

Институт радиофизики и электроники  
АН УССР, Харьков

Поступило в Редакцию  
14 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 6

26 марта 1990 г.

04; 05.2

© 1990

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ ЧЕРЕЗ ДИНАМИЧЕСКУЮ ТРЕЩИНУ В ШГК

В.М. Ф и н к е л ь, Б.Б. К о н к и н

Определены пороговые напряжения при внешнем электрическом пробое через полость динамической трещины. Проанализированы условия, способствующие их уменьшению в сравнении с пробивной напряженностью по поверхности диэлектриков. Обсуждается механизм развития очага пробоя впереди регистрируемого в отраженном свете фронта разрушения.

В работе исследован электрический пробой через динамическую трещину и выявлены особенности его развития.

1. Известно [1, 2], что пробивная напряженность воздуха составляет 3 кВ/мм. При пробое по поверхности диэлектриков это значение уменьшалось и составляло для монокристаллов *NaCl* 2.1-2.8 кВ/мм и *LiF* 2.2-2.9 кВ/мм. Через динамическую трещину пробивная напряженность понижалась до 0.9 кВ/мм. Регистрация процесса разрушения образцов *NaCl* (рис. 1,а) высокоскоростной установкой ВФУ-1 показала, что при этом пробой развивался параллельно фронту через 15-30 мкс после проникновения трещины в межэлектродную зону.

При распространении скола в ШГК появляются свободные [3] и связанные [4] электрические заряды. В вершине движущейся трещины концентрируется отрицательный заряд с линейной плотностью  $\sim 10^{-12}$  Кл/мм [5]. В полости трещины находятся [3] ионы и электроны. Свежеобразованные поверхности несут на себе заряд, плотность которого достигает  $\sim 10^{-9}$  Кл/мм<sup>2</sup> [6]. Это приводит к возникновению электрического поля между берегами трещины напряженностью  $\sim 100$  кВ/мм. Однако вследствие релаксации плотность образовавшихся зарядов уже через 4 мкс после разрушения уменьшается более чем на два порядка [6]. Поскольку внешний пробой развивался спустя 15-30 мкс после проникновения скола в межэлектродную зону, то понижение порогового напряжения вряд ли обуславливается электрическим полем динамической трещины.

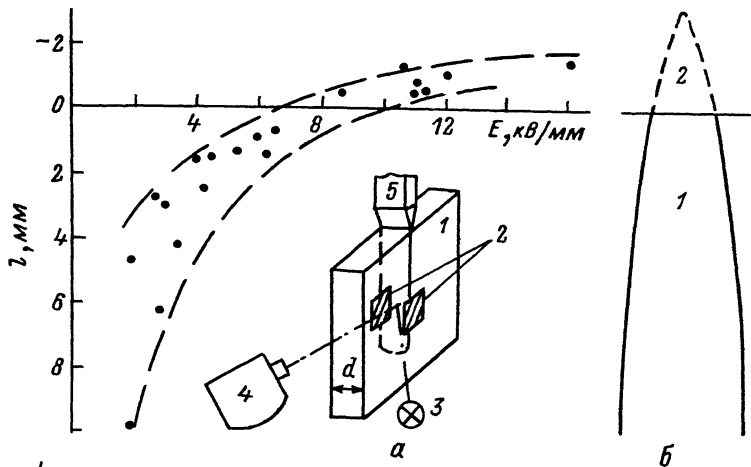


Рис. 1. Расстояние  $z$  от канала пробоя до вершины динамической трещины при различных значениях напряженности электрического поля  $E$ : для  $E > 8$  кВ/мм указан канал второго очага разряда,  $z = 0$  — расположение видимого фронта разрушения. а — схема регистрации процесса разрушения ШК в электрическом поле: 1 — образец толщиной  $a$ , 2 — электроды, 3 — лампа-вспышка, 4 — ВФУ-1, 5 — нож; б — схема профиля динамической трещины: 1 — видимая и 2 — невидимая в отраженном свете ее области.

Вместе с тем, в момент своего возникновения трещина вакуумирована. Можно предположить, что к началу развития пробоя давление в ее полости еще не достигало атмосферного. Пониженное давление, как известно [1, 2], приводит к уменьшению пробивного напряжения и может являться одной из причин, объясняющих экспериментальный результат.

Следует отметить, что на ранней стадии вскрытия трещины (порядка нескольких межатомных расстояний) разные компоненты воздуха могут проникать в ее полость с различной интенсивностью, определяемой вязкостью и размерами атомов. Однако, учитывая, что пробой развивался при расхождении берегов трещины соизмеримом с длиной световой волны и в газах, входящих в состав атмосферы, разряд формируется примерно при одинаковых условиях [7], дифференциация атмосферного состава не проводилась.

Оценить давление  $p$  внутри динамической трещины позволяет кривая Пашена [7] для воздуха, которая представляет потенциал зажигания  $V$  как функцию  $p$  и межэлектродного расстояния  $d(p, d)$ . Учитывая, что напряжение пробоя в нашем случае составляло  $V = 2.7$  кВ и расстояние между электродами, определяемое толщиной образца,  $d = 3$  мм, получаем  $p \approx 150$  мм рт. ст. Однако из зависимости Пашена следует, что существует минимальное значе-

ние потенциала зажигания  $V_{min} = 0.3$  кВ при величине  $\rho d \approx 5$  мм рт. ст.·мм. Поскольку при заполнении полости трещины воздухом давление в ней возрастает непрерывно, то в какой-то момент времени после начала разрушения величина  $\rho d$  примет значение, необходимое для пробоя при минимальном потенциале зажигания. Возникает вопрос, почему пробой не развивался при минимально возможном напряжении?

Дело в том, что для возникновения пробоя необходимо, в частности, образование лавины электронов между электродами [1]. Вероятно, вскрытие трещины к моменту ожидаемого разряда должно быть не менее диаметра этой лавины. Оценим сечение канала пробоя при  $V_{min} = 0.3$  кВ, воспользовавшись соотношением [1] для эффективного радиуса лавины

$$r = [4W_{cp} \cdot d^2 / (eV)]^{1/2}, \quad (1)$$

где  $e$  - заряд и  $W_{cp} = 3.6$  эВ [1] - средняя энергия электронов,  $d$  - расстояние между электродами. Находим, что расхождение берегов трещины к моменту возникновения пробоя должно составлять  $u = 2r \approx 1.3$  мм. В балочном приближении такое вскрытие, согласно выражению [3],

$$u(L_0, t) = \frac{4f}{Eh^3} \sigma^2 t^2 (3L_0 + 2\sigma t) \quad (2)$$

при силе, действующей на единицу длины края трещины, равной  $f = 10^4$  Н/м, осуществится лишь через  $t \approx 100$  мкс<sup>1</sup> после прохождения трещины в рассматриваемой точке.

Таким образом, пороговое напряжение через динамическую толщину определяется не только давлением в ее полости и расстоянием между электродами, но и вскрытием трещины.

2. С увеличением напряженности электрического поля от 1 до 7 кВ/мм канал пробоя приближался к вершине трещины (рис. 1). При этом, согласно выражению (1), сечение электронной лавины уменьшалось, что давало возможность возникновению пробоя при меньшем вскрытии трещины.

Однако, начиная с  $E = 8$  кВ/мм, развивались два очага пробоя. Первый из них находился в визуальной регистрируемой зоне разрушения. Второй очаг опережал видимую вершину трещины (рис. 2) на расстояния до 1.5 мм (рис. 1). (Скорость распространения скола, стимулированного разрядом, превышала в этих случаях 2000 м/с.).

<sup>1</sup> При вычислении использовались следующие значения:  $\sigma = 600$  м/с - скорость разрушения,  $E = 3.6 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup> - модуль Юнга для NaCl,  $L_0 = 10$  мм - расстояние от края трещины до канала пробоя,  $2h = 15$  мм - ширина образца.

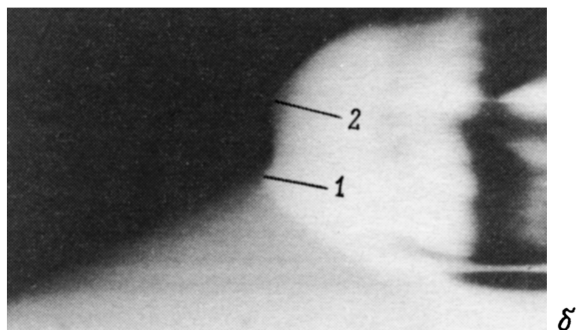
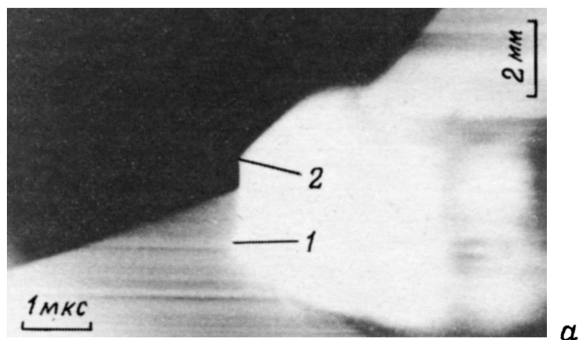


Рис. 2. Фоторегистрограммы разрушения: 1 - первый и 2 - второй очаги пробоя. а -  $NaCl$ ,  $E = 11$  кВ/мм; б -  $LiF$ ,  $E = 16$  кВ/мм.

Воспользовавшись соотношением (2), находим, что расхождение берегов трещины, необходимое для наблюдения ее в отраженном свете, достигалось примерно через 3 мкс после начала разрушения. За это время, распространяясь в ШГК со скоростью 600 м/с, фронт разрушения проникал в материал еще на 1.8 мм. Следовательно, в месте локализации второго очага разряда трещина, хотя оптически и не регистрировалась, уже существовала (рис. 1,б).

Механизм двухочагового пробоя представляется следующим образом. Динамическая трещина уже перед межэлектродной зоной оказывалась в электрическом поле, достаточном для осуществления пробоя. Его возникновение отмечалось первым очагом разряда, в процессе развития которого образовывалась плазма, способная расширяться со скоростью  $v \approx 2 \cdot 10^4$  м/с [2]. Развитие второго очага пробоя задерживалось относительно начала первого на 0.05-0.2 мкс. За это время фронт плазмы мог преодолеть расстояние 1-4 мм и достичь предвершинной невидимой части трещины. Вскрытие ее было недостаточным для традиционного пробоя, однако присутствие плазмы стимулировало его возникновение.

Таким образом, первый очаг пробоя в нашем случае выполнял роль поджигающей искры [8], в результате которой развивался разряд в предвершинной вакуумированной области трещины.

- [1] Л о з а н с к и й Э.Д., Ф и р с о в О.Б. Теория искры. М.: Атомиздат, 1975.
- [2] С л и в к о в И.Н. Процессы при высоком напряжении в вакууме. М.: Энергоиздат, 1986.
- [3] М о л о ц к и й М.И. // ФТТ. 1977. Вып. 19. С. 642.
- [4] G r o t o v V.V., R o z n o A.G., R o m a n o v A.V. // Crys. Res. and Technol. 1984. Вып. 19. С. 557.
- [5] Г е р ш е н з о н Н.И., З и л п и м и а н и Д.О., М а н д ж г а л а д з е П.В., П о х о т е л о в О.А., Ч е л и д з е Э.Т. // ДАН СССР. 1986. Вып. 288. № 1. С. 75.
- [6] М о л о ц к и й М.И. // ФТТ. 1976. Вып. 18. С. 1763.
- [7] Р а й з е р Ю.П. Основы современной физики газоразрядных процессов. М.: Наука, 1980.
- [8] F l u n n R.T.G. // Proc. Phys. Soc. 1956. Вып. 69. С. 748.

Поступило в Редакцию  
23 мая 1989 г.

В окончательной редакции  
23 ноября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 6

26 марта 1990 г.

05; 07

© 1990

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ БАРЬЕРА ШОТКИ НА ФЛУОРЕСЦЕНЦИЮ СИСТЕМЫ $Ag$ -ПЛЕНКА ТЕТРАЦЕНА

С.В. З а в а ц к и й, Ю.П. П и р я т и н с к и й

В последние годы заметно возрос интерес к использованию органических материалов как элементов молекулярной электроники [1]. В этой связи представляет интерес изучение влияния поверхности металлической пленки на фотоэлектронные свойства граничащей с ней молекулярной структурой. Известно [2], что учет границы среды приводит к появлению поверхностных состояний для различного рода квазичастиц – электронов, экситонов, фононов. На границе с металлом в молекулярных кристаллах наблюдается „металлическое“ тушение экситонов [3], а также образование полярных мономолекулярных слоев [4].

В данной работе на основе анализа спектров время–разрешенной фотолуминесценции (ФЛ) изучено влияние металлического электрода на флуоресцентные состояния пленок тетрацена (Тц).