

СВЕРХСИЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В ТОНКИХ ОДНОРОДНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЯХ

Г.А. Воробьев

Электрическая прочность диэлектрика, определяемая предельную напряженность электрического поля, которая может быть еще достигнута без пробоя, возрастает с уменьшением толщины диэлектрика. Эта закономерность получила название электрического упрочнения. Физическая сущность этой закономерности определяется механизмом пробоя. Так, при электротепловом пробое подобное явление наблюдается потому, что с уменьшением толщины диэлектрика улучшаются условия теплоотвода тепла от внутренних слоев диэлектрика. В случае электрического пробоя и, в частности, газового разряда с уменьшением межэлектродного расстояния по закону экспоненты убывает число электронов в лавине, которое для осуществления пробоя должно быть не меньше некоторой величины. Для увеличения числа электронов в лавине необходимо увеличить коэффициент ударной ионизации, чего можно достигнуть увеличением напряженности поля.

А.Ф. Иоффе [1] выдвинул первую теорию электрического пробоя твердых диэлектриков, возникающего вследствие ударной ионизации, и предположил в них наличие электрического упрочнения. Однако в те годы [2] данное предположение не получило экспериментального подтверждения. Основной причиной этого следует счи-

тать то, что использованные образцы твердых диэлектриков содержали слабые места, в которых пробой мешал обнаружить искомую закономерность.

Создание микронных и субмикронных слоев в толще однородного твердого диэлектрика [3,4] позволило обнаружить электрическое упрочнение в щелочногалогенидных кристаллах, оргстекле, целлулоиде [5,6]. Купером и др. [7] обнаружено электрическое упрочнение в полиэтилене. Таким образом, можно считать подтвержденным экспериментально предположение А.Ф. Иоффе. Кроме этого, обнаружение электрического упрочнения имеет и то принципиальное значение, что показывает возможность создания в достаточно тонких слоях однородного твердого диэлектрика такого сильного электрического поля, при котором будет наблюдаться ударная ионизация, электронная эмиссия и другие электронные процессы без пробоя образца.

Такие поля естественно назвать сверхсильными электрическими полями, если учесть, что предпробивные поля для твердых диэлектриков толщиной 0,1 мм и выше, когда электрическое упрочнение слабо проявляется, называются сильными.

Исследование электронных процессов в твердых диэлектриках в сверхсильных электрических полях имеет не только научное значение, но и перспективно в отношении выявления возможностей создания новых электронных приборов. Некоторые результаты получены для микронных слоев щелочно-галогенидных кристаллов.

1. Токи

В кристаллах каменной соли и хлористого калия толщиной 10 ± 20 мкм на постоянном напряжении наблюдались токи $10^{-8} + 10^{-7}$ а (плотность тока $10^{-4} + 10^{-3}$ а/см²) [8], значительно большие тех, которые могли бы обусловить ионы, и поэтому, следует считать, носящие электронный характер. На импульсном напряжении токи в кристаллах KCl и KBr с электродами из электролита были значительно больше и имели некоторые особенности, связанные со строением кристалла [9,10]. Важную роль в вытягивании электронов с катода, по всей вероятности, имеют анионные вакансии. Это подтверждается такими фактами. При воздействии на образец пря-

моугольного импульса напряжения фронт импульса тока различен в закаленных и отожженных образцах: в закаленных в пределах погрешности измерений ($\sim 10^{-7}$ сек) повторяет фронт импульса напряжения, а в отожженных — составляет десятки мксек. Известно, что в отожженных кристаллах вакансии собираются в сложные комплексы, а в закаленных кристаллах вакансии "застревают", не успев объединиться. Находящиеся вблизи катодной поверхности одиночные анионные вакансии собственным электрическим полем без инерции способствуют вытягиванию электронов из катода. В отожженных кристаллах блок вакансий должен повернуться таким образом, чтобы анионная вакансия была обращена к катоду, а на это требуется время.

Импульсный ток за 30–50 мксек практически затухает до нуля, что связывается с захватом электронов к прикатодной области, и ведет к созданию отрицательного объемного заряда, ограничивающего эмиссию с катода.

По мере воздействия на один и тот же образец нескольких импульсов напряжения ток уменьшается, что связывается также с образованием прикатодного отрицательного объемного заряда.

Захваченные электроны, по всей вероятности, занимают достаточно глубокие уровни, так как токи в образце не восстанавливаются после хранения в течение нескольких часов или облучения искрой.

2. Свечение

В кристаллах каменной соли, хлористого калия и фтористого лития с электродами из электролита на основе спиртов наблюдается регулярно свечение при воздействии переменного напряжения [11+14]. В случае каменной соли критическая напряженность поля составляет $2 \cdot 10^6$ в/см. Не останавливаясь подробно на описании этого явления, отметим, что интенсивность свечения непосредственно связана с протекающим через образец током. Остальные факторы (напряжение, время) влияют на интенсивность постольку, поскольку они влияют и на протекающий электронный ток. Опыты с электронным контактом, когда электроны с энергией $500 + 700$ эв бомбардировали катодную поверхность образца, показали,

что в прикатодной области создается настолько значительный объемный заряд, что электроны с указанной энергией не попадают в кристалл.

Приведенные краткие данные об электронных процессах в галоидно-галогенидных кристаллах в сверхслабых электрических полях показывают, что указанные материалы и, видимо, другие ионные кристаллы вряд ли перспективны в отношении создания на их основе электронных приборов. Это вытекает из того, что электронные токи быстро затухают вследствие образования отрицательного объемного заряда. Существенным недостатком практического характера следует считать и то, что значительные токи наблюдаются лишь с электролитными электродами.

По всей вероятности, могут быть перспективными тонкие слои кристаллов с малой долей ионной связи и со сравнительно небольшой шириной ($3+5$ эв) запрещенной зоны.

Л и т е р а т у р а

1. МОФЕ А.Ф. УФН, 8, 141, 1928.
2. АЛЕКСАНДРОВ А.П., МОФЕ А.Ф., ЖФ, 3, 32, 1933.
3. ВОРОБЬЕВ Г.А., КОСТРЫГИН В.А., МУРАШКО Л.Т. ПТЭ, 5, 198, 1962.
4. ВОРОБЬЕВ Г.А., ПИКАЛОВА И.С. ПТЭ, 1, 198, 1967.
5. КОСТРЫГИН В.А. ФТТ, 2, 8, 1841, 1960.
6. ВОРОБЬЕВ Г.А., ВОРОБЬЕВ Г.А., КОСТРЫГИН В.А. Изв. АН СССР, ОТН, "Энергетика и автоматика", 2, 62, 1961.
7. COOPER B., ROWSON C.H., WATSON D.B. Nature, 193, 4868, 663, 1963.
8. ВОРОБЬЕВ Г.А., КОСТРЫГИН В.А., КОСТРЫГИНА Н.П. ФТТ, 3, 9, 2680, 1961.
9. БАРАНОВ А.В., ВОРОБЬЕВ Г.А. Изв. МВО СССР, Физика, 4, 179, 1965.
10. БАРАНОВ А.В., ВОРОБЬЕВ Г.А. "Радиотехника и электроника", 10, 11, 2072, 1965.
11. ВОРОБЬЕВ Г.А., ПИКАЛОВА И.С. ФТТ, 2, 4, 961, 1967.
12. ВОРОБЬЕВ Г.А., РАМАЗАНОВ П.Е., НЕСМЕЛОВ Н.С., ПИКАЛОВА И.С. Изв. МВ ССО СССР, Физика, 5, 116, 1968.
13. НЕСМЕЛОВ Н.С. ФТТ, 11, 5, 1081, 1969.
14. ВОРОБЬЕВ Г.А., НЕСМЕЛОВ Н.С. ФТТ, 10, 12, 3691, 1968.