

المواد العازله

المرحله الرابعه
فرع علم المواد
قسم العلوم التطبيقيه

مدرس الماده
د. مفيد عبد اللطيف جليل

الفصل الاول

العوازل الكهربائية Electrical Insulators

المقدمة: تختلف المواد العازلة عن المواد الموصلة في كونها لا تمتلك الالكترونات حرة الحركة تناسب داخل المادة تحت تاثير المجال الخارجي ومن الامثلة على هذه المواد الزجاج و السيراميك و البوايومرات والورق والشمع

المجال الكهربائي يؤثر في ايونات او ذرات المواد العازلة التي هي عبارة عن شحنات سالبة و شحنات موجبه حيث يحدث اختلالا في حالة توازن الشحنات وتبتعد الشحنات الموجبه باتجاه المجال الكهربائي بينما تزااح الشحنات السالبة بالاتجاه المعاكس مكونه ثنائي قطب كهربائي وهذه الازاحه هي صغيره جدا قياسا الى الابعاد الذريه للماده حيث انها لا تزيد عن (10^{-5} \AA) ويقال للماده العازله في هذه الحاله انها استقطبت، وهناك مواد عازله تحتوي على ثنائي قطب دائمي بوضعها الاعتيادي ويكون اتجاهها عشوائي بحيث ان محصلة عزوم ثنائي القطب تكون فيها مساويه للصفر. وفي حالة تعرض هذه المواد الى المجال الكهربائي فان المجال الكهربائي يؤثر بعزم معين على ثنائيلت القطب هذه ويحاول تدويرها باتجاه المجال، وفي كلا الحالتين فان عملية الاستقطاب تؤدي الى ظهور مجال كهربائي يكون اتجاهه معاكس الى اتجاه المجال الخارجي ولقد وجد ان استقطاب الماده العازله يعتمد على محصلة المجال الكهربائي التي تعتمد على المجال الكهربائي لثنائي القطب التي تعتمد بدورها على طبيعة الماده.

المجال الخارجي بعد وضع الماده العازله

$$\vec{E} = \vec{E}_o - \vec{E}_b \quad \dots\dots\dots(1)$$

\vec{E}_o : المجال بدون ماده عازله

\vec{E}_b : المجال داخل الماده العازله

اهم خواص المواد العازله:

1- المقاومة الاوميه للعازل: عند تسليط فرق جهد معين بين طرفي العازل فان تيار مقداره I_{in} سيمر جلال ذلك العازل و يسمى تيار التسرب (Leakage current) و هو على نوعين مختلفين بالاعتماد على نوع المقاومة فب العازل:

أ- المقاومة الحجميه: وهي مقاومة العازل لتيارات التسرب التي تسري عبر حجم العازل.

ب- المقاومة السطحيه: وهي مقاومة العازل لتارات التسرب التي تسري عبر سطح العازل والتي تختلف قيمها عن التيارات التي تسري داخل الحجم وتاتي هذه التيارات بسبب الرطوبه والسوائب على سطح ماده العازله.

اذا كانت فولتية V المصدر فان التيار السطحي هو I_S والتيار الحجمي I لذلك فان مقاومة العزل R_{in} هي:

$$R_{in} = \frac{V}{I_{in}}$$

$$G_{in} = \frac{1}{R_{in}} = \frac{I_{in}}{V}$$

حيث ان هو التوصيليه للعازل

$$\therefore I = VG = \frac{V}{R} \quad \text{and} \quad I_S = VG_S = \frac{V}{R_S}$$

$$\because I_{in} = I + I_S \Rightarrow G_{in} = G + G_S \Rightarrow \frac{1}{R_{in}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_S}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{in}} = \frac{R_S + R}{R \cdot R_S} \Rightarrow \frac{I_{in}}{V} = \frac{R_S + R}{R \cdot R_S}$$

$$\therefore \frac{V}{I_{in}} = \frac{R_S + R}{R \cdot R_S} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ويمكن بواسطة المعادله (2) ايجاد مقدار التيار المار خلال العازل (على فرض ان المقاومتين للعازل مربوطتين على التوازي تكثلان المقاومه الحجميه و السطحيه).

ترتبط المقاومه الحجميه للعازل R مع ابعاد العازل بالعلاقه:

$$R = R_o \frac{h}{S}$$

حيث ان R_o هي المقاومه النوعيه للعازل ($\Omega.m$)

h سمك العازل

S المساحه السطحيه لمقطع العازل

ويعبر عن المقاومه النوعيه بدلاله التوصيليه γ بالعلاقه:

$$\gamma = \frac{1}{R_o} \quad (\Omega \cdot m)^{-1}$$

والمعامل الذي يصف الشكل الهندسي للعازل من خلال ابعاده يسمى الطول الفعال (Effective length) ورمزه Λ اي ان:

$$\Lambda = \frac{S}{h}$$

2- السماحيه Permittivity: من خلال العلاقه ما بين الازاحه الكهربائيه

Electrical Displacement \vec{D} و المجال الكهربائي Electrical Field

\vec{E} يمكن التعبير عن السماحيه (ϵ) حيث:

$$\epsilon = \frac{\vec{D}}{\vec{E}} \Rightarrow \vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_c = D = \frac{Q}{S} \quad \dots\dots\dots (4)$$

حيث σ_c : كثافة الشحنة السطحيه

Q : كمية الشحنة الكهربائيه

$$\because Q = S \cdot D \quad \text{and} \quad V = E \cdot h \quad \text{and} \quad C = \frac{Q}{V}$$

$$\therefore C = \frac{S \cdot D}{E \cdot h} = \frac{D}{E} \cdot \frac{S}{h}$$

$$\therefore C = \epsilon \frac{S}{h} \quad \dots\dots\dots (5)$$

وتمثل علاقه المتسعه بدلاله الابعاد

حيث ϵ سماحية المادة العازله، وان ثابت العزل الكهربائي ϵ_r هو نسبة (سماحية المادة \ سماحية الفراغ) $(\epsilon_o = 10^{-9}/36\pi = 8.85 \cdot 10^{-12} (F/m))$

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_o} \Rightarrow \epsilon = \epsilon_o \epsilon_r$$

وبما ان السعة تمثل النسبه بين الشحنتين على اللوحين الى فرق الجهد المسلط، واذا كانت σ_c تمثل كثافة الشحنة السطحيه على احد اللوحين فان:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\sigma \cdot S}{E \cdot h}$$

$$\text{but } C = \epsilon \frac{S}{h} = \epsilon_o \epsilon_r \frac{S}{h}$$

$$\epsilon_o \epsilon_r \frac{S}{h} = \frac{\sigma \cdot S}{E \cdot h} \quad \text{وبمساواة المعادلتين}$$

$$\sigma_c = \epsilon_o \epsilon_r E \quad \dots\dots\dots(6)$$

ومن اعلاه نلاحظ ان السعه الكهربائيه تتزايد عند وضع العازل بسبب زيادة استيعاب الشحنات بنسبة ϵ_r . اما اذا كانت الشحنة ثابتة فان سبب الزيادة قد يعزى الى ان E_o تهبط الى قيمه (E_o/ϵ_r) ، فاذا كان المجال المسلط بين اللوحين بوجود الفراغ والمجال المعاكس الناشء داخل العازل E_b فان المجال الخارجي بعد وضع العازل يكون:

$$\vec{E} = \vec{E}_o - \vec{E}_b$$

ان هذا الهبوط في المجال الخارجي ينشاء بسبب المجال الكهربائي داخل العازل نتيجة الشحنات المستقطبه.

يمكن استنتاج علاقته تربط الخاصيتين التي يتصرف بهما العازل (المقاومه والسعه) حيث اذا تساوت مساحة مقطع العازل مع مساحة لوح المتسعه اي ان العازل يملئ جميع المتسعه فانه في الحالات الكهروستاتيكيه نحصل على:

$$\therefore R = R_o \frac{h}{S} = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{h}{S} \Rightarrow \frac{h}{S} = \gamma R \Rightarrow \frac{S}{h} = \frac{1}{\gamma R}$$

$$\therefore C = \epsilon_o \epsilon_r \frac{S}{h} = \epsilon_o \epsilon_r \frac{1}{\gamma R}$$

$$\therefore RC = \frac{1}{\gamma} \epsilon_o \epsilon_r \quad \dots\dots\dots(7)$$

3- الاستقطاب Electric polarization

تسمى العوازل التي لا تمتلك شحنات طليقة بالعوازل المثالية (Identical dielectric) ولكن جميع الاوساط المادية تتكون من جزيئات وهذه تتألف من جسيمات مشحونة (نوى الذرات او الالكترونات) و الجسيمات تتأثر بالمجال الكهربائي لانه يسلط قوة على هذه الجسيمات المشحونة مما يؤدي الى ازاحة كل الشحنات الموجبه والسالبه عن موضع الاتزان، من وجهة النظر العينية (Microscopic) يقال عن العازل انه مستقطب. ان هذا الفصل مابين الشحنات يولد ما يسمى بالدايپول (او ثنائي القطب) وبالتالي يتولد عزم دايپول الذي يمثل حاصل ضرب الشحنة الكلية المتولده على سطح العازل في المسافه بين سطحي العازل. ويمكن تصنيف جزيئات العازل الى جزيئات قطبيه (Polar molecules) وجزيئات لاقطبيه (Non polar molecules). ففي الجزيئات اللاقطبيه ينطبق مركز ثقل البروتونات والالكترونات عند انعدام المجال الخارجي، اما في الجزيئات القطبيه فان مركز ثقل البروتونات والالكترونات لاينطبقان حتى بغياب المجال الخارجي. فعند تسليط مجال كهربائي على الجزيئات اللاقطبيه يظهر دايپول محتث (Induced dipole) الذي يمثل عزم حاصل ضرب احد الشحنتين في المسافه بينهما، اما تسليط مجال كهربائي على الجزيئات القطبيه فانها تتأثر بعزم ازدواج يعمل على تدوير الدايپول باتجاه شدة المجال الكهربائي وهذا المجال يزيد من قيمة عزم الدايپول وتدعى الجزيئه القطبيه بالدايپول الدائم (Permanent dipole).

هناك قوى تحاول اعاده الشحنات المزاحه نتيجة تاثير المجال الكهربائي وهي قوى الربط الداخلي لاجزاء الجزيئه مع بعضها، على الرغم من منشئها الكهربائي يمكن تصورها قوى معيده مرنة تسحب الشحنات المزاحه الى بعضها وكانها مربوطه مع بعضها بنابض واذا كانت لدينا مجموعه من الجزيئات في الماده فان القوى الرابطه تختلف بالقيمه من جزيئه الى اخرى لذلك يصحبها اختلاف في عزوم الدايپولات المتولده نتيجة لوجود مجال كهربائي وبالتالي سيتكون فيض من الشحنات في الطبقتين السطحيتين الرقيقتين وهي تمثل الشحنات السطحيه المحتثه السالبه التي تتضمنها الطبقة الاخرى. وهذه الشحنات غير حرة، ولكن كل منها مرتبط بذره تقع داخل او قرب السطح.

فاذا فرضنا ان كثافة الشحنات السطحيه المقيدة σ_b (Bound charge) تأتي حصيلة لاستقطاب العازل وتقع هذه الشحنات في نهايات العازل وبتماس مع الاقطاب، اما الشحنات داخل العازل فهي متعادل. حيث العزم الكهربائي لكامل حجم العازل هو:

$$\vec{p} = \sigma_b \cdot S \cdot h \quad (c \cdot m) \dots \dots \dots (8)$$

وبقسمة حجم العازل على طرفي المعادله نحصل على الجزيئات المستقطبه:

$$\vec{P} = \frac{\vec{p}}{S \cdot h} = \sigma_b \Rightarrow \vec{P} = \sigma_b \quad (c/m^2) \dots (9)$$

اي ان الاستقطاب الكهربائي يساوي كثافة الشحنة السطحية للشحنات المقيدة على العازل.

فاذا كان الوسط يحتوي على جزيئات متعددة فان عزم الدايبول لجزيئه واحده هو:

$$\vec{P} = \int_{molecule} \vec{r} dq \dots (10)$$

حيث \vec{r} يمثل بعد الجزيئه عن نقطة الاصل.

يمكن التعبير عن عزم الدايبول ليغطي جميع جزيئات المادة داخل عنصر من الحجم ΔV بالعلاقة:

$$\vec{P} = \frac{1}{\Delta V} \sum_m \vec{p}_m \dots (11)$$

حيث تعتمد درجة استقطاب الوسط على المجال الكهربائي وعلى خواص جزيئات ذلك الوسط. ويمكن كتابة داله بين \vec{P} و \vec{E} حيث:

$$\vec{P} = \vec{P}(\vec{E})$$

وهذه علاقه نقطية، تتغير \vec{P} اذا تغيرت \vec{E} داخل العازل. فالمواد التي يتلاشى فيها \vec{P} عند تلاشي \vec{E} تسمه العوازل غير القطبيه، اما للعوازل ذات الاتجاه الواحد فان العلاقه بين \vec{P} و \vec{E} هي:

$$\vec{P} = \chi \vec{E} \dots (12)$$

حيث χ كميته غير اتجاهيه تدعى التاثيرييه الكهربائيه او قابلية التكهرب للماده (Dielectric susceptibility).

و يمكن تعريف الاستقطاب من خلال الحث الكهربائي (Electric induction) او الازاحه الكهربائيه \vec{D} حيث:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\sigma_t}{\epsilon_o} = \frac{1}{\epsilon_o} (\sigma_f + \sigma_b) \dots (13) \quad \text{باستخدام قانون كاوس}$$

حيث σ_t كثافة جميع الشحنات

σ_f كثافة الشحنات الطليقه

σ_b كثافة الشحنات المقيدة

$$\therefore \vec{E} = -\vec{\nabla} \Phi$$

$$\therefore \vec{\nabla} \cdot (-\vec{\nabla} \Phi) = \frac{\sigma_t}{\epsilon_o} \Rightarrow \nabla^2 \Phi = -\frac{\sigma_t}{\epsilon_o} \quad (\text{معادلة بواسون})$$

$$\text{Also: } \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_o} \sigma_f - \frac{1}{\epsilon_o} \vec{\nabla} \cdot \vec{P} \Rightarrow \epsilon_o \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \sigma_f - \vec{\nabla} \cdot \vec{P}$$

$$\Rightarrow \vec{\nabla} \cdot (\epsilon_o \vec{E} + \vec{P}) = \sigma_f$$

$$\therefore \vec{D} = \epsilon_o \vec{E} + \vec{P} \quad \dots\dots\dots(14)$$

يعرف عزم الدايبول الجزيئي لوحدة المجال المستقطب بقابلية الاستقطاب او الاستقطابية (Polarization) ورمزها α اي ان:

$$\vec{p} = \alpha \vec{E} \quad \dots\dots\dots(15)$$

فاذا كان لدينا N من الجزيئات في وحدة الحجم و المستقطبه نتيجته تاثير المجال الخارجي، يمكن حساب الاستقطابية الناشئه عنها من العلاقه:

$$\alpha = \frac{3\epsilon_o}{N} \frac{(\epsilon_r - 1)}{(\epsilon_r + 2)} \quad \dots\dots\dots(16)$$

تعرف المعادله اعلاه بمعادله كلوزيوس – موسوتي (Clausius-Mossotti) وهي مهمه جدا لانها تصف العلاقه بين الاستقطاب α وثابت العزل ϵ_r . ويمكن اعطاء

شكل اخر للمعادله اعلاه بضربها بالمقدار $\frac{M}{\sigma} \frac{\sigma}{M}$ للطرف الايمن فينتج:

$$\alpha = \frac{3\epsilon_o}{N_A} \frac{(\epsilon_r - 1)}{(\epsilon_r + 2)} \frac{M}{\sigma}$$

حيث M الوزن الجزيئي للماده العازله، σ كثافة الماده، و ان $N_A = \frac{NM}{\sigma}$ عدد

افوكادرو

ان الدايبولات الناشئه او الدائمه في المواد العازله لا بد ان تتحرك او تتذبذب بتاثير الحراره التي تكسب الدايبولات طاقه حركيه نتيجة تاثير المجال الكهربائي فاذا تعرض هذا العازل لمجال كهربائي تردده في نطاق التردد البصري، يسمى هذا الاستقطاب بالاستقطاب الالكتروني (Electronic polarization) او الاستقطاب البصري (Optical polarization) حيث يحدث بسبب الفصل بين مركز الشحنات الموجبه في مركز النواة ومركز الشحنات السالبه للالكترونات الذي كان منطقيا قبل تسليط المجال.

اذن في الترددات العاليه يكون هناك تاثير الاستقطاب الالكتروني فقط لذلك فان المعادله اعلاه في الترددات العاليه تصبح:

$$\alpha_e = \frac{3\epsilon_o}{N} \frac{(\epsilon_{r\infty} - 1)}{(\epsilon_{r\infty} + 2)} \quad \dots\dots\dots(17)$$

حيث α_e الاستقطابية الالكترونيه

اذا كان المتر المكعب يحوي N من الدايبولات فان الاستقطاب الكلي يعطى بالعلاقه:

$$\vec{P} = N\alpha\vec{E}_i \quad \dots\dots\dots(18)$$

وباستخدام العلاقه (14) حيث:

$$\vec{D} = \epsilon_o \vec{E} + \vec{P} \Rightarrow \vec{P} = \vec{D} - \epsilon_o \vec{E}$$

$$\therefore \vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_o \epsilon_r \vec{E}$$

$$\therefore \vec{P} = \epsilon_o \epsilon_r \vec{E} - \epsilon_o \vec{E}$$

إذا المعادله (18) تصبح:

$$\epsilon_o (\epsilon_r - 1) \vec{E} = N \alpha \vec{E}_i$$

$$\Rightarrow N \alpha = \epsilon_o (\epsilon_r - 1) \frac{\vec{E}}{\vec{E}_i} \dots\dots\dots (19)$$

و من المعادله (16) لدينا:

$$N \alpha = 3 \epsilon_o \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2}$$

بمساواة المعادلتين نحصل على:

$$\epsilon_o (\epsilon_r - 1) \frac{\vec{E}}{\vec{E}_i} = 3 \epsilon_o \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2}$$

$$\vec{E}_i = \frac{\epsilon_r + 2}{3} \vec{E} \dots\dots\dots (20)$$

العلاقه (20) تحدد العلاقه بين المجال الخارجي المسلط \vec{E} و المجال الداخلي \vec{E}_i الذي يسمى مجال لورنز. وتصف هذه الخواص المجهرية والجاهريه للماده العازله.

من النموذج الكروي للذره، وعلى اعتبارها ماده عازله كرويّه ذات نصف قطر a لها سماحيه ϵ يخترقها مجال كهربائي \vec{E} ، يمكن ايجاد تعبير للاستقطابيه كما في العلاقه الاتيه:

$$\alpha = 4 \pi \epsilon_o a^3 \frac{\epsilon - \epsilon_o}{\epsilon + 2 \epsilon_o} \dots\dots\dots (21)$$

نتيجه لفصل الذي يحدث بين مركزي ثقل الشحنات السالبه والموجبه عند تكوين الجزيئه ينشأ عنها داييولات دائميّه، مثال ذلك بلورات (NaCl) القطبيّه. والاستقطابيه التي تنشأ نتيجة هذا الفصل سواء كانت الداييولات الناشئه دائميّه او مؤقتة تسمى بالاستقطابيه الذريه او الايونيّه (Atomic or Ionic polarizability) وهي تصف الاستقطاب في جميع الجزيئات وتسمى في بعض الاحيان الاستقطابيه الجزيئيّه (Molecular polarizability) وتبرز اهميتها في المجالات الكهربائيه عندما يكون ترددها تحت الحمراء، ويرافق الاستقطاب الايوني نوع اخر من الاستقطاب نتيجة دوران الداييول حول محور التناظر حيث تترتب الداييولات باتجاه المجال المسلط، يسمى هذا النوع بالاستقطاب الاتجاهي او الدوراني (Orientational polarization). ان هذه الحركه او التارجح للمواد التي تتميز بالداييولات الدائميّه تكون مستمره ومتنقله من مكان الى اخر وتزداد هذه

الحركة بازدياد درجة الحرارة، ويلاحظ ان الانخفاض يؤدي الى سكون الدايبولات حيث ان فقدان الدايبولات حركتها يفقد المادة قدرتها على الاستقطاب. هناك نوع اخر من الاستقطابيه يجب اخذه بنظر الاعتبار خصوصا في المواد السيراميكية العازله كهربائيا وهي الاستقطابيه البينييه (Interfacial polarization) وتظهر نتيجة العيوب في التشكيل او من الفراغات

تصنيف المواد العازلة من العلاقة الوظيفية بين الاستقطاب والمجال الكهربائي
($\vec{P} = \vec{P}(\vec{E})$) يمكن تصنيف المواد العازلة الى:

أ- مواد دائمة الاستقطاب Permanent Polarization

ب- العوازل الخطية Linear Dielectric

ت- العوازل اللاخطية Non-linear Dielectric

وتتضمن هذه العوازل خواص متعددة منها

1- الخاصية الفيروكهربائية

2- الخاصية البزوكهربائية

السماحية لخليط من مواد متعددة الاطوار

الفقدان العزلي

السماحية المركبة

اهم العوامل المؤثرة في السماحية المركبة وظل الفقدان

أ- التردد

ب- درجة الحرارة

ج- الرطوبة

انهيار العزل الكهربائي

1- الانهيار الكهربائي

2- الانهيار الكهروحراري

الفصل الثاني

العوازل الحراريه Thermal Insulators

العزل الحراري هو استخدام مواد لها خواص عازله للحراره بحيث يساعد في الحد من تسرب وانتقال الحراره من خارج المنظومه الى داخلها او بالعكس. ان اختيار ماده عازله معينه يستلزم معرفه خصائصها الحراريه وخصائصها الاخرى كامتصاص الماء وقابليتها للاحتراق وصلابتها....

التوصيليه الحراريه

العوامل المؤثره في التوصيليه الحراريه

- 1- التركيب الكيميائي
- 2- المعامله الحراريه
- 3- انتقال الحراره في الوسط المسامي

تصنيف مواد العزل الحراري

- 1- سيليكات الكالسيوم
- 2- الياف السيراميك
- 3- الفلين
- 4- الباد
- 5- الصوف الصخري
- 6- البيرلايت

الفصل الثالث

العزل الصوتي Sound Insulators

تتم عملية العزل الصوتي بطرق مختلفه اهمها امتصاص الصوت او توهين الطاقه
الصوتيه
الامواج الصوتيه

الشده

مستوى الشده والعلو