

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОХОЖДЕНИЯ ТОКА В ТОНКО-
ПЛЕНЧНЫХ СИСТЕМАХ МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-МЕТАЛЛ

А.Е. Гершинский, Э.Г. Косцов

В работе [1] показано, что на прохождение тока через тонкопленочные структуры металл-диэлектрик-металл существенное влияние может оказывать мартенситный характер рельефа поверхности электродов. Там же отмечается, что при увеличении прикладываемого напряжения к структуре подобного типа происходит разрушение выступов на поверхности электродов, т.е. ее "сглаживание", что значительно уменьшает величину тока, протекающего через образец.

В данной работе рассматривается степень влияния "сглаживания" микрорельефа поверхности за счет разрушения выступов при увеличении температуры окружающей среды на величину тока в тонкопленочной системе металл-диэлектрик-металл, а также проведена оценка величины тока, протекающего непосредственно через подложку, минуя диэлектрическую пленку.

Исследовалась структура, схематически изображенная на рис. 1а. В ней диэлектриком служил слой оксида алюминия толщиной 800–1300 Å, полученный анодным оксидированием металлической пленки, осажденной в вакууме на диэлектрическую подложку (в качестве подложки использовалось стекло следующего состава: SiO_2 – 71,2%; Al_2O_3 – 1,36%; Fe_2O_3 – 0,12%; CaO – 7,76%; MgO – 4,0%; Na_2O – 15,14%; SO_3 – 0,38%).

В подобной структуре имеется два возможных направления прохождения тока: через диэлектрическую пленку (I–I) и через

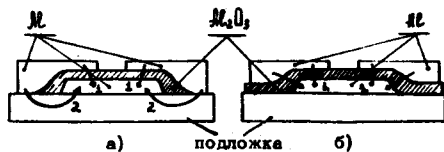


Рис. 1. Модели тонкопленочной структуры металл-диэлектрик-металл: а) при прохождении тока через пленку и подложку; б) то же только через пленку.

подложку (2-2).

Кривые, полученные в результате соответствующей статистической обработки экспериментальных данных, снятых с восьми образцов, характеризуют соответственно зависимость тока от напряжения и температуры (см. рис. 2 и 3). Семейства кривых I, II, III, IV соответствуют линиям регрессии J на V (для омических вольт-амперных характеристик) и $\lg J$ на W (для экспоненциальных вольт-амперных характеристик). При определении доверительных границ для коэффициентов регрессии использовался t -критерий с 9 степенями свободы. Во всех случаях область изменения границ коэффициентов, характеризующих линии регрессии, не превышает 10% при доверительной вероятности 0,95. Из рис. 2 видно, что существуют две области, в одной из которых вольт-амперная характеристика имеет омический характер, а в другой - экспоненциальный.

Первая область охватывает диапазон температур приблизительно от 293 до 393°K - при обратном направлении прохождения тока (положительный потенциал на нижнем электроде) и диапазон температур, больших 333°K, - при прямом. Вторая область охватывает диапазон температур от 293 до 333°K при прямом направлении прохождения тока.

Анализ поведения тока показывает, что после I-го измерения вольт-амперные характеристики, снятые в этой области температур, приближаются к омическим (особенно при низких напряжениях), а температурная зависимость принимает линейный характер в координатах: $\lg(J/T^2)$ от $10^3/T$. Омическая вольт-амперная характеристика, линейный характер температурной зави-

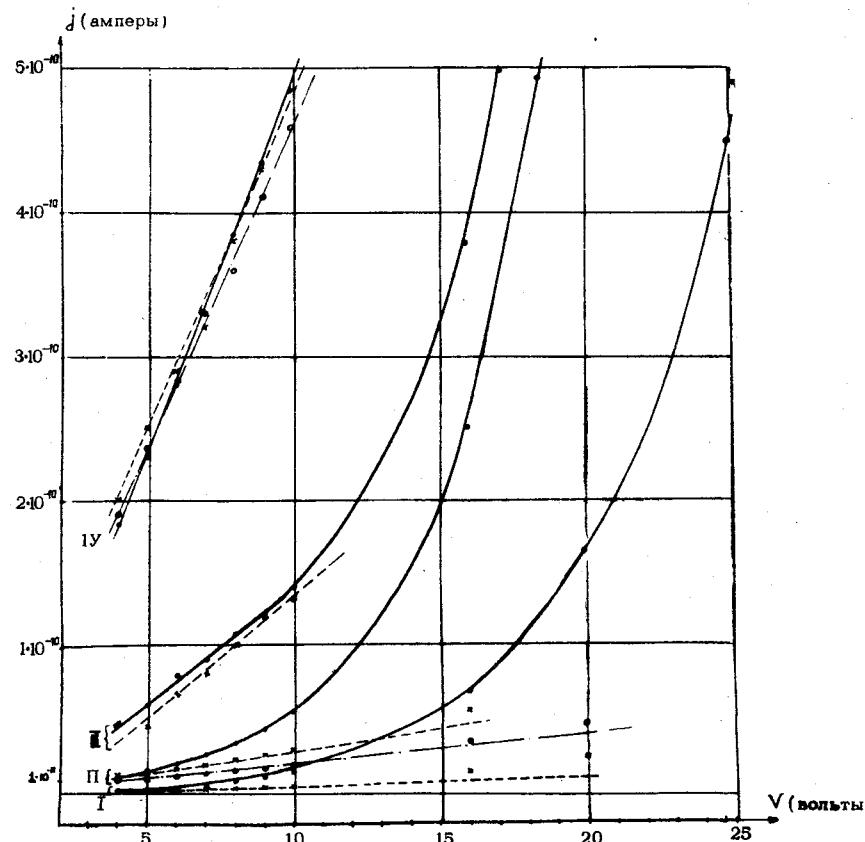


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики пленок при различных температурах:
I, II, III, IV - кривые, описывающие поведение тока соответственно при температурах 293°, 313°, 333°, 353° K;
• - первое измерение вольт-амперной характеристики при прямом направлении прохождения тока;
x - второе измерение вольт-амперной характеристики при прямом направлении прохождения тока;
o - вольт-амперная характеристика при обратном направлении прохождения тока.

симости в указанных координатах и одинаковая — в пределах погрешности измерений — энергия активации как в прямом, так и обратном направлениях (величина которой близка к энергии активации проводимости стекол подобного состава [2]) дают возможность сделать заключение, что преобладающая часть тока в данном случае протекает через подложку.

Вторая область представляет наибольший интерес для рассмотрения. В работе [1] было показано, что при увеличении напряжения часть выступов на поверхности разрушается и ток уменьшается по величине (влияние температуры окружающей среды на разрушение выступов не принималось во внимание).

Из рассмотрения кривых, представленных на рис. 3, следует, что с возрастанием температуры также происходит разрушение выступов (напряжение на образце остается фиксированным). Теоретически это находит свое отражение в том, что верхний предел суммирования n в формуле (1) (см. [4]), записывающей зависимость величины тока от напряжения, будет функцией не только напряжения, но и температуры.

Выражение для верхнего предела $n(\nu, T)$ в зависимости от механизма пробоя будет принимать различный вид. Отводя определяющую роль тепловому пробоя, а также учитывая замечания относительно параметров, определяющих момент пробоя (см. [3]), охарактеризуем зависимость верхнего предела $n(\nu, T)$ следующим выражением:

$$n = \frac{35}{\sqrt{V}} (1,6 - 10^{-3} T)^2.$$

Кривые (пунктирные), описываемые формулой (1) из работы [4], изображены на рис. 3. Общее выражение для тока будет описываться двумя слагаемыми: 1) — ток, протекающий через пленку (путь I—I, рис. 1а), 2) — ток, проходящий непосредственно через подложку (путь 2—2, рис. 1а):

$$j = j_1 + S_2 B \exp\left(-\frac{\varphi_2}{kT}\right) \frac{V}{\epsilon},$$

где j_1 — выражение для тока согласно (1) работы [4],
 φ_2 — энергия активации проводимости стекла,
 ϵ — расстояние между двумя электродами,
 S_2 — эффективное сечение канала, ответственного за прохождение тока через подложку,

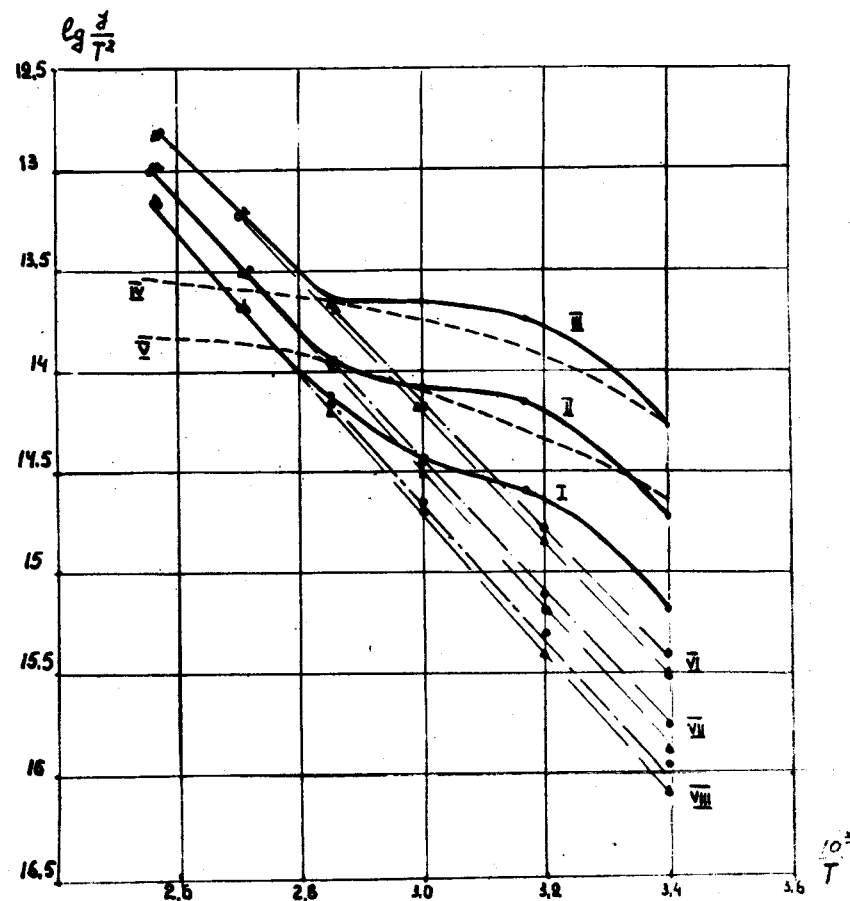


Рис. 3. Зависимость тока от температуры: I, II, III — сплошные линии, усредненные экспериментальные кривые, снятые при напряжениях 16, 20 и 25 вольт, соответственно, когда отрицательный потенциал приложен к нижнему электроду. IV и V — кривые, построенные на основании формулы (1) работы [4] при 20 и 25 вольт, соответственно. VI, VII, VIII — кривые, изображенные штрих-пунктирными линиями.

• — экспериментальные кривые, полученные при положительном потенциале на нижнем электроде при первых измерениях;
 ▲ — вторично измеренные экспериментальные кривые при отрицательном потенциале на нижнем электроде.

B - некоторая постоянная, характеризующая свойства данного стекла.

Экспериментальные кривые зависимости тока от температуры, полученные при повторных измерениях, изображены на рис. 2 и 3 (длинные штрихи).

Необратимые изменения, происшедшие в образце после первого измерения во второй области температур и характеризующиеся изменением наклона кривой, которая описывает поведение тока, подтверждают предположение о том, что с увеличением температуры выступы разрушаются при тех напряжениях, которые при комнатной температуре еще не производили их разрушения. По мере разрушения выступов полный ток, текущий через структуру, будет все более определяться величиной тока, проходящего через подложку. В тех случаях, когда образец имеет структуру, схематически изображенную на рис. 1б (ток в этом случае проходит только через Ac_2O_3), экспериментальные значения тока во всем диапазоне температур и прикладываемых напряжений достаточно полно описываются формулой (I) работы [4].

Чтобы величина тока при первичных измерениях в тонкопленочной системе превышала величину тока, проходящего через подложку, необходимо, чтобы выполнялось неравенство:

$$j_1 > S_2 B \exp\left(-\frac{\varphi_2}{kT}\right) \frac{V}{L}.$$

Заметим, что при повторных измерениях предел суммирования в левой части неравенства будет меняться вследствие необратимых изменений, происшедших в образце под действием приложенного электрического поля.

Отмеченные закономерности перераспределения тока, проходящие через структуру и подложку, наблюдаются на всех без исключения образцах (см. рис. 1а) и являются дополнительным подтверждением определяющей роли микрорельефа поверхности электрода в прохождении тока в тонкопленочной системе металл-диэлектрик-металл.

Л и т е р а т у р а

1. А.Е.Гершинский, Э.Г.Косцов. ФТТ, 6, 1967, стр.1695.
2. Д.Стевелс. Электрические свойства стекла. М., ИЛ., 1961.
3. Э.Г.Косцов. О нарушении электрической прочности диэлектрической пленки в системе металл-диэлектрик-металл.- Данный сборник, стр.183-193.
4. Э.Г.Косцов. О прохождении тока в тонкопленочных системах металл-диэлектрик-металл.- Данный сборник, стр.171-182.

Институт математики
СО АН СССР.

Поступила в редакцию
15.IX.1967 г.