

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБОЯ ПЛЕНОК МОНООКСИ КРЕМНИЯ  
НА ПОСТОЯННОМ НАПРЯЖЕНИИ

А. В. БАРАНОВ, Г. А. ВОРОБЬЕВ, Н. П. ПЕРВУХИН, А. А. ХОРОМЕНКО

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института высоких напряжений)

Исследование работы тонких диэлектрических пленок представляет практический и научный интерес.

Нами исследовался пробой пленок монооксида кремния на постоянном напряжении. На рис. 1 схематично показано устройство образца. На стеклянную подложку наносились пять полосок шириной в 1 мм из

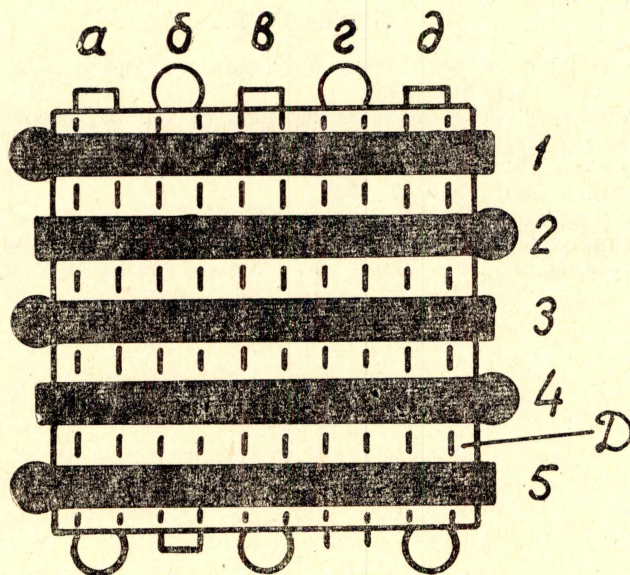


Рис. 1. Конструкция образцов (схема): 1, 2, 3, 4, 5—цифрами обозначены верхние электроды, а, б, в, г, д—буквами обозначены нижние электроды, Д—диэлектрик

алюминия. Затем наносилась пленка монооксида кремния и, наконец, наносились пять полосок из алюминия, которые были перпендикулярны ранее нанесенным. Таким образом, на одной подложке получалось 25 конденсаторов.

Распыление алюминия и монооксида кремния производилось при вакууме  $2 \div 5 \cdot 10^{-5}$  мм, рт. ст. Толщина пленки монооксида кремния исследуемых образцов составляла  $300 \div 5000 \text{ \AA}$ .

При исследовании использовалась электрическая схема, показанная на рис. 2 и позволяющая измерять напряжение на образце и ток через образец. При напряжениях в десятки вольт ток через один конденсатор составляет  $10^{-8} \div 10^{-7}$  а (плотность тока  $10^{-10} \div 10^{-9}$  а/см<sup>2</sup>) и возрастает с увеличением напряжения обычно примерно по линейному закону, если ток откладывается в логарифмическом масштабе (рис. 3).

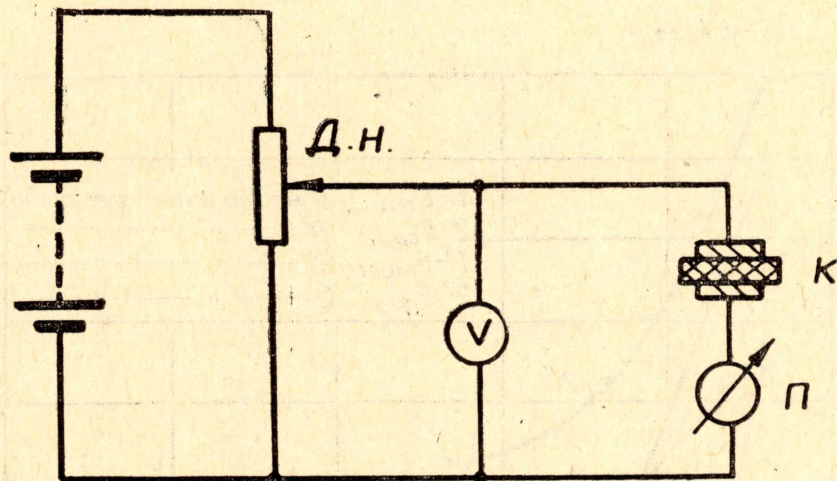


Рис. 2. Схема для исследования пробоя и электропроводности пленок

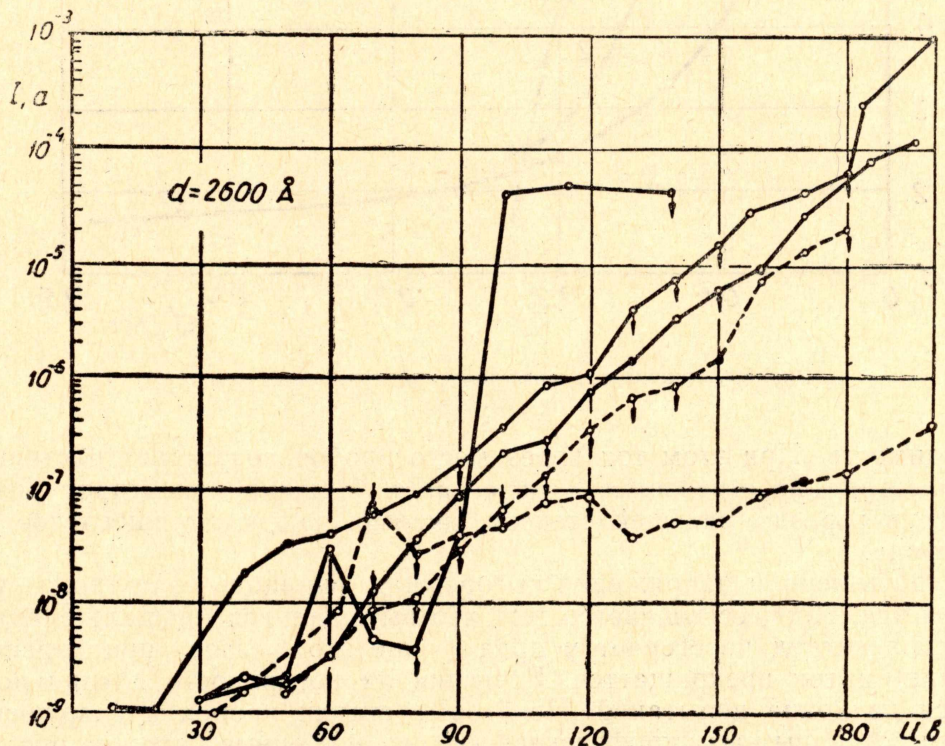


Рис. 3. Вольтамперные характеристики пленки SiO<sub>2</sub>, d=2600 Å

При напряжениях в десятки вольт появляются первые вспышки на поверхности пленки, связанные с пробоем наиболее слабого места в диэлектрике и оплавлением металлического электрода вокруг места

пробоя. С повышением напряжения вспышки появляются все чаще, а затем опять реже. Иногда вспышки идут преимущественно по границе электродов, что связано с краевым эффектом. Краевой эффект указывает на электрический характер пробоя. Начиная с некоторого напряжения, наблюдается выгорание верхнего электрода вокруг пробитого места. Видимо, при пробое диэлектрической пленки выделяется кремний, за счет чего в сильной степени возрастает поверхностная

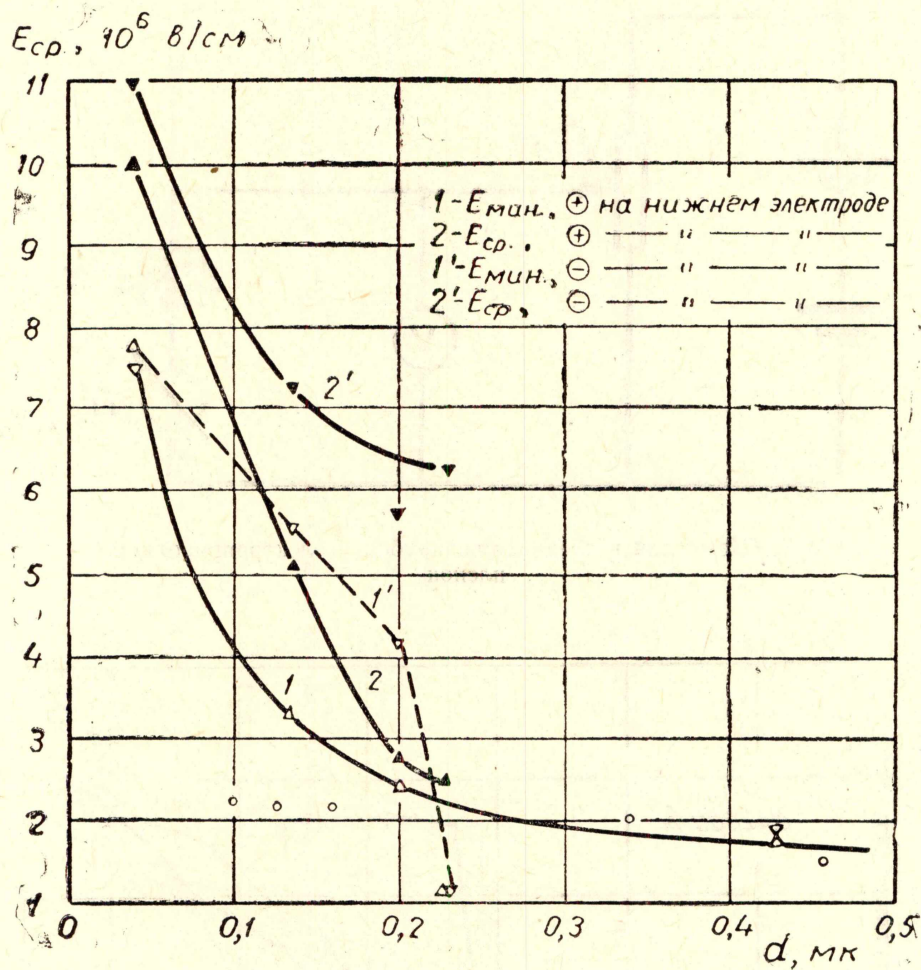


Рис. 5. Зависимость электрической прочности пленок от толщины.

проводимость. При этом ток через место пробоя возрастает настолько, что электрод перегревается и перегорает. Нижний электрод разрушается в гораздо меньшей степени, видимо, за счет худшего доступа кислорода.

С повышением напряжения выгоревшая площадь электрода увеличивается. Процесс кончается тем, что выгорает вся площадь электрода или электрод перегорает у края (чаще это бывает при краевом разряде) и ток прекращается. Вспышки на поверхности пленки появляются до конца испытаний. Некоторые стадии пробоя и разрушения пленки показаны на микрофотографиях рис. 4. Черные пятна на рис. 4, а указывают на места вспышек; на рис. 4, б эти пятна увеличивались за счет выгорания верхнего электрода; на рис. 4, в показано сильное выгорание электрода.

На рис. 3 показаны стрелками точки, соответствующие вспышкам. Первые вспышки соответствуют минимальным пробивным напряжени-

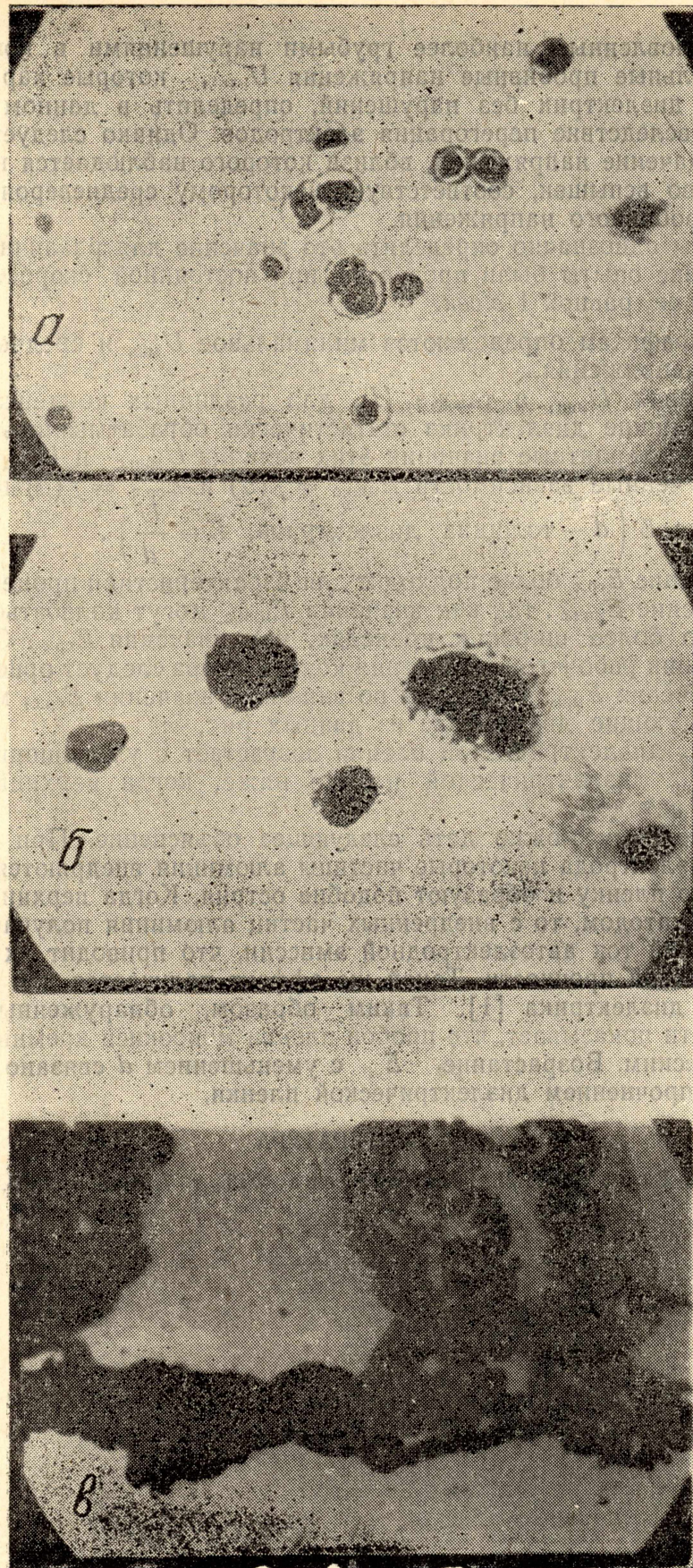


Рис. 4. Характерные стадии пробоя пленок:  
а — следы вспышек; б — начало выгорания пленки; в — полное выгорание пленки

ям, обусловленным наиболее грубыми нарушениями в конденсаторе. Максимальные пробивные напряжения  $U_{\max}$ , которые характеризуют твердый диэлектрик без нарушений, определить в данном случае не удалось вследствие перегорания электродов. Однако следует полагать, что то значение напряжения, вблизи которого наблюдается наибольшее количество вспышек, соответствует некоторому средневероятному значению пробивного напряжения.

Чтобы однозначно определить это значение для различных пленок, дальнейшие опыты были проведены при постоянной скорости подъема напряжения, равной 1 в/сек.

По графикам определяются минимальное  $U_{\min}$  и среднее  $U_{\text{ср}}$  пробивные напряжения.

Значения  $U_{\min}$ , а также  $U_{\text{ср}}$  для различных конденсаторов при одной толщине диэлектрика статистически обрабатывались и находились средневероятные значения этих величин  $U_{\min.c}$  и  $U_{\text{ср}.c}$

Полученные зависимости  $E_{\min.c} = f(d)$  и  $E_{\text{ср}.c} = f(d)$  представлены на рис. 5 ( $d$  — толщина диэлектрика,  $E = \frac{U}{d}$ ).

Значение  $E_{\text{ср}.c}$  более подходит для характеристики процесса пробоя, чем значение  $E_{\min.c}$ , так как значения  $E_{\min.c}$  могут колебаться, видимо, в гораздо более широких пределах, чем значения  $E_{\text{ср}.c}$ . Однако для определения рабочего напряжения конденсатора следует ориентироваться на значения  $E_{\min}$ . Принимая во внимание значения  $E_{\text{ср}.c}$ , можно сделать следующие два вывода из данных рис. 5:

1.  $E_{\text{пр}}$  диэлектрической пленки возрастает с уменьшением  $d$ .
2.  $E_{\text{пр}}$  диэлектрической пленки ниже, когда верхний электрод является катодом.

Последнему можно дать следующее объяснение. При напылении верхнего электрода некоторые частицы алюминия внедряются в диэлектрическую пленку и образуют подобие острия. Когда верхний электрод является катодом, то с внедренных частиц алюминия получается, видимо, большой ток автоэлектродной эмиссии, что приводит к снижению электрической прочности. Такой же эффект получается для сплошного твердого диэлектрика [1]. Таким образом, обнаруженный эффект полярности показывает, что пробой пленки монооксида кремния является электрическим. Возрастание  $E_{\text{пр}}$  с уменьшением  $d$  связано с электрическим упрочнением диэлектрической пленки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Воробьев, Л. Г. Некрасова. ФТТ, т. 7, вып. 4, 1965.