термоэлектронной эмиссии [4]. При этом считается, что прохождение тока через ГЗ осуществляется надбарьерной эмиссией, а через межзеренные промежутки, разделяющие зерна в направлении, перпендикулярном прохождению тока - туннельным переходом. В [5] была сделана попытка объединения этих двух моделей на основе термоэмиссионно - диффузионной теории. При последовательном учете влияния ГЗ на перенос заряда получено обобщенное выражение для статистической ВАХ одномерной цепочки одинаковых бикристаллов, существенно новым в котором является учет зависимости концентрации носителей в объеме зерен от приложенного напряжения.

Однако в рамках барьерной модели не учитывается, во-первых, возможность прохождения тока по межзеренным промежуткам вдоль направления электрического поля, а во-вторых, поскольку наличие глубоких ловушек связано с оборванными связями на ГЗ, то остается непонятным существованием двух уровней глубоких ловушек с энергиями активации 0,12 и 0,44 эВ, обнаруженных в ППК различными авторами [6,7].

Исследованием проводимости ППК в зависимости от размера зерна и степени легирования в [8] показано, что в мелкозернистых ППК при низких температурах помимо барьерной проводимости наблюдается и прыжковый механизм переноса по локализованным в межзеренных промежутках состояниям, характеризующимся, в отличие от барьерного механизма линейной зависимостью тока от напряженности поля. Действительно если концентрация свободных носителей в зернах меньше концентрации поверхностных состояний на их границах, то обедненный слой распространяется на весь объем зерна. В этом случае

преобладающей будет проводимость по межзеренным промежуткам, представляющим собой аморфный материал с ковалентными связями, в котором проводимость, согласно [9], осуществляется главным образом перескоками по локализованным состояниям.

С целью выявления физических механизмов электропроводности нами исследовались температурные зависимости проводимости двух типов ППК со средним размером зерен 0,5 и 5 мкм при толщине пленки 10 мкм. ППК n-типа проводимости, легированные фосфором до концентрации 10^{16} см^{-3} , получались в процессе восстановления тетрахлорида кремния водородом при температуре 1200°C на промышленной установке УНЭС-1. Концентрация свободных носителей в объеме зерен ППК, вычисленная с помощью измерений C-V характеристик МОП-структур на их основе, по методике описанной в [10], была $1,4 \cdot 10^{14}$ и $9,8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ для мелкозернистых и крупнозернистых пленок соответственно.

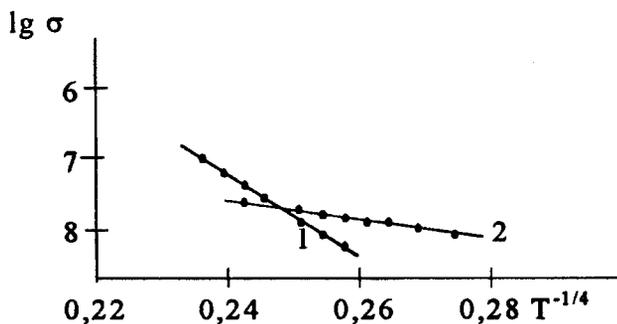


Рис. 1. Температурная зависимость проводимости в моттовских координатах для мелкозернистых (1) и крупнозернистых (2) ППК.

Результаты измерений в координатах $\lg \sigma$ от $T^{-1/4}$ приведены на рис. 1. Как видно из графика, в интервале температур $133 \div 253\text{K}$ для крупнозернистых ППК зависимость проводимости от температуры в используемых координатах линейна, а это означает, что имеет место прыжковый механизм переноса по формуле Мотта

$$\sigma \approx \exp \left[- \left(\frac{T_0}{T} \right)^{1/4} \right] \quad (1)$$

где T_0 выражается формулой

$$T_0 = \frac{16}{kN_f a^3} \quad (2)$$

N_f - плотность состояний вблизи уровня Ферми, a - радиус локализации, а k - постоянная Больцмана.

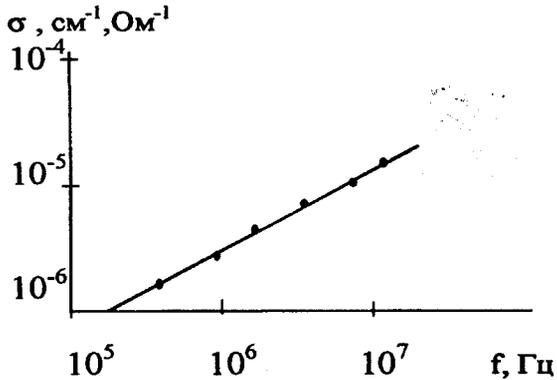


Рис. 2. Частотная зависимость проводимости мелкозернистых ППК при комнатной температуре.

В указанных интервалах температур энергия активации, определенная из зависимостей $\lg \sigma$ от T^{-1} составляла для мелкозернистых и крупнозернистых пленок 0,14 и 0,05 эВ соответственно.

Определяя из графиков T_0 как наклон зависимостей $\lg \sigma$ от $T^{-1/4}$ и подставляя в формулу (2), принимая при этом $a=10 \text{ \AA}$, получаем значения плотностей локализованных состояний N_f для мелкозернистых пленок $8 \cdot 10^{17} \text{ эВ}^{-1} \text{ см}^{-3}$, а для крупнозернистых $3 \cdot 10^{22} \text{ эВ}^{-1} \text{ см}^{-3}$.

Измерения частотных зависимостей проводимости при комнатной температуре показали, что проводимость мелкозернистых пленок подчиняется закономерности $\sigma(\omega) \approx \omega^{0,8}$ (рис.2), что характерно для прыжкового механизма переноса носителей тока. Проводимость крупно-

зернистой пленки в диапазоне частот 0,5÷10 МГц от частоты не зависела.

Как показали проведенные частотные и температурные измерения, прыжковая проводимость наблюдается в мелкозернистых ППК по закону $T^{-1/4}$ в широком интервале температур вплоть до комнатных и выше. В крупнозернистых пленках подобный характер прыжковой проводимости наблюдался при более низких температурах. Это объясняется, по-видимому, тем, что вследствие более развитой поверхности границ зерен, концентрации поверхностных состояний в мелкозернистых пленках много больше, чем в крупнозернистых, что приводит к полному обеднению объема зерен свободными носителями тока в них даже при высоких температурах. Подобный характер прыжковой проводимости в ППК наблюдался также и авторами [8], однако только при низких температурах, причем в отличие от наших образцов со слабым уровнем легирования, в указанной работе использовались полностью нелегированные пленки со сверхмелкой микроструктурой.

На основе полученных результатов и литературных данных можно сделать вывод, что благодаря межзеренным аморфным прослойкам в пленках ППК наряду с барьерным присутствует и прыжковый характер проводимости, что наиболее ярко проявляется при слабом уровне легирования и мелких зернах. При определенных соотношениях концентраций носителей тока в объеме зерен и поверхностных состояний на их границах прыжковый характер проводимости может стать преобладающим.

Следует отметить, что полученный результат представляет и практический интерес, поскольку по технологии локального выращивания [11] могут быть сформированы ППК и пленки монокристаллического кремния с концентрацией 10^{16} см^{-3} , которые широко применяются в микроэлектронике в производстве интегральных схем.

[1] M.E. Cowher, T.O. Sedgwick. J. Electrochem. Soc., 1972, v.119, p.1565-1570.
 [2] J. Seto. J.Appl.Phys., 1975, v.46, № 12, p5247-5253.
 [3] Е.И. Гольдман, А.Г. Ждан. Физика и техника полупроводников, 1976, т.10, № 10, с.1839-1845.
 [4] C.Y. Lu, N.-C.C. Lu. Solid - State Electronics, 1983, v.26, № 6, p. 549-557.
 [5] К.М. Доцанов. ФТП, 1994, т.28, № 4, с.692-700.
 [6] L.C. Kimerling. J.Appl.Phys., 1974, v.45, p.1839-1845.
 [7] Е.В. Кучис, Ф.Д. Касимов. Материалы Российско-Французского семинара «Структура и свойства границ зерен», Санкт-Петербург, 1993, с.126-129.
 [8] Е.В. Курпьянов, Д.А. Павлов, А.Ф. Хохлов. Тезисы

докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники», Таганрог, 1994, ч.1, с.62.
 [9] А.К. Джоншер, Р.М. Хилл. В кн.: Физика тонких пленок, М: Мир, 1978, с. 180-263.
 [10] Ф.Д. Касимов, А.Г. Абдуллаев, В.А. Ветхов и др. Междуведомственный республиканский сборник «Диэлектрики и полупроводники», Киев: «Вища школа», 1985, вып. 28, с.64-68.
 [11] A.G. Abdullayev, F.D. Kasimov. Thin Solid Films, 1984, v.115, № 3, p.237-243.

F.C. Qasimov, M.R. Rəhimov, F.F. Qasimova, N.M. Muradov

ZƏİF AŞQARLANMIŞ POLİKRIŞTAL SİLİSİUM TƏBƏQƏLƏRİNİN ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİNİN TƏDQIQI

Zəif aşqarlanmış müxtəlif mikrostrukturlu silisium təbəqələrinin elektrik keçiriciliyinin temperatur və tezlik asılılığı tədqiq edilmişdir.

Göstərilmişdir ki, keçiriciliyin baryer mexanizmi ilə yanaşı sıçrayış mexanizmi də mövcuddur. Müəyyən olunmuşdur ki, dənəciklərin ölçüsü 0,5 mkm, və sərbəst daşıyıcıların konsentrasiyası 10^{14} sm^{-3} olan silisium təbəqələrində sıçrayış keçiricilik hətta otaq temperaturunda belə müşahidə olunur.

Ф.Л. КАСИМОВ, М.Р. РАГИМОВ, Ф.Ф. КАСИМОВА, Н.М. МУРАДОВ

F.J. Kasimov, M.R. Ragimov, F.F. Kasimova, N.M. Muradov

INVESTIGATION OF ELECTRIC CONDUCTION OF LIGHTLY DOPED POLYCRYSTALLINE SILICON FILMS

The investigations of temperature and frequency dependences of electric conduction slightly doped polycrystalline silicon films with various microstructure are showed, that hopping conduction along intergrain layers take place side by side with the barrier conduction across grain boundary.

Дата поступления: 25.09.98

Редактор: Дж.Ш. Абдинов