عنوان المحاضرة:

نظرية درود للتوصيل الالكتروني

Drud's theory of electronic conductivity

Dr. Ghassan Adnan

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

نظرية درود للتوصيل الالكتروني

تعد نظرية درود أول نظرية كلاسيكية للغاز الالكتروني الحر في الفلزات ،صور درود البنية البلورية لأي فلز على انه رص من لباب الايونات الموجبة Positive Ion Cores يتخللها عدد كبير من الالكترونات الحرة ناتجة عن مساهمة كل ذرة في الفلز بإلكترون تكافؤي أو أكثر ويطلق على هذه الالكترونات بالكترونات التوصيل ،وتتأثر هذه الالكترونات بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية.

افترض درود على ان الالكترونات على الرغم من شحنتها السالبة تتصرف كجزيئات غاز مثالي متعادلة الشحنة .اهمل درود المجال الدوري الذي تتحرك فيه الالكترونات والذي يرجع الى دورية الشبيكة. وافترض ان الكترونات التوصيل تستطار Scattered نتيجة تصادمها العشوائي بلباب الايونات الموجبة بحيث ان معدل سرعتها بعد كل تصادم يساوي صفرا.وعند تسليط مجال كهربائي خارجي على فلز تكتسب الالكترونات تعجيلا نتيجة تغير قيمة أو اتجاه سرعة انجراف Drift Velocity الالكترونات او كل من القيمة والاتجاه وهذا التغيير يباد ويستأصل عند كل تصادم بين الالكترونات ولباب الايونات الموجبة ،وبسبب هذا التصادم يفقد الالكترون جميع طاقته التي اكتسبها بواسطة المجال الكهربائي المسلط وتكون سرعته بعد التصادم عشوائية ليس لها علاقة باتجاه حركته قبل التصادم وكأن الالكترون فقد تصرف حالته الحركية قبل التصادم وهذا يعني ان التغير في سرعة الالكترون يظهر فقط خلال فترة بين تصادم وأخر ولذلك يزداد تأثير المجال الكهربائي المسلط على الكترونات التوصيل كلما زادت الفترة الزمنية بين تصادمين متتاليين.

متوسط الزمن الحر Mean Free Time : هي الفترة الزمنية بين تصادمين متتاليين ويعرف ايضا بزمن الاسترخاء Relaxation Time ويرمز له بالرمز (τ_m)،وهو معدل الزمن اللازم الذي يستغرقه الكترون لقطع مسافة (تعرف بالمسار الحر) بين تصادمين متعاقبين.

المسار الحر الالكتروني Electronic Free Path :هو المسافة التي يتحركها اي الكترون توصيل بفاعلية انطلاقه الحراري (S_{th})خلال متوسط الزمن الحر (τ_m).

الانطلاق الحراري Thermal Speed :هو انطلاق الالكترون عند حركته من استطارة الى مركز استطارة آخر.

$$S_{th} = \frac{\lambda}{\tau_m} = \left(\frac{3K_BT}{m}\right)^{1/2} \quad \text{.....(1)}$$

نفرض ان(n_o)مجموعة من الكترونات التوصيل عند زمن $(t = 0)$،لذا فان عدد الالكترونات الناجية Survived من اي تصادم بعد مرور زمن (t)هو:

$$n_1 = n_0\, exp\left(-\frac{t}{\tau_m}\right) \quad \text{.....(2)}$$

المعدل الزمني الذي بموجبه تزيل التصادمات بعضا منت الالكترونات الناجية من أي تصادم خلال الزمن (t) يعطى بالعلاقة ألآتية :

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{n_1}{\tau_m} = \frac{n_0}{\tau_m}\, exp\left(-\frac{t}{\tau_m}\right) \quad \text{.....(3)}$$

Dr. Ghassan Alhiti
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

قبل تسليط المجال الكهربائي الخارجي على المعدن يكون توزيع السرع موحد الخواص isotopicفي جميع الاتجاهات ،عليه فان معدل سرعة الالكترونات بأي اتجاه كان يساوي صفرا على الرغم من استمرارها في الحركة واصطدامها بلباب الايونات الموجبة.

وعند تسليط مجال كهربائي ثابت القيمة والاتجاه فان الالكترونات الحرة تتأثر بتعجيل منتظم بسبب ازدياد سرعتها مع الزمن بموجب قوانين نيوتن. وبعد مرور زمن (t)من بدء تسليط المجال الكهربائي يكتسب الاليكترون الذي يعان استطارة خلال هذه الفترة سرعة انجراف فضلا عن سرعته الحرارية التي مقدارها:

$$\Delta v_1 = \left(\frac{-eE_1}{m}\right) t \quad \text{.....(4)}$$

اما المسافة التي يقطعها الالكترون باتجاه المجال الكهربائي التي تتراكب مع حركته الحرارية العشوائية:

$$\overline{x_1} = \frac{1}{2}\left(\frac{-eE_1}{m}\right) t^2 \quad \text{.....(5)}$$

عليه يمكن التعبير عن النقل الالكتروني الكلي Total Electronic Transport على طول مسار واحد (باتجاه المجال الكهربائي للالكترونات (n_o))بالمعادلة :

$$\int_0^\infty \overline{x_1}\left(\frac{dn}{dt}\right) dt = \left(\frac{-eEn_o}{2m\tau_m}\right) \int_0^\infty t^2 \quad exp\left(\frac{-t}{\tau_m}\right) dt \text{.....(6)}$$

ولتبسيط المعادلة نفرض أن :

$$y = \frac{t}{\tau_m}, \quad t = \tau_m y \Longrightarrow dt = \tau_m dy \text{.....(7)}$$

$$\int_0^\infty \overline{x_1}\left(\frac{dn}{dt}\right) dt = \left(\frac{-eEn_o\tau_m^2}{m}\right) \int_0^\infty \frac{1}{2} y^2 e^{-y} dy \text{.....(8)}$$

$$\int_0^\infty \overline{x_1}\left(\frac{dn}{dt}\right) dt = n_o \left(\frac{-eE\tau_m}{m}\right) \tau_m \text{.....(9)}$$

تمثل المعادلة (9) نقل (n_o)من الجسيمات بحيث تمتلك جميعها نفس زمن الاسترخاء(τ_m) ونفس معدل سرعة الانجراف.

$$\Delta\overline{v} = \left(\frac{-eE\tau_m}{m}\right) \text{.....(10)}$$

اما اذا فرضنا ان الفلز يحتوي على عدد (n)من الالكترونات لكل متر مكعب،وان جميعها تتحرك بسرعة انجراف ثابتة $(\Delta\overline{v})$ في مجال كهربائي$(\overline{E})$ فان كثافة التيار الكهربائي (J)تعطى بالمعادلة:

$$J = (-en\Delta\overline{v}) = \left(\frac{ne^2\tau_m}{m}\right)\overline{E} = \sigma\overline{E} \text{.....(11)}$$

حيث ان التوصيلية الكهربائية(σ)كمية موجبة وغير متجهة

$$\sigma = \left(\frac{ne^2\tau_m}{m}\right) \text{.....(12)}$$

Dr. Ghassan Adnan

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ان العلاقة التي تربط بين$(\bar{E})$ و (J)علاقة خطية تعرف بقانون أوم ومنها يمكن حساب قيمة التوصيلية الكهربائية(σ)بدلالة المقادير المعروفة (n)،(m)، (e) و(τ_m).ويمكن التعبير عن التوصيلية الكهربائية باستخدام ما يعرف بالتحركية الانجرافية Drift Mobility والتي تعرف على انها السرعة الانجرافية المنتظمة لكل وحدة مجال كهربائي.

$$\mu = \frac{\Delta\bar{v}}{E} = \frac{e\tau_m}{m} \text{.....(13)}$$

بالمقارنة مع المعادلة(12) نحصل :

$$\sigma = ne\mu \text{.....(13)}$$

وبتعويض المعادلة(1) في المعادلة (12) نحصل :

$$\sigma = \left(\frac{ne^2\tau_m}{m}\right) = \frac{ne^2\lambda}{m\,S_{th}} = \frac{ne^2\lambda}{(3mK_BT)^{1/2}} \text{.....(14)}$$

ويلاحظ من المعادلة الاخيرة ان التوصيلية الكهربائية (σ) تتناسب طرديا مع $(T)^{-1/2}$لمدى واسع من درجات الحرارة ،وقد وجد عمليا ان تبريد الفلز الى درجات حرارية واطئة فان التوصيلية الكهربائية(σ) تناسب طرديا مع $(T)^{-5}$قبل الوصول الى مستوى مستقر،وبهذا تفشل نظرية درود في تفسير النتائج عند درجات الحرارة الواطئة لأن الكترونات التوصيل لا تتصرف تماما كجزيئات الغاز المثالي وأن الالكترونات لا ترتد عند اصطدامها بقلوب الايونات الموجبة.

Dr. Ghassan Adnan

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com