

## ИЗУЧАВАНЕ НА ЕЛЕКТРОПРОВОДИМОСТТА НА ДИЕЛЕКТРИЦИ

Идеалният диелектрик не трябва да провежда електричен ток. Именно затова диелектриците често се наричат изолатори, т. е. непроводници на електричеството. В действителност идеални изолатори не съществуват и във всеки реален диелектрик може да се открие съществуване на електропроводимост. В зависимост от структурата на диелектриците, концентрацията на примесите и степента на външните въздействия големината на електропроводимостта на диелектриците обикновено лежи в интервала  $10^{-8} \div 10^{-20}$  S/m.

Макроскопските представи за електропроводимостта са основани на закона на Ом, който предлага пропорционалност между тока  $I$ , протичащ през образеца и електричното напрежение  $U$ :

$$U = IR \quad ; \quad I = GU, \quad (1)$$

където  $R$  - съпротивление,  $G$  - проводимостта на образеца. Законът на Ом в диелектрици се изпълнява само в сравнително слаби полета. Отклонението от закона на Ом се наблюдава при:  $10$  V/m – за газове,  $10^6$  V/m – за течни диелектрици и  $10^7$  V/m – за твърди диелектрици, но в някои случаи отклонения могат да възникнат дори при  $10^4$  V/m.

В твърди диелектрици е прието да се различават обемна проводимост  $G_V$  и повърхностна проводимост  $G_S$  (съответно  $R_V$  и повърхностно  $R_S$  съпротивление). Теоретично повърхностната проводимост трябва да представлява само малка част от обемната. Но в действителност повърхностната проводимост обикновено превишава обемната, тъй като на повърхността концентрацията на дефекти е повишена, има примеси и замърсявания и освен това са възможни особени повърхностни състояния за носителите на заряда. Поради всички тези причини обикновено  $G_S > G_V$  (съответно  $R_S > R_V$ ).

За плоскопаралелен образец с дебелина  $d$  и площ  $S$  по големината на обемната проводимост  $G_V$  може да се пресметне специфичната обемна проводимост:

$$\sigma = G_V \frac{d}{S}. \quad (2)$$

По-често се измерва  $R_V = \frac{1}{G_V}$  и поради това по-често използваната формула има вида:

$$\sigma = \frac{d}{R_V S}. \quad (3)$$

Аналогично се въвежда понятието специфична повърхностна проводимост  $\sigma_s$ , която се определя посредством проводимостта на правоъгълен участък на повърхността на диелектрика с ширина  $a$  и дължина  $b$  (Фиг. 1):

$$\sigma_s = G_s \frac{b}{a} = \frac{1}{R_s} \frac{b}{a}. \quad (4)$$

**Фиг. 1**

В редица случаи на практика се използват величините специфично обемно съпротивление  $\rho = \frac{1}{\sigma}$  и специфично повърхностно съпротивление  $\rho_s = \frac{1}{\sigma_s}$ .

Законът на Ом (1) може да се запише в диференциална форма:

$$j = \sigma E, \quad (5)$$

където  $j$  - плътността на тока и  $E$  - интензитетът на полето.

Специфичната проводимост  $\sigma$  в най-общия случай представлява тензор от втори ранг – симетричен.

Макроскопските представи за електропроводимостта са свързани с три основни параметъра, характеризиращи токовите носители: концентрация  $n$ , заряд  $q$  и подвижност  $\mu$ . Зависимостта, която свързва тези параметри със специфичната проводимост има следния вид:

$$\sigma = nq\mu \quad (6)$$

и при наличие на няколко механизма на проводимост:

$$\sigma = \sum_i n_i q_i \mu_i. \quad (7)$$

За всеки вид микроскопични механизми на проводимост тези параметри се оказват различни и преопределят зависимостта на  $\sigma$  от температурата, интензитета на електричното поле и честотата  $\sigma(T, E, \omega)$ .

Електричният ток, както е известно представлява насочено движение на заредени частици. Диелектриците се отличават от проводниците по това, че за тях наличието на свободни заредени частици не е характерно свойство. Носителите на заряда се появяват само в неголямо количество за сметка на различни възбуждания (топлинно движение,

## ФИЗИКА НА ПОЛУПРОВОДИЦИТЕ И ДИЕЛЕКТРИЦИТЕ

облъчване, силни полета). Електричният ток в диелектрици представлява достатъчно сложно физическо явление поради разнообразието на несвързани носители на заряда, механизмите на генерация и механизмите на преноса на заряда (**Фиг. 2**).

### Фиг. 2

Основните типове проводимост са:

- електронна електропроводимост, при която токовете носители са електроните;
- йонна (или електролитна) електропроводимост, при която токови носители са йоните; протичането на тока през веществото се съпровожда с явлението електролиза или по-сложни процеси;
- поляронна електропроводимост, при която токови носители са частично „свързаните“ електрони, намиращи се в поляронно състояние;
- молионна електропроводимост, при която токови носители са заредени групи молекули-молиони; протичането на тока през веществото се съпровожда с явлението електрофореза.

В случай на собствена електропроводимост, токът се определя от приноса както на електроните, така също и от дупките. При това

$$\sigma = e(n\mu_m + p\mu_p) \quad (8)$$

В случай на примесна електронна проводимост обикновено се отчита и приноса или на електроните или приноса на дупките, в зависимост от характера на доминиращия примес.

Температурната зависимост на проводимостта добре се апроксимира с формулата:

$$\sigma = A \exp\left[-\frac{W}{kT}\right], \quad (9)$$

където  $W$  - енергията на активация. Зависимостта  $\ln \sigma = f\left(\frac{1}{T}\right)$  се представя с права линия. Понякога на тази права се наблюдава чупка, която се обяснява с това, че при ниски температури електропроводимостта има примесен характер, а при високи температури преобладава собствената електропроводимост (**Фиг 3**).

### Фиг. 3

## ФИЗИКА НА ПОЛУПРОВОДИЦИТЕ И ДИЕЛЕКТРИЦИТЕ

В случай на йонна електропроводимост температурната зависимост има аналогичен вид:

$$\sigma = A \exp\left[-\frac{U}{kT}\right], \quad (10)$$

където  $A = \frac{n_0 q^2 \delta^2 v}{6kT}$ .

Формула (10) е изведена при условие, че в електропроводимостта вземат участие само един вид частици. В общия случай с отчитане на собствената (високотемпературна) и примесна (нискотемпературната) проводимост, зависимостта на  $\sigma$  от  $T$  може да се изрази по следния начин:

$$\sigma = A_1 \exp\left[-\frac{B_1}{T}\right] + A_2 \exp\left[-\frac{B_2}{T}\right]. \quad (11)$$

Експоненциалното нарастване на йонната проводимост с увеличаване на температурата се наблюдава както за твърди, така също и за течни диелектрици.

**гл. ас. д-р Иван Бодуров**

Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“

Физико-технологичен факултет

катедра „Физика“

<http://web.uni-plovdiv.bg/bodurov>

e-mail: [bodurov@uni-plovdiv.net](mailto:bodurov@uni-plovdiv.net)