

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ И ЭНЕРГИЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОНОВ В ДИЭЛЕКТРИКЕ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ
ДАНЫМ

А. А. ВОРОБЬЕВ и Е. К. ЗАВАДОВСКАЯ

Электрическому разрушению диэлектрика предшествует потеря им электрической прочности, наступающая вследствие увеличения электронной проводимости. Чем слабее закреплены электроны, тем при меньшей напряженности электрического поля они будут освобождены.

Таким образом, интересно сопоставить величину электрической прочности диэлектрика и величину энергии закрепления наиболее слабо связанных электронов.

Сопоставление величины электрической прочности кристаллов солей щелочно-галогидного ряда с величиной энергии, соответствующей краю общего собственного поглощения, показало, что здесь имеет место возрастающая зависимость. Диэлектрикам с высокой электрической прочностью присуща большая величина энергии связи электронов в решетке. Положение края полосы собственного поглощения для кристаллов щелочно-галогидных солей почти не зависит от металла, но изменяется при замене галоида.

Сопоставление величины электрической прочности кристаллов с величиной энергии сродства электрона к галогиду показало, что с увеличением энергии электронного сродства к галогиду возрастает электрическая прочность диэлектрика.

В реальных кристаллах щелочно-галогидных кристаллов схема энергетических уровней является более сложной, чем для кристаллов с ненарушенной структурой. Теоретически условия возникновения энергетических уровней в кристаллах были изучены советскими учеными Таммом, Соколовым, Волькенштейном, Бонч-Бруевичем и др.

Исследования Тартаковского по внутреннему фотоэффекту в диэлектриках позволили построить схему энергетических уровней для электронов в реальных кристаллах. Кроме двух основных зон энергий—зоны проводимости и основной зоны для реальных кристаллов, экспериментально определены еще дополнительные уровни энергии, соответствующие неоднородностям и так называемым центрам окраски (F —центрам). Разница между теми и другими уровнями невелика и составляет доли электрон-вольты.

Переход электронов из основной зоны в зону проводимости соответствует краю собственного поглощения кристалла в ультрафиолетовой части спектра. Поглощение света в видимой части спектра, наблюдаемое в окрашенных кристаллах щелочно-галогидных солей, соответствует переходу из F полосы в зону проводимости. Переход электронов в зону проводимости при поглощении света сопровождается возникновением проводимости.

Это явление, хорошо изученное советскими учеными Иоффе, Лукир-

ским, Тартаковским, Наследовым и другими, получило название фотопроводимости диэлектриков при внутреннем фотоэффекте.

В ионных кристаллах наиболее слабо связанными являются электроны, находящиеся на уровнях, соответствующих неоднородностям и центрам окраски.

На фиг. 1 приведена зависимость величины электрической прочности от энергии кванта, соответствующего максимуму F —полосы поглощения.

Из этих данных видно, что между величиной электрической прочности и энергией, необходимой для освобождения наиболее слабо связанных электронов решетки, имеется простая зависимость. Аналитически эта зависимость может быть представлена уравнением прямой в виде:

$$E_{np} = \Delta W_F - 1,2, \quad (1)$$

где E_{np} — в мв/см,

ΔW_F — в электронвольтах.

Согласно теории электрического пробоя Фролиха, величина электрической прочности должна уменьшаться с увеличением энергии, необходи-

мой для освобождения электронов. Экспериментальные данные приводят к выводу о существовании обратной зависимости.

В согласии с закономерностью, представленной на фиг. 1, находится низкая электрическая прочность полупроводников. В полупроводниках ширина запрещенного промежутка энергии для электронов невелика и составляет доли электронвольта.

В этом случае переход электронов в зону проводимости происходит под действием видимого света и даже инфракрасного излучения. Переход электронов также возможен и при повышении температуры. Малое значение энергии, необходимой для освобождения и перевода электронов в зону проводимости, определяет и низкую электрическую прочность полупроводников.

Укажем также, что для окислов металлов, имеющих высокую электрическую прочность, первый максимум поглощения соответствует 10—15 электронвольт.

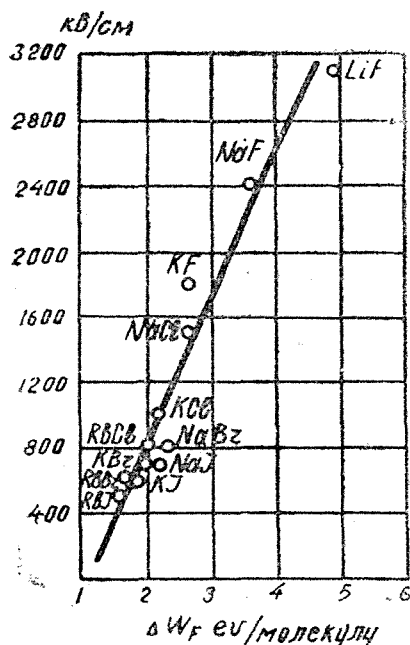
Тартаковский и Рекалова установили для монокристаллов серы наличие уровня энергий на расстоянии 0,45 электронвольт

Фиг. 1. Электрическая прочность и энергия ΔW_F , соответствующая максимуму F —полосы поглощения

от основной зоны. Невысокое значение энергии связи электронов в сере соответствует высокой поляризуемости иона серы, превышающей в десять раз поляризуемость иона фтора и в три раза поляризуемость ионов кислорода.

Если считать, что электрическая прочность определяется только энергией связи наиболее слабо закрепленных электронов, то для монокристаллов серы, по формуле (1), получим $E_{np} = 1,5$ мв/см.

Это соответствует значениям электрической прочности монокристаллов серы (1,5—1,8 мв/см), полученным одним из нас. В монокристаллах MgO край собственного поглощения лежит около 6 электронвольт. В окрашенных монокристаллах MgO , имеющих избыточный кислород, макси-



мум полосы поглощения соответствует $4,34 \text{ ev}$, а при наличии избыточного Mg наблюдается три максимума поглощения, соответствующие $4,95; 3,6$ и $2,35 \text{ ev}$.

Электрическая прочность окрашенных кристаллов MgO соответственно по формуле (1) оказывается равной: $2,14 \text{ мв/см}$ и $3,74 \text{ мв/см}$.

Значительное понижение электрической прочности кристаллической решетки MgO при избытке кислорода связано, вероятно, с большими размерами радиуса двухзарядного отрицательного иона кислорода ($1,40 \text{ \AA}$) по сравнению с радиусом двухзарядного положительного иона магния ($0,65 \text{ \AA}$). Присутствие иона кислорода сильнее деформирует решетку кристалла MgO, чем присутствие меньшего иона магния. Поляризуемость иона кислорода O^{--} составляет $3,8 \cdot 10^{-24}$, а иона магния Mg^{++} $0,12 \cdot 10^{-24} \text{ см}^3$.

Соответственно большей поляризуемости иона кислорода следует ожидать и большего понижения электрической прочности монокристаллов MgO с избытком кислорода.

Эти сопоставления показывают, что ослабление кристаллической решетки, ее „разрыхление“ путем введения примесей с большими ионными радиусами понижает электрическую прочность. Одновременно это обстоятельство указывает на то, что ослабление связей электронов в кристаллической решетке сопровождается уменьшением ее электрической прочности.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Тартаковский П. С. Внутренний фотоэффект в диэлектриках. ГТТИ, 1940.
2. Волькенштейн Ф. Ф. Электропроводность полупроводников. ОГИЗ, Гостехиздат, 1947.
3. Тартаковский П. С. и Рекалова Г. ЖЭТФ, 10, 1025—1030, 1930.
H. F. Golich Proc. Roy. Soc. A. 160, 230—241, 1937.