

## ОБ ИЗМЕНЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ТПК В ПРОЦЕССЕ СТАРЕНИЯ

И.П. Михвильовский

Основные закономерности нарушения электрической прочности диэлектрических плёнок в системах металл-диэлектрик-металл (М-Д-М) достаточно полно были изучены в работах [1-2]. Однако, исследование процесса изменения электрической прочности с течением времени в большинстве случаев не проводилось. К настоящему времени практически полностью отсутствуют также попытки связать наблюдаемые закономерности нарушения электрической прочности тонкоплёночных конденсаторов (ТПК) с их надёжностью. Это существенным образом ограничивает разработку практических мер по обеспечению надёжности ТПК в процессе эксплуатации и препятствует их более широкому применению в электронной аппаратуре.

В работе на основе анализа экспериментальных данных по измерению величины пробивных напряжений ТПК, которые хранились при различных температурах окружающей среды без электрической нагрузки, делается попытка систематизации и количественной оценки необратимых изменений электрической прочности образцов ТПК со временем.

Методика измерения электрической прочности ТПК основана на многократном воздействии медленно возрастающим до пробоя постоянным напряжением. После прохождения каждого микропробоя испытательное напряжение автоматически отключалось, при этом фиксировалась величина пробойного напряжения с помощью самописца. Одновременно производился анализ амплитудного спектра пробойного напряжения образца с помощью анализатора импульсов. Блок-схема установки для измерения пробивных напряжений ТПК приведена на рис. 1. Оценка изменения величины пробойного напря-

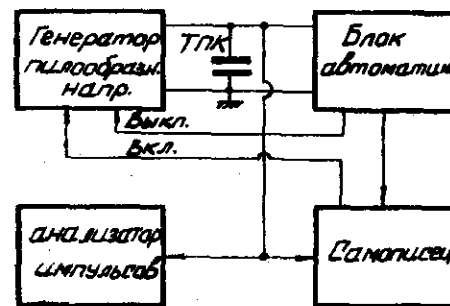


Рис. 1. Блок-схема установки для измерения пробивных напряжений ТПК.

В качестве образцов ТПК использовались структуры типа  $Al-Al_2O_3-Al$ , полученные на стеклянных подложках (площадь  $0,1 - 0,5 \text{ см}^2$ ). Плёнки алюминия осаждались методом термического испарения в вакууме, окись алюминия была получена анодированием [3]. Толщина диэлектрических плёнок составляли  $600 - 1300 \text{ \AA}$ , металлических —  $5000 - 6000 \text{ \AA}$ .

Измерение величины пробивных напряжений начиналось непосредственно после окончания процесса изготовления образцов ТПК. При этом зависимость напряжения микропробоев от его порядкового номера  $U_{пр} = f(N)$  обычно имела вид, изображенный на рис. 2.

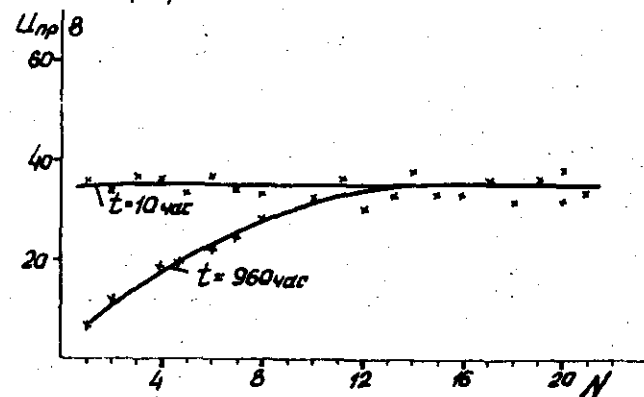


Рис. 2. Зависимость напряжения микропробоев от их порядковых номеров

жения производилась на основе анализа функции распределения значений  $U$  пр, получаемых с помощью экспериментальной установки, через различные интервалы времени:

$$P(U_{пр,t}) = P\{U_{пр} > U\}$$

где  $U_{пр,t}$  — величина напряжения микропробоя при данном  $t$ .

После выхода на "плато" измерения прекращались. Условно такую зависимость можно разделить на 2 участка: начальный участок изменения величины микропробоев и участок "плато", где величина напряжения микробоев существенно не изменяется.

Анализ функций распределения  $\rho(u_{np})$ , полученных в различные моменты времени (рис. 3) показал, что наблюдаемая асимметрия обусловлена наличием нескольких микропробоев на начальном участке функции  $u_{np} = f(N)$ .

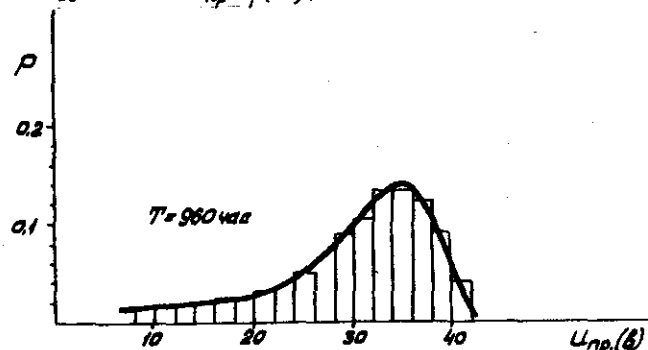


Рис.3. Типичное распределение пробивных напряжений ТПК

Очевидно, что если величина рабочего напряжения ТПК будет превышать величины напряжения начальных микропробоев, произойдет многократное нарушение электрической прочности.

В большинстве случаев для ТПК, имеющих малые значения токов утечки, после нарушения электрической прочности образцов при короткого замыкания не наблюдается. Образующиеся при отдельных микропробоях кратеры разрушения (площадью  $10^{-14}$ – $10^{-12}$  м<sup>2</sup>) не приводят к заметному уменьшению емкости образцов, поэтому окончательного отказа в большинстве случаев не происходит. Однако прохождение каждого импульса микробоя в ТПК обычно вызывает ложное срабатывание в импульсных схемах. В этих случаях следует учитывать отказы, вызванные микропробоями.

Найдем значение интенсивности отказов ТПК по отношению к микропробоям с учетом изменения электрической прочности со временем. В нашем случае распределение пробивного напряжения может быть выражено с помощью двойного показательного закона

распределения вероятностей:

$$\rho(u_{np}) = 1 - \exp\{-\exp[a(u_{np} - u_m)]\}, \quad (2)$$

где  $a$ ,  $u_m$  — параметры распределения.

Тогда, учитывая изменение величины пробивного напряжения со временем

$$u_m = u_{np0} \exp\{-\lambda t\}, \quad (3)$$

то

можно получить 4,5:

$$\lambda(t) = \lambda_0 \exp\{a(u - u_m) - \exp[a(u - u_m)] - \lambda t\} \quad (4)$$

где  $\lambda_0 = a \lambda u_m$ .

Экспериментальные значения с учетом величины дисперсии находятся в удовлетворительном соответствии с рассчитанными по выражению (4) величинами. Сравнение интенсивности отказов по отношению к микропробоям образцов ТПК, предварительно прошедших испытание циклообразным напряжением и не подвергавшихся испытаниям, показывает, что последние имеют значительно большее  $\lambda$ .

#### Выводы

1. Установлен характер изменения величины пробивных напряжений ТПК со временем. Количественно снижение электрической прочности ТПК может быть оценено изменением числа импульсов микропробоев на начальном участке зависимости  $u_{np} = f(N)$  и величин их пробивных напряжений.

2. Определено влияние процесса изменения электрической прочности ТПК на их надежность в отношении отказа типа "сбой". Это позволяет подтвердить возможность повышения надежности ТПК путем электрической тренировки.

#### Литература

1. КОСЦОВ Э.Г. О нарушении электрической прочности диэлектрических пленок. — В сб.: Вычислительные системы, вып.29. Новосибирск, изд-во "Наука", 1968, с.171-182.

2. *Thin Film Dielectrics*, New York, 1969

3. КОСЦОВ Э.Г., МИХАЙЛОВСКИЙ И.П. Тонкопленочные конденсаторы. - Автометрия, 1965, № 6.

4. СОТСКОВ Б.С. Физика отказов и определение интенсивности отказов. - В сб.: 0 надежности сложных технических систем, Изд-во "Сов.радио", 1968.

5. МЕЛАМЕДОВ И.М. Физические основы надежности. Изд-во "Энергия", Л., 1970.