

ЗАМЕЧАНИЯ О ВЛИЯНИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ ЩЕЛОЧНО- ГАЛОИДНЫХ СОЛЕЙ НА ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

А. А. ВОРОБЬЕВ

Много раз высказывалась гипотеза о влиянии пластической деформации на электрическую прочность твердых диэлектриков. Экспериментальные результаты большей частью приводили к заключению об отсутствии первичного влияния пластической деформации на электрическую прочность твердых диэлектриков. Вместе с тем исследователи подчеркивали, что вторичные явления при пластической деформации, как то уплотнение материала или, наоборот, нарушение его сплошности и образование трещин, изменяют величину электрической прочности диэлектрика [1]. В последнее время вновь возвратились к рассмотрению этого вопроса. Некоторые авторы, придерживающиеся ионизационной теории электрического пробоя твердых диэлектриков, предложенной Фролихом, стараются доказать, что пластическая деформация приводит к увеличению электрической прочности твердых диэлектриков.

Колдервуд, Купер и Уоллес [2] в работе „Опытное изучение факторов, влияющих на электрическую прочность KCl“ указывают, что она слабо зависит от материала электрода. Электрическая прочность кристаллов NaCl и KCl значительно повышается после обработки, которая вводит структурные дефекты, связанные с остаточными механическими напряжениями и пластической деформацией.

Указанные авторы склонны объяснить разброс точек, наблюдаемый при измерении электрической прочности, влиянием механически напряженного состояния.

Ими проведены опыты по пробоеу отожженных и неотожженных образцов NaCl и KCl, изготовленных из одного монокристалла, выращенного из расплава. Опыты проводились на постоянном напряжении; образцы применялись с лунками. Электроды из коллоидального графита или серебра наносились после отжига образца. Толщина пробиваемого слоя кристалла составляла 0,01—0,2 мм. Максимальное значение электрической прочности отожженных образцов получалось почти на 50% меньше, чем для неотожженных.

Авторы утверждают, что образцы, показавшие высокую электрическую прочность, имели механические напряжения, которые были зафиксированы с помощью специального анализатора. Отожженные образцы не имели механических напряжений. Их структура является более однородной, поэтому разброс точек при измерении электрической прочности получается меньше. Высокие значения электрической прочности, по мнению авторов этой работы, получаются вследствие нарушения кристаллической структуры. Это объяснение находится в соответствии с теорией ударной ионизации электронами.

В другой работе Колдервуд и Купер уже не различают электрической прочности отоженных и неотоженных кристаллов NaCl и KCl. Они построили зависимость пробивного напряжения от толщины, где имеются точки для отоженных и неотоженных кристаллов. Эти результаты находятся в противоречии с другими, полученными разными авторами.

Как показала Е. К. Завадовская [3], диэлектрики в электрическом поле перед пробоем испытывают большие механические усилия. Величина механических напряжений в диэлектрике перед пробоем может не только значительно превосходить предел пластичности материала, но в отдельных случаях превосходить и предел прочности.

При высокой величине механических усилий в диэлектрике, находящемся в сильном электрическом поле, должна происходить пластическая деформация. Возникновение пластической деформации в монокристалле можно определить оптическим методом.

Купер и Уоллес [4] недавно произвели интересные наблюдения возникновения пластической деформации в монокристаллах KCl в однородном электрическом поле при воздействии импульсного напряжения $1/50 \text{ мксек}$.

Для получения однородного поля образцы применялись с лунками. Электроды были прозрачные из раствора KCl в глицерине. Область наибольшей напряженности электрического поля в центре лунки просматривалась с помощью микроскопа при освещении поляризованным светом в направлении электрического поля.

Наблюдения производились на трех группах образцов соответственно при действии поля в направлении [100], [110] и [111].

До воздействия на образец напряжения просветления в них не наблюдалось. Пробой образцов по направлению [100] происходил при напряженности поля $6-7 \cdot 10^5 \text{ в/см}$, при которых еще не наблюдается пластической деформации и просветления поля. После воздействия на образцы импульсного напряжения порядка 80 % от пробивного наблюдалось просветление поля для всех образцов, пробиваемых по направлению [110] и [111].

Пробой происходил при напряженности поля порядка $1,1 \cdot 10^6 \text{ в/см}$. С увеличением напряженности поля возрастала и область просветления в поляризованном свете. Образцы, обнаружившие более высокую прочность, пробивались при более сильном просветлении. Таким образом, после воздействия коротких электрических импульсов в образцах возникали остаточные механические напряжения и сохранялось просветление области при скрещенных поляризаторе и анализаторе. Очевидно, что если образцы были предварительно отожены, то после того как напряженность электрического поля в них достигнет некоторой величины, происходит пластическая деформация материала, и образцы пробиваются деформированными.

Следовательно, утверждение, что имеется разница в измеряемой электрической прочности предварительно деформированных и недеформированных образцов не имеет смысла, так как пробиваются образцы всегда деформированные.

Приведенные материалы по наблюдениям пластической деформации монокристаллов в сильном электрическом поле представляют значительный научный интерес. Экспериментально подтверждены расчеты Е. К. Завадовской и показано, что пробой образца, имеющему высокую электрическую прочность, всегда предшествует его пластическая деформация, а возможно, и его механическое разрушение. Экспериментальные результаты Купера и Уоллеса противоречат мнению, вновь высказанному ими в этой же статье об упрочняющем влиянии пластической деформации. В этой статье Купер и Уоллес, пытаясь подкрепить свою мысль, явно переставляя местами причину и следствие, указывают, что наибольшая электрическая прочность была получена для образцов, которые показывали перед

пробоем наибольшее просветление поля, т. е. наиболее деформированные образцы обладали наибольшей электрической прочностью. Очевидно, что более высококачественные образцы, выдерживая большую электрическую нагрузку и большие механические усилия, показывали большие просветления поля в поляризационном приборе.

В ряде опубликованных работ [5] было показано, что электрическая прочность твердых диэлектриков увеличивается с возрастанием энергии решетки. Величина энергии решетки при пластической деформации монокристаллов изменяется на несколько процентов. Такое изменение энергии решетки будет сопровождаться соответственно малым изменением величины электрической прочности и практически вряд ли определимо. Опубликованные экспериментальные материалы подтверждают это положение; с этим положением согласуются и изложенные последние экспериментальные данные Купера и Уоллеса, несмотря на обратную тенденцию их авторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А. А. Известия ТПИ, т. 63, 1944.
Воробьев А. А. Труды Сиб. Физ.-техн. института, 1945, т. 6, в. 2, 37—51.
Воробьев А. А. ДАН, т. XXVI, в. 8, 1940.
Воробьев А. А. Труды СФТИ, т. VI, в. 2, 1939.
Воробьев А. А. Электричество, 1940.
 2. I. H. Calderwood, R Cooper and Wallance Proc. Phys. Soc. B. 65, 301—302, 1952 66, 74—80, 1953.
 3. Завадовская Е. К. ДАН, 81, 541—543, 1951.
 4. R. Cooper and A. A. Wallance Proc. Phys. Soc. 66, 1113—1115, 1953.
 5. Воробьев А. А. и Завадовская Е. К. ДАН 81, 375—377, 1951.
Завадовская Е. К. ДАН 82, 5, 709—712, 1952.
-