



مجلة المجمع العلمي

مجلة فصلية أنشئت سنة ١٣٦٩هـ - ١٩٥٠م - الجزء الأول - المجلد الثاني والخمسون

١٤٢٦هـ - ٢٠٠٥م

تقنيات حديثة لمشاهدة الذرات والجزيئات وتجمعاتها وتحركاتها

أ. د. جلال محمد صالح
جامعة بغداد

الملخص :

أُستخدِمتْ خلال العقود الثلاثة الأخيرة تقنيتان مهمتان لغرض
أبصار الذرات والجزيئات وتجمعاتها على شاشة فلورسينية ، ولمتابعة
تحركات وتفاعلات تلك الدقائق بالعين المجردة . والتقنيتان هما : تقنية
انبعاث الإلكترونات المجالي (Field – Electron Emission) وتقنية
انبعاث الأيونات المجالي (Field – Ion Emission) . تعتمد التقنية
الأولى على استخدام كاثود (Cathode) فلزي على هيئة مدببة
حادّة النهاية (Sharp Metal Tip) . ونظراً لصغر هذه النهاية الفلزية
فإنها تُؤلف بلورة منفردة (Single Crystal) ذات مستويات بلورية
واضحة المعالم . وتُلحَم النهاية المدببة بعد ذلك بوسط سلك دقيق من
التتكنسن الذي يكون على شكل الحرف الإنكليزي U وتُلحَم نهايتا هذا
السلك بقطبين من التتكنسن وبذا يتيسر تسخين سلك التتكنسن متى ما
أريد وذلك بامرار تيار كهربائي مناسب فيه . ويتم تركيب الكاثود
(النهاية الفلزية المدببة) وسلك التتكنسن الذي يحملها في مركز ورق
زجاجي كروي (او مخروطي) الشكل بحيث تتجه النهاية المدببة نحو
لجدار الداخلي المقابل للورق (الشكل ٣) . وهذا الجدار المقابل تماماً

للهيئة الفلزية المدببة يكسى بطبقة رقيقة من كلوريد القصدير (SnCl_2) ليصبح موصلًا جيدًا للتيار الكهربائي ، ثم تغطى هذه الطبقة الموصلة بمادة فلورسينية كي تصبح بمثابة شاشة يمكن عرض الصور الإلكترونية عليها . وتربط الشاشة من خلال سلك قصير موصل بالانود (المصدر Anode) الذي يتم تسليط فولتية عالية (موجبة) تصل الى عدة كيلو فولتات عليه . تكون المسافة بين الشاشة الفلورسينية المربوطة بالانود والهيئة الفلزية المدببة التي تقوم مقام الكاثود بحدود (١٠-١٥) سنتمتر . فعند تسليط مجال كهربائي عالٍ بين الانود المربوط بالشاشة والهيئة الفلزية المدببة (الكاثود) تنبعث الإلكترونات من المستويات البلورية المختلفة التي تقع على سطح الهيئة المدببة ، وتكون مسارات الإلكترونات المنبعثة عمودية على المستويات البلورية التي انبعثت منها . ويسمى هذا بالإسقاط العمودي ($\text{Orthographic Projection}$) وتسير تلك الإلكترونات بخطوط مستقيمة لتسقط على الشاشة الفلورسينية مولدة صورة مكبرة للمستويات البلورية الباعثة للإلكترونات . وتتألف الصورة المستحصلة (الشكل ٥) على بقع مضيئة وأخرى معتمة . والبقع المضيئة تنجم عن الكثافة العالية نسبياً للإلكترونات المنبعثة من المستويات البلورية . أما البقع المعتمة أو الأضعف إضاءة فإنها تشير الى المستويات البلورية التي انعدم منها الانبعاث الإلكتروني او كان الانبعاث الإلكتروني منها بكثافة ضعيفة . فالصورة التي تستحصل على الشاشة الفلورسينية هي ان صورة مكبرة (بحوالي مليون مرة) للمستويات البلورية المختلفة التي يشتمل عليها سطح الهيئة المدببة ، فهي ان بمثابة خارطة للمستويات البلورية المختلفة لسطح الهيئة الفلزية المدببة .

وتتناسب شدة الالكترونات المنبعثة من أي مستوى بلوري مع كثافة الذرات التي تؤلف بنية ذلك المستوى وعلى اسلوب رص تلك الذرات وطبيعة الترابط الاصري الذي يجمع ذرات المستوى معاً. وتعتمد درجة التكبير في الصورة المستحصلة على نسبة بُعد النهاية المدببة عن الشاشة وعلى نصف قطر تقوس النهاية المدببة، بالإضافة الى اعتمادها على عامل هندسي معين. والامتزاز الكيميائي لغاز او بخار على سطح النهاية المدببة يسبب تغييراً ملحوظاً في كثافة الالكترونات المنبعثة من المستويات البلورية وفي الصورة المستحصلة على الشاشة. ويمكن التعرف على طبيعة تأثيرات الدقائق الممتزة على المستويات البلورية من تحليل الصورة التي تسجل على الشاشة ومن قياسات قيم معلّقات معينة .

اما في التقنية الثانية (تقنية انبعاث الأيونات المجالي) فان النهاية الفلزية المدببة تصبح بمثابة الانود والشاشة الفلورسينية بمثابة الكاثود . ويتم ادخال غاز الهيليوم تحت ضغط (١ ، ٠) باسكال في الدورق . وعند تسليط مجال كهربائي عالٍ بين القطبين تتأين ذرات الهيليوم حال اصطدامها بسطح الانود، فيتم عندئذٍ تعجيل ايونات الهيليوم الموجبة المتكونة فتتحرك باتجاه الشاشة الفلورسينية مكونة صورة مرئية للنهاية الفلزية المدببة . ويصل التكبير في الصورة بهذه التقنية الى حوالي (١٠) ملايين مرة . اما المميز (Resolution) فيصل فيها الى حوالي (٣) انكستروم مقارنة بـ (٢٠) انكستروم في التقنية الاولى. ومثل هذا التكبير والميز يتيحان ابصار وتمييز الذرات والجزيئات المنفردة الاعتيادية ومتابعة تحركاتها وتفاعلاتها على الشاشة . اما في التقنية الاولى فلن يكون بالامكان الرؤية الجزيئات العيانية الكبيرة

وتجمعاتها . والامتزاز الكيميائي على النهاية الفلزية المدببة من شأنه تغيير طبيعة الصورة المتكونة بتقنية انبعاث الأيونات المجالي ، وكذلك تغيير بعض المعلومات ذات العلاقة بالمستويات البلورية المختلفة .

تمهيد :

هناك عدة تقنيات في يومنا هذا لمشاهدة الذرات والجزيئات وتجمعاتها ولمتابعة تحركات وتفاعلات هذه الدقائق على شاشة فلورسينية بالعين المجردة . وسنشير في هذه الدراسة الى تقنيتين مهمتين منها والى بعض استخداماتها في مجال العلم والبحث العلمي .
والتقنيتان هما :

١. تقنية انبعاث الالكترونات المجالي Field-Electron Emission Technique
وتدعى مجموعة الاجهزة والمعدات التي تُعين على ذلك في هذه التقنية بـ ((مجهر انبعاث الالكترونات المجالي)) Field-Electron Emission Microscope .

٢. وتقنية انبعاث الايونات المجالي Field - Ion Emission Technique ،
والاجهزة والمعدات المرتبطة بتنفيذ هذه التقنية تدعى بـ ((مجهر انبعاث الايونات المجالي)) Field - Ion Emission Microscope .
وواضح من عنواني التقنيتين ان انبعاث الالكترونات او الايونات يتم من خلال تسليط مجال كهربائي . وسنتطرق فيما ياتي الى الاسس العامة لكل من التقنيتين والى بعض اهم استعمالات كل تقنية في الدراسات والبحوث العلمية في العالم .

١. تقنية انبعاث الالكترونات المجالي Field-Electron Emission Technique

استناداً الى نظرية الالكترونات الحرة (Free Electron Theory) في الفلزات تكون اوطا مستويات الطاقة الالكترونية في الفلزات ممثلة كليا بالالكترونات ، ويكون لكل زوجين من تلك الالكترونات برمين متخالفين في الاتجاه (Two Opposite Spins) . اما اعلى مستويات الطاقة

الالكترونية في الفلزات فقد لا تكون ممثلة كلياً بالالكترونات. تدعى طاقة أعلى مستوى طاقة ممثلة بالالكترونات في الفلزات بدرجة صفر كلفن بـ ((طاقة مستوى فيرمي)) (Fermi Level Energy) .

وعلى هذا فان اقل طاقة لازمة لتحرير للكترونات من فلز في هذه الدرجة الحرارية تقدر بفرق الطاقة بين طاقة الالكترون في مستوى فيرمي (ويرمز اليها بـ E_F) وطاقة الالكترون عند إخراجها من الفلز الى بُعد ما لا نهاية من سطحه (وتقدر بـ E_v) ، ويقال عندئذ بان الالكترون قد بلغ حالة السكون ، ويتحقق ذلك في الفراغ حيث يصبح سطح الفلز بعيداً عن تأثير الهواء والغازات .

ووصف حالة الالكترون بالسكون عند بلوغه الى تلك النقطة ناجم عن فقدان الالكترون لطاقته الحركية كاملة عند بلوغه الى نقطة تبعد ما لا نهاية عن سطحه . فالالكترون عندما يكون داخل الفلز فانه يخضع لقوة جذب الفلز (قوة جذب الشحنات الموجبة في الفلز) له ، وتقل حرية حركة الالكترون وطاقته الحركية كلما أبعد الالكترون بفعل خارجي عن تأثير قوة الجذب الداخلي. وعندما يصل الالكترون الى بعد ما لا نهاية من سطح الفلز تنخفض طاقته الحركية الى الصفر ، ويقال بان الالكترون قد بلغ حالة السكون. والالكترون الذي فقد طاقته الحركية كلياً هو الكترون ساكن ولكنه لا يتأثر الان بقوة جذب الفلز له . واذا اريد الان تحريك الالكترون باتجاه معين فينبغي وضعه تحت تأثير قوة جذب خارجي . فالطاقة الصغرى لاجراج الالكترون من مستوى فيرمي (وطاقته عنده E_F) وايصاله الى نقطة السكون خارج الفلز حيث يصبح الالكترون عندها حراً وبعيداً عن تأثير جذب الفلز له (وتبلغ طاقته الكامنة عندئذ E_v) تتمثل بـ :

$$(1) \dots\dots\dots (E_V - E_F) = \phi$$

فالطاقة الصغرى لتحرير الإلكترون من الفلز تساوي ان فرق الطاقة بين E_V و E_F ، أي الى المقدار $(E_V - E_F)$ والذي يساوي دالة الشغل الإلكتروني (Electron Work Function) للفلز، وتقاس قيمة ϕ بوحدات الإلكترون فولت (eV). فدالة الشغل الإلكتروني لفلز هي ان أقل طاقة لازمة لتحرير الكترونيات من الفلز. وكلما كانت قيمة ϕ صغيرة قلت الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من الفلز، وبالعكس تزداد الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترونات من الفلز بازدياد قيمة ϕ (لاحظ الجزء الأيسر من الشكل ١) .

واستناداً الى نظرية الكم (Quantum Theory) هناك احتمال محدد للإلكترونات التي تمتلك طاقة فيرمي في فلز للتحرر من الفلز وان لم تكن تمتلك الفرق الطاقى $(E_V - E_F)$ ، أي وان لم تتوفر له طاقة دالة الشغل الإلكتروني ، وذلك من خلال اختراق حاجز الطاقة الذي يعيق تحرره وفقاً لما يسمى بتأثير النفق (Tunnel Effect). وهذا يشير الى وجود بعض الاحتمال لبعض إلكترونات الفلز في التحرر عن الفلز والانطلاق الى خارجه بعيداً عن تأثير جذب الفلز لها من خلال إيجاد نفق في حاجز الطاقة ، فإذا استطاع الإلكترون إيجاد مثل هذا النفق في حاجز الطاقة فانه يستطيع التحرر من الفلز دون الحاجة الى تملكه لفرق الطاقة $(E_V - E_F)$ والذي يقدر بـ ϕ . ونظرية الكم تتنبأ بوجود مثل هذا الاحتمال ، اما تحقيق هذا الهدف عملياً فانه ليس بسيط المنال دون إحداث بعض التغييرات في حاجز الطاقة نفسه. اذ ان احتمال اختراق الإلكترون لنفق في حاجز الطاقة يكون اكبر اذا كان النفق قصيراً لا يمتد مسافة طويلة خلال حاجز الطاقة . وتقصير النفق بهذا

الشكل لا يتحقق الا اذا تم تسليط مجال كهربائي جذبي على الفلز ،
ومثل هذا المجال المسلط سوف يعمل على تغيير شكل حاجز وعرضه
أي مقدار امتداه خارج الفلز .

ان جهد الكهروستاتيكي (Electrostatic Potential) للالكترونات التي
تكون قريبة من سطح الفلز يمثل القوة المعيقة لهروب الالكترونات من
الفلز وهو يتناسب مع حاجز الطاقة الذي يعترض تحرر الالكترونات
من سطح الفلز. وقيمة الجهد الكهروستاتيكي هذا تقرب من قيمة دالة
الشغل الالكتروني (أي يساوي ϕ) . والجهد الكهروستاتيكي هذا يقل
تدريجياً كلما ابتعد الالكترون من قوة جذب الفلز له الى ان يتلاشى كلياً
وتصل قيمته الصفر اذا ما كان المجال المسلط على الفلز مناسباً وكافياً
. فاذا كان المجال المسلط على الفلز عالياً بحدود (١) فولت على
الانكستروم (او حوالي ١٠^٨ فولت على السنتيمتر) فان المسافة التي
يلزم على الالكترون قطعها كي يصل الى خارج تاثير الجهد السكوني
تكون بحدود (٤-٥) انكستروم. وعلى هذا فانه اذا تم تسليط مجال
كهربائي (جذبي) بهذه الشدة على سطح الفلز فانه يصبح بإمكان
الالكترونات مستوى فيرمي التحرر والانبعاث من سطح الفلز دون
وجود الحاجة الى تسخين الفلز الى اية درجة حرارية اعلى من درجة
الحرارة الاعتيادية . ويوصف مثل هذا الانبعاث الالكتروني عندئذ بانه
انبعاث بارد (Cold Emission).

يلاحظ في الشكل (١) منحني الطاقة الكامنة للالكترونات في فلز
في غياب (الجزء الايسر من الشكل) ووجود (القسم الايمن من
الشكل ١) مجال كهربائي عالي مسلط على الفلز . فالارتفاع B6 في

الشكل يمثل سطح الفلز ، اما المقدار AB ، من الارتفاع هذا فانه يمثل ارتفاع حاجز الطاقة الذي يقاوم تحرر وهروب الإلكترونات من الفلز ويساوي دالة الشغل الإلكتروني (ϕ) للفلز ، حيث :

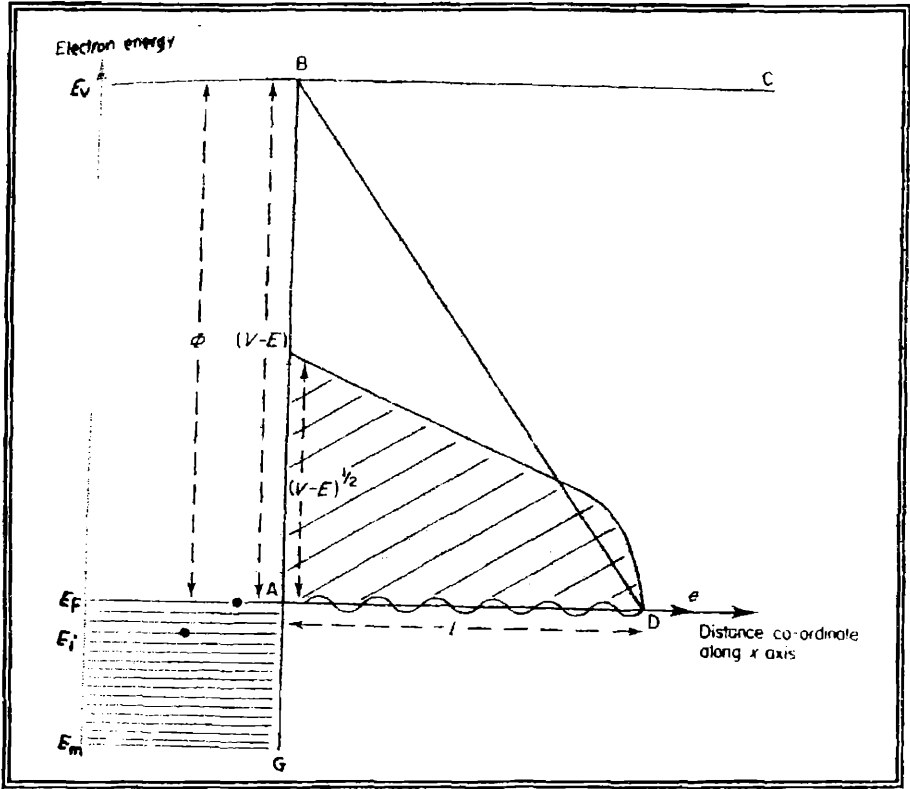
$$\phi = E_V - E_F = V - E \quad \dots\dots\dots (2)$$

وقد تم تعريف E_V و E_F فيما مضى، اما V و E فهما يمثلان على التوالي الطاقة الكامنة والحركية للإلكترون المتسرب من الفلز عبر النفق في حاجز الطاقة . ففي غياب المجال المسلط على الفلز فان حاجز الطاقة الذي يمنع تحرر وهروب الإلكترونات من الفلز يتمثل بـ ABC في الشكل (١) ، و BC يمثل عرض حاجز الطاقة . وبتسليط مجال كهربائي تبلغ شدته F على سطح الفلز (حيث $F = \phi / l$ و l يمثل عرض حاجز الطاقة) يصبح لحاجز الطاقة مظهر جانبي مثلث الشكل والذي يتمثل بالمثلث ABD الذي يتمتع بعرض مقدار l عند مستوى فيرمي ، وهو يمثل عرض النفق الذي سيخترقه الإلكترون . اما المساحة المظللة في الشكل (١) والتي تكون قريبة من شكل مثلث فتقدر قيمتها بالمقدار :

$$\int_0^l (V - E)^{1/2} dx \cong \frac{1}{2} \phi^{3/2} / F \quad \dots\dots\dots (3)$$

واحتمال (P) اختراق الإلكترون للحاجز عبر النفق في المستوى الطاقى E_i (الشكل ١) الذي يقع تحت طاقة مستوى فيرمي البالغة E_F يتناسب مع المقدار :

$$P \propto \exp [-(\phi + E_F - E_i)^{3/2} / F] \quad \dots\dots\dots (4)$$



الشكل (١) - منحني الطاقة الكامنة للإلكترونات في فلز في غياب المجال الكهربائي المسلط عليه . BG يمثل سطح الفلز و AB يمثل حاجز الطاقة الذي يساوي ارتفاعه دالة الشغل الإلكتروني ϕ للفلز والتي يتم تعريفها بموجب العلاقة $\phi = E_v - E_F = V - E$ حيث E_v و E_F هما على التوالي مستوى الطاقة الكامنة للإلكترون الذي بلغ حالة السكون خارج الفلز ومستوى طاقة فيرمي للفلز . لما E و V فهما على التوالي الطاقتان الحركية والكامنة للإلكترون المتحرر من الفلز عن طريق إيجاد نفق في حاجز الطاقة . ففي غياب المجال المسلط على الفلز يمثل حاجز الطاقة بـ ABC حيث BC هو عرض حاجز الطاقة . وبتسليط مجال كهربائي بشدة F حيث $F = \phi/l$ يصبح لحاجز لطاقة مظهر مثلث ABC الذي يبلغ عرضه l عند مستوى فيرمي والذي يلزم على الإلكترون اختراقه لغرض التحرر من قوة جذب الفلز له . اما المساحة المظللة في الشكل فهي شبه مثلثة وتحتص قيمتها من العلاقة :

$$\int_0^l (V - E)^{1/2} dx \cong \frac{1}{2} \phi^{3/2} / F$$

الملاح الأساسية لتقنية انبعاث الإلكترونات المجالي

تتلخص الملاح الأساسية لتقنية انبعاث الإلكترونات المجالي بتسليط مجال كهربائي شديد (بحدود 10^4 فولت على السنتمتر) على نهاية مدببة لفلز (Metal Tip)، فيسبب مثل هذا المجال المسلط تغييراً وتعديلاً في شكل حاجز الطاقة الذي يعيق تحرر وانبعاث الإلكترونات من الفلز . فالمجال العالي المسلط يسبب تقليصاً في عرض حاجز الطاقة (المقدار ϕ في الشكل ١) كي يصبح بحدود (٤-٥) انكستروم فيسهل على الكترونات النهاية الفلزية المدببة اختراقه والسريان من خلال مسار نفقي (Tunneling) فتتطلق الإلكترونات الى خارج النهاية المدببة بدرجة الحرارة الاعتيادية ودون اللجوء الى تسخين الفلز الى أية درجة حرارية أعلى ، وهذا ما دعونه انبعاث الإلكترونات المجالي . ويتم الحصول على المجال العالي ($10^4 \sim 10^5$ فولت على السنتمتر) باستعمال نهاية فلزية مدببة يكون نصف قطر (r) تقوسها (Radius of Curvature) بحدود 10^{-4} الى 10^{-5} سنتمتر . وبسليط جهد يتراوح من (٣-١٥) كيلو فولت بين النهاية الفلزية المدببة وأنود يبعد عنها مسافة مناسبة يصبح بالإمكان احداث انبعاث الإلكترونات من النهاية المدببة . ويتم توجيه الإلكترونات المنبعثة نحو انود (Anode) الذي يتصل بشاشة فلورسينية . والنهاية الفلزية في هذه التقنية تكون بمثابة الكاثود (Cathode) ، ونظراً لان انبعاث الإلكترونات منها يحدث في درجة الحرارة الاعتيادية ، فان انبعاث الإلكترونات يوصف بالانبعاث البارد (Cold Emission) . وهذا فان الإلكترونات المنبعثة من الكاثود البارد (النهاية الفلزية المدببة) تسير نحو الشاشة الفلورسينية المتصلة بالانود ، وتسقط عليها مكونة صورة مكبرة

للنهاية الفلزية على الشاشة الفلورسينية . ومعلوم ان النهاية الفلزية المدببة يتم تحضيرها بطريقة النمش الكهربائي (Electro-etching) فتتآكل تدريجياً وهي مغمورة في وسط الكتروليتي حتى تصبح نهاية الفلز المغمور في الالكتروليت في غاية الدقة بحيث يصعب رؤيتها تحت المجهر باستعمال تكبير يصل الى ١٠٠٠ مرة في الاقل .

ان الالكترونات المنبعثة من الكاثود (النهاية الفلزية المدببة) تضيء الشاشة الفلورسينية عند سقوطها عليها مولدة صورة مكبرة للمستويات البلورية الواقعة على سطح النهاية الفلزية المدببة ، ويتوقف مقدار التكبير على المسافة التي تفصل الكاثود (النهاية الفلزية لمدببة) والانود (الشاشة الفلورسينية) وعلى نصف قطر النهاية الفلزية كما سنأتي الى شرح ذلك في الموضوع اللاحق . وإذا وجدت جزيئات كبيرة او تجمعات جزيئية على أي مستوى بلوري من المستويات البلورية للنهاية المدببة فسوف ينعكس أثرها في الصورة التي تظهر على الشاشة وإذا كانت الجزيئات او تجمعاتها قادرة على الحركة على المستويات البلورية للنهاية الفلزية فسوف تظهر اثار هذه الحركة ايضاً على الشاشة الفلورسينية .

تخضع كثافة التيار الكهربائي i (أي كثافة الإلكترونات المنبعثة) الذي يمر في دائرة الكاثود/الانود والمنبعث بتأثير المجال الكهربائي المسلط الذي تبلغ شدته F الى معادلة فاوكرنوردهايم (Fowler – Nordheim Equation) الآتية :

$$i = 6.2 \times 10^6 (\phi / E_F)^{1/2} (\phi + E_F)^{-1} F^2 \exp(-6.8 \times 10^{17} \phi^{3/2} / F) \dots\dots\dots (5)$$

ويتم تعريف المجال الكهربائي (F) بدلالة العلاقة :

$$F = k V / r \quad \dots\dots\dots(6)$$

V هو الفولتية المسلطة و r نصف قطر النهاية الفلزية المدببة و k ثابت .

ان احتمال اختراق الإلكترونات الواقعة عند سطح فلز لحاجز الطاقة من خلال اختراق الحاجز عبر نفق يعتمد على حالة الطاقة E للإلكترونات الموجودة عند سطح الفلز . يتم تقدير عدد الإلكترونات التي تمتلك طاقة تتراوح من E إلى E+dE يمكنها الانبعاث من مساحة سطح تبلغ (١) سنتيمتر مربع في الثانية الواحدة بدلالة المقدار $N(E)P(E)dE$.

ان فيض الإلكترونات المنبعثة من الكاثود هو حاصل ضرب احتمالية الاختراق P(E) وعدد N(E) من الإلكترونات في مستوى الطاقة E الذي يصل الى مساحة (١) سنتيمتر من سطح الفلز المدبب في الثانية الواحدة . وانه بالنسبة الى أنموذج الإلكترون الحر الذي يتحرك على محور واحد يكون عامل الاحتمالية P(E)،

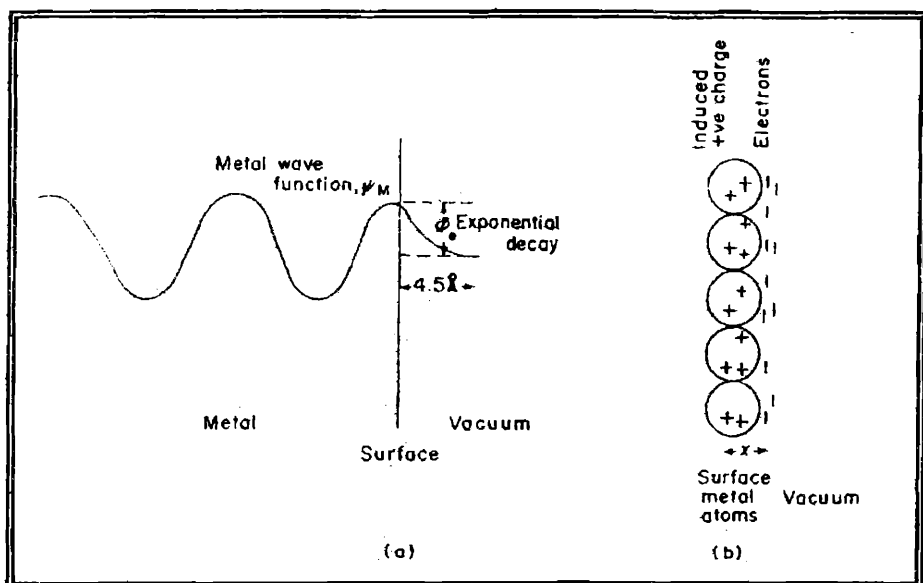
$$P(E) = a \exp[-b] (V-E)^{1/2} \quad \dots\dots\dots(7)$$

و E و V في هذه المعادلة هما الطاقتان الحركية والكامنة للإلكترونات التي تخترق حاجز الطاقة عبر النفق على التوالي ، ℓ عرض حاجز الطاقة ، اما a و b فهما ثابتان . وعندما يكون الانموذج مبسطاً فان حاجز الطاقة يأخذ شكل مثلث مع الاحداثيات : $(V-E) = \phi$ عند سطح الفلز (حيث $x = 0$) وعند قيمة $(V-E) = 0$ على بعد معين خارج سطح الفلز حيث يكون $\ell = x$ (الشكل ١). ويتم تقدير المساحة من قيمة

التكامل في المعادلة (4) والتي تساوي مساحة المثلث الذي يَقدر ارتفاعه بـ $\phi^{1/2} = (V-E)^{1/2}$ وطول قاعدته يبلغ $\epsilon = \phi/F$ ويمكن تقريب قيمة التكامل من المقدار $\phi^{3/2}/2F$.

ان جهد الصورة المستحصلة للنهاية المدببة من جراء الالكترونات المنبعثة منها والساقطة على الشاشة الفلورسينية ينجم من جراء اعادة توزيع الكثافة الالكترونية المنطلقة من السطح الفلزي . ويكون شكل دالة الموجة الالكترونية داخل الفلز تنبذية ولكن الدالة تتلاشى اسياً خارج السطح لتكوين شحنة سالبة (الشكل ٢) . تتكون بالتاثير شحنات مخالفة داخل الفلز . وتدعى التاثيرات المتبادلة الكهروسكونية بين الالكترونات وشحنة الصورة الموجبة داخل الفلز بـ ((جهد الصورة)) Image Potential . ان المستويات البلورية الاكثر ترصاً تنصف بمعامل بلورية منخفضة وتمتلك جهود صورة كبيرة ، وكذلك بقيمة عالية لدالة الشغل . ويتغير جهد الصورة مع تغير معامل المستويات البلورية التي تقع على سطح النهاية الفلزية المدببة . فعلى سبيل المثال تكون قيمة دالة الشغل (ϕ) للمستوى البلوري (100) للتكستن اعلى بحوالي (٠ , ٣) الكترون فولت عن قيمة هذه الدالة للمستوى البلوري (III) لنفس الفلز .

ولما كانت كثافة تيار الانبعاث الالكتروني من النهاية الفلزية المدببة تتغير اسياً مع المقدار $\phi^{3/2}$ ، لذا فان اية تغيرات طفيفة في قيمة دالة الشغل (ϕ) بمقدار (٠ , ٠١) الكترون فولت سوف تسبب تغيرات ملحوظة في كثافة تيار الالكترونات المنبعثة من النهاية المدببة .



الشكل (٢) - جهد الصورة :

(a) عند سطح الفلز - تتحول دالة الموجة التنبؤية للإلكترون في الفلز إلى دالة انحلال امية ، فنقل الطاقة الكامنة للإلكترونات من ϕ (دالة الشغل المؤثرة) إلى الصفر عند ابتعادها مسافة 4.5 انكستروم (او أكثر) من السطح .

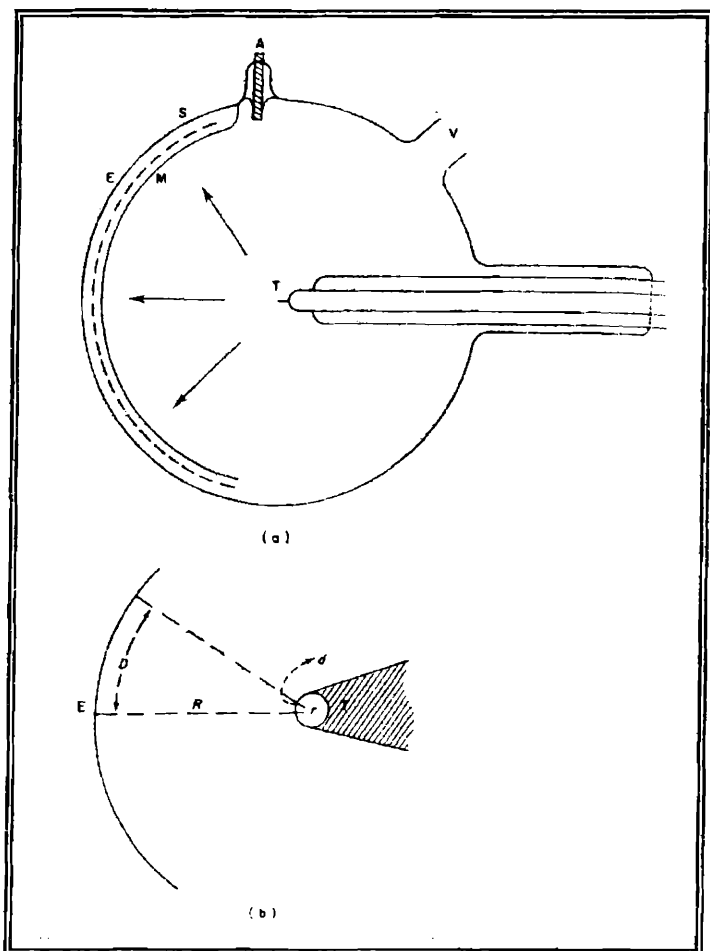
(b) الشحنة الالكترونية خارج السطح - تنشأ خارج سطح الفلز شحنة مخالفة بعملية الحث ، وتكون هذه الشحنة مساوية (من حيث القيمة) للشحنة داخل الفلز . وتزداد حصيله هذه الشحنات كلما زادت الكثافة الذرية للسطح . يتم حساب جهد الصورة من العلاقة $e^2/4x$ حيث e الشحنة الالكترونية و x المسافة الفاصلة بين طبقتي الشحنات الداخلية والخارجية .

مجهر الانبعاث الإلكتروني Electron Emission Microscope

يكون هذا المجهر على هيئة غلاف زجاجي كروي (او مخروطي) الشكل يتم اكساء جداره الداخلي جزئياً بمادة شاشة فلورسينية ، بحيث تحيط هذه الشاشة بنهاية فلزية مدببة التي تقوم مقام الكاثود في دائرة كهربائية . اما الانود (عند جهد الارض) يكون عادة موصلاً كهربائياً يكسى جيداً بمادة الاكواداك (Aquadag) ويتم ربط هذا الموصل بالشاشة الفلورسينية . والاكواداك مستحلب كرافيتي تكسى بها السطوح العازلة او شبه العازلة لزيادة قدرتها على اتصال التيار الكهربائي .

وبتسليط مجال كهربائي عالي الشدة في الدائرة الكهربائية بين الكاثود والانود تنبعث الالكترونات من النهاية المدببة بطاقة حركية صغيرة ولكن بالامكان زيادة هذه الطاقة بتأثير المجال الكهربائي فتتسرع الالكترونات في مسارها نحو الانود (أي نحو الشاشة الفلورسينية) وتسير على امتداد خطوط القوة للمجال الكهربائي المسلط والتي تكون عمودياً على سطح النهاية المدببة ، متجهة نحو الشاشة الفلورسينية . وتتوقف شدة السطوح للصورة المستحصلة على الشاشة مع فيض الالكترونات المصطدمة بها . والصورة المستحصلة هي صورة مكبرة للنهاية الفلزية المدببة (الشكل ٣) .

تكون النهاية الفلزية المدببة على هيئة نصف كرة متناهية في الصغر وتؤلف هذه النهاية (نصف الكروية) بلورة منفردة (Single Crystal) تشتمل على عدد كبير من المستويات البلورية التي تتباين عن بعضها البعض في قيم دوال الشغل (ϕ) . وتكون الصورة الساقطة على

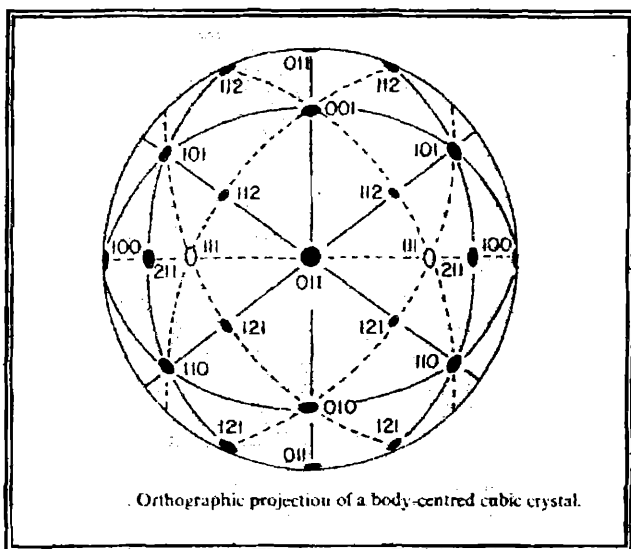


الشكل (٢) - (a) تمثيل بياني للأجزاء الرئيسة في مجهر الانبعاث المجالي . E هو غلاف (او وعاء) زجاجي (كروي او مخروطي) ، S شاشة فلورسينية تغطي الجدار الداخلي للغلاف او الوعاء الزجاجي والذي يكون أيضاً مكمواً بطبقة موصلة (M) ، T نهاية فلزية مدببة تقوم مقام الكاثود وهي التي تنبعث منها الالكترونات بتأثير المجال المعطى ، وتكون النهاية ملحومة بسلك من فلز التتستن والذي يمكن تسخينه من خلال امرار تيار كهربائي في القطبين المبرطين به . ويمكن تقدير درجة حرارة النهاية المدببة من تغيرات مقاومة سلك التتستن . A يمثل انوداً مربوطاً بسطح موصل كهربائي يتصل بالشاشة الفلورسينية. (b) تكبير الصورة المرئية في مجهر الانبعاث المجالي - ويتوقف على نصف قطر القوس (r) للنهاية الفلزية المدببة وعلى نصف قطر (R) للغلاف الزجاجي (الكروي) فالتكبير يتمثل بنسبة طول القوس D على الشاشة الى طوله على النهاية المدببة ، أي يساوي $\frac{D}{d} = \frac{R}{r}$. وعندما يكون $R = 10^2$ سنتيمتر و $r = 10^{-4}$ سنتيمتر يصبح التكبير بحدود 10^6 مرة .

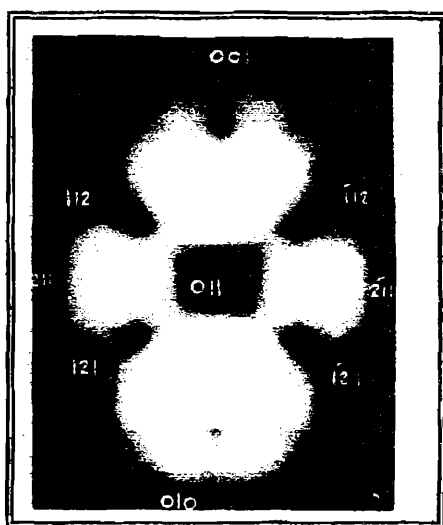
الشاشة اسطع اذا انبعثت الالكترونات من مستويات بلورية قليلة الكثافة حيث يكون انبعاث الالكترونات منها كبيراً . ان مجموعة المستويات البلورية الموجودة على النهاية الفلزية المدببة سوف تسبب صورة عالية التكبير وبكثافات سطوح متباينة على الشاشة الفلورسينية . يبين المخطط (٤) خارطة تفصيلية للمستويات البلورية الموجودة على بلورة منفردة من نوع المكعب مركزي الجسم (Body-Centered Cubic Crystal) . يتوقف مقدار التكبير لصورة البلورة المنفردة على الشاشة الفلورسينية على نسبة المسافة بين النهاية المدببة والشاشة (d) على نصف القطر (r) تقوس النهاية المدببة ، أي على النسبة (d/r) ويكون التكبير بحدود ١٠ ° الى ١٠ ° مرة بقدر مساحة سطح النهاية المدببة . ويمكن تحديد معاملات المستويات البلورية المختلفة التي تنبعث منها الالكترونات من خصائص التناظر للصورة المستحصلة وبالاتماد على الفواصل الزاوية ما بين المستويات البلورية (الشكل ٥) .

ويمكن استخدام تقنية الثقب والمجس (Probe-hole) للفحص المنفصل عن الالكترونات المنبعثة عن مستوى واحد معين يقع على سطح النهاية المدببة. فالالكترونات المنبعثة تمر في هذه التقنية عبر ثقب بالشكل الذي يؤدي الى اختيار مستو بلوري معين ، ويتم تبئير تلك الالكترونات باستخدام عدسة كهروسكونية وجمعها فيما يسمى بقفص فاراداي (Faraday Cup) . ويتم تحليل توزيع الطاقة عندئذ بشكل آني .

يبلغ مقدار الميز (Resolution) بطريقة الانبعاث الإلكتروني بتأثير المجال المسلط بحدود (20Å) (عشرين انكستروم) ومقدار هذا الميز لا يعتمد على شدة الفولتية المسلطة . وهذا المقدار من الميز لن يكون بمقدوره الا النقاط صورة الجزيئات الكبيرة او لبعض التجمعات



الشكل (٤) - خارطة تبين الاسقاط العمودي للمستويات البلورية في بلورة مكعبة مركزية الجسم فلز مثل التتكتسن . الارقام تشير الى معاملات ميلر hkl للمستويات البلورية الرئيسية الواقعة على سطح النهاية القارية المدببة والتي تنبعث منها الالكترونات وتوجه بمسارات عمودية على تلك المستويات لتقع على الشاشة الفلورسينية .



الشكل (٥) - صورة مستحصلة على الشاشة الفلورسينية في تقنية انبعاث الالكترونات المجالي باستخدام نهاية مدببة (أي بلورة منفردة) من فلز التتكتسن . يمكن بالعين المجردة تمييز المستويات البلورية الرئيسية التي تقع على سطح البلورة المنفردة . البقع المضيئة تشير الى المستويات البلورية التي حصل منها الانبعاث الالكتروني بكثافة عالية ، اما البقع المعتمة فهي تشير الى المستويات البلورية التي لنحتم منها انبعاث الالكترونات .

الذرية والجزيئية . ولن يكون بالامكان مشاهدة الذرة المفردة ، وكذلك الجزيئة الصغيرة ، ولكن بالامكان ابصار الجزيئات الكبيرة والمعدات اذا ما عانت امتزازاً كيميائياً على المستويات البلورية للنهاية الفلزية المدببة .

استخدام التقنية لدراسة الامتزاز الكيميائي

تحدث اعادة توزيع لكثافات الالكترونات المنبعثة من المستويات البلورية المختلفة للنهاية الفلزية المدببة عند حدوث امتزاز كيميائي على تلك المستويات . تعاني جزيئات الغاز او البخار الممتزة كيميائياً على سطح النهاية المدببة استقطاباً ملحوظاً من جراء عملية انتقال الشحنة التي تحدث بين سطح الفلز (النهاية المدببة) والدقائق الممتزة كيميائياً ، وتتكون طبقة من المستقطبات الممتزة كيميائياً على المستويات البلورية للنهاية المدببة . وتشتمل هذه الطبقة على n_m من مستقطبات السطح في السنتمتر المربع الواحد منه ، ولكل مستقطب (جزيئة مستقطبة) عزم ثنائي الاقطاب μ ديباي ، فالجزيئات المستقطبة المرتبطة بسطح النهاية المدببة على هيئة طبقة تؤلف مع طبقة السطح (المستقطبة هي الاخرى) مكشفاً كهربائياً ذات لوحين متوازيين . والامتزاز الكيميائي الذي يحدث على سطح النهاية المدببة يكون مصحوباً بتغير في قيمة دالة الشغل (ϕ) للسطح الفلزي مقداره $\Delta\phi$.

ويتوقف مقدار هذا التغير (أي $\Delta\phi$) على عزم ثنائي الاقطاب (μ_m) للمستقطبات المتكونة وعلى عدد (n_m) من تلك المستقطبات المتكونة في السنتمتر المربع الواحد من السطح وفق العلاقة:

$$-\Delta\phi = (1.2 \times 10^{18}) \pi n_m \mu_m \dots\dots\dots (8)$$

وقد تتجه النهايات الموجبة للمستقطبات بعيداً عن السطح ، او يحدث العكس وعندما تتحقق الحالة الاولى ، أي عند تكوين مستقطبات تتجه نهاياتها الموجبة بعيداً عن السطح يكون مقدار التغير في جهد السطح Δx بقدر التغير في قيمة دالة الشغل ولكن بعكس الإشارة ، أي ان:

$$\Delta x = - \Delta \phi \quad \dots\dots\dots (9)$$

وعندما يكون عزم ثنائي الاقطاب للثقائق الممتزة صغيراً (بحدود $\mu_m = 10$ Debye) ، وعندما يكون تركيز المستقطبات على السطح بحدود $n_m = 10^5 \text{ cm}^{-2}$ يكون مقدار التغير في قيمة دالة الشغل ($\Delta \phi$) بحدود (٤ ، ٠) إلكترون فولت . ومثل هذا المقدار من التغير قابل للقياس عملياً .

القياسات العملية لتغيرات دالة الشغل

يمكن قياس دالة الشغل لسطح النهاية الفلزية المدببة قبل عملية الامتزاز الكيميائي عندما تكون سطح النهاية المدببة نظيفة ، ويمكن كذلك قياس هذه الدالة ثانية عقب حدوث امتزاز كيميائي على سطح النهاية المدببة . وهناك طريقتان لتحقيق ذلك . ففي الطريقة الاولى منها يتم تسليط فولتية ثابتة على النهاية المدببة ، والابقاء على الفولتية دون تغيير ، ويتم خلال ذلك تسجيل تيار انبعاث الالكترونات قبل وبعد عملية الامتزاز ، وهذه الطريقة غير محبذة كثيراً .

اما الطريقة الثانية فانها تتناول تسجيل كثافة الالكترونات المنبعثة كدالة للفولتية (v) وذلك عند مجالات مسلطة غير عالية . وتكون علاقة المقدار (i/v^2) مقابل $1/v$ عادة خطية (الشكل ٦) .

ويتماسب ميل للخط المستحصل مع المقدار $\phi^{p/2}$ فيتم الحصول على قيمة المقدار ϕ (أو ϕ للفلز) .

يتم بعد ذلك امرار غاز بكميات ضئيلة جداً من خلال مدخل مناسب على سطح النهاية المدببة ، وقد يتم ذلك بالتسخين الكهربائي لملف من سلك البلاتين ترتبط به المادة التي يراد متزازها على سطح النهاية المدببة ، وقد يتم من خلال التفكك الحراري كمركب مناسب مثل لوكسيد النحاسيك (في حالة الحصول على الأوكسجين) او التفكك الحراري كمركب هديد الزركونيوم (لغرض الحصول على هيدروجين نقي) وهكذا . ويرسم علاقة بيانية مماثلة يتم الحصول على قيمة جديدة للمقدار $\phi^{p/2}$ ومنه يستحصل على ϕ جديدة ، وبذا يتسنى الحصول على قيمة $\Delta\phi$ من :

$$\Delta\phi = \phi_m - \phi_A \quad \dots\dots\dots (10)$$

حيث ϕ_m و ϕ_A دالتا الشغل الالكتروني للنهاية المدببة النظيفة والمكسوة بطبقة امتزاز كيميائي على التوالي .

ويمكن دراسة الامتزاز على مستويات بلورية معينة على سطح النهاية المدببة دون غيرها وقياس تغيرات دالة الشغل من جراء الامتزاز باستخدام تقنية النقب والمجس التي اشرنا اليها فيما مضى . والمستويات البلورية المختلفة للنهاية المدببة تمتلك قدرات متباينة في الامتزاز الكيميائي ، فبعضها تمتلك قدرات كبيرة ولل بعض الاخر قدرات اقل فاقل . وعلى هذا فسوف تكون قيم $\Delta\phi$ المستحصلة من المستويات البلورية المختلفة مختلفة ايضاً .

ويتناسب ميل الخط المستحصل مع المقدار $\phi^{1/2}$ فيتم الحصول على قيمة المقدار ϕ (أو ϕ للفلز) .

يتم بعد ذلك امرار غاز بكميات ضئيلة جداً من خلال مدخل مناسب على سطح النهاية المدببة ، وقد يتم ذلك بالتسخين الكهربائي لملف من سلك البلاتين ترتبط به المادة التي يراد متزازها على سطح النهاية المدببة ، وقد يتم من خلال التفكك الحراري كمركب مناسب مثل لوكسيد النحاسيك (في حالة الحصول على الأوكسجين) او التفكك الحراري كمركب هديد الزركونيوم (لغرض الحصول على هيدروجين نقي) وهكذا . ويرسم علاقة بيانية مماثلة يتم الحصول على قيمة جديدة للمقدار $\phi^{1/2}$ ومنه يستحصل على ϕ جديدة ، وبذا يتعنى الحصول على قيمة $\Delta\phi$ من :

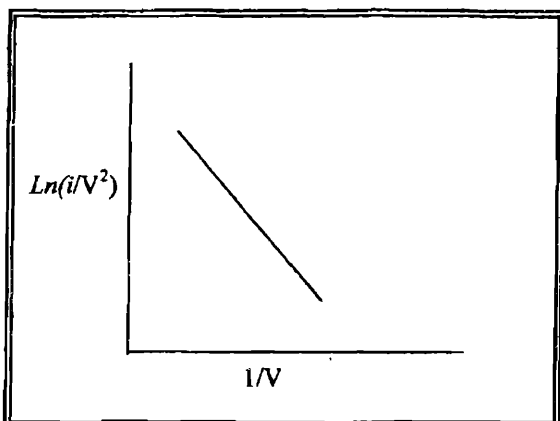
$$\Delta\phi = \phi_m - \phi_A \quad \dots\dots\dots (10)$$

حيث ϕ_m و ϕ_A دالتا للشغل الالكتروني للنهاية المدببة النظيفة والمكسوة بطبقة امتزاز كيميائي على التوالي .

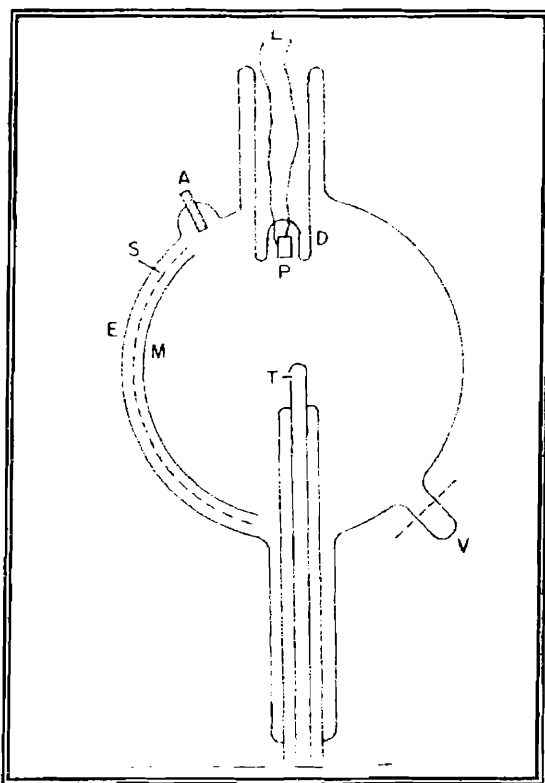
ويمكن دراسة الامتزاز على مستويات بلورية معينة على سطح النهاية المدببة دون غيرها وقياس تغيرات دالة الشغل من جراء الامتزاز باستخدام تقنية النقب والمجس التي اشرنا اليها فيما مضى . والمستويات البلورية المختلفة للنهاية المدببة تمتلك قدرات متباينة في الامتزاز الكيميائي ، فبعضها تمتلك قدرات كبيرة ولل بعض الاخر قدرات اقل فاقل . وعلى هذا فسوف تكون قيم $\Delta\phi$ المستحصلة من المستويات البلورية المختلفة مختلفة ايضاً .

قابلية حركة الدقائق الممتزة كيميائياً Mobility of Chemisorbed Species

يتم ادخال الغاز الذي يراد دراسة امتزازه على سطح نهاية فلز مدببة من خلال مدخل خاص يتصل بمصدر الغاز ، يتم بوساطته توجيه الجزيئات الغازية التي تدخل الغلاف الكروي الزجاجي نحو جهة واحدة من سطح النهاية الفلزية المدببة (الشكل ٧) ويتم احاطة الغلاف الكروي الزجاجي بسائل الهيدروجين او الهيليوم ، فينخفض للضغط البخاري للغازات المتبقية داخل الغلاف الزجاجي الى اقل من 10^{-10} او 10^{-12} باسكال على التوالي . كما وان درجة الحرارة الواطئة لسائل الهيدروجين او الهيليوم من شأنها جعل معامل احتمالية الالتزاق (Sticking Probability) للجزيئات الغازية المصطدمة بالنهاية الفلزية المدببة وبجدران الغلاف الزجاجي من الداخل في حدود الواحد . فالامتزاز ينحصر عندئذ بتلك المستويات البلورية من النهاية المدببة التي تقع على امتداد خط واحد مع مسار المقنوف من الجزيئات الداخلة الى الغلاف الزجاجي ، وان جميع الجزيئات الاخرى سوف تعاني تكاثفا في الحال على جدران الغلاف الزجاجي من الداخل . فتبقى كافة المستويات البلورية (باستثناء المستوى الذي يقع على امتداد مسار المقنوف من الجزيئات) ، بعيدة عن تاثيرات جزيئات الغاز . فالغاية الاساسية اذن من هذه العملية هي جعل الامتزاز الكيميائي محصوراً بمستوى بلوري معين دون غيره من المستويات البلورية الموجودة على سطح النهاية الفلزية المدببة.



الشكل (٦) - العلاقة الخطية التي تربط المقدار (i/V^2) بـ $1/V$ والتي يمكن من قيمة ميلها الحصول على قيمة $\phi^{3/2}$ وكذلك على قيمة دالة الشغل الالكتروني ϕ .



الشكل (٧) تمثيل تخطيطي لمجهر الانبعاث المجالي لدراسة ظاهرة انتشار الدقائق الممتزة على السطح . D يمثل وعاء ديوار (قنينة ترمس) لغرض وضع سائل بارد فيه لغرض تكثيف جزيئات الغاز او البخار على لموقع البلاتيني P . والرمز L يمثل سلك التتكمسن والقطين المربوطين به ، مع ملاحظة ان النهاية الغازية المدببة في هذا الشكل يرتبط بالموقع الجديد T الذي يختلف عن الموقع المحدد لها في الشكل (٣) .

يتم بعد ذلك تسخين النهاية المدببة التي تكسو جزيئات الامتزاز مستوى معين من مستوياتها الى درجات حرارة أعلى وذلك بامرار تيار كهربائي في الملف الذي يحمل النهاية المدببة ، وتقاس مقاومة الملف تبعاً لمراقبة درجات الحرارة التي تصل اليها النهاية المدببة من جراء التسخين . فالدقائق الممتازة كيميائياً على مستوى (او على مستويات معينة) معين سوف تكسب قابلية على الحركة وتبدأ بالانتشار تدريجياً نحو المستويات البلورية الاخرى التي بقيت غير مكسوة بالدقائق الممتازة . وتتم متابعة تغيرات الصورة عل الشاشة الفلورسينية ، ويمكن منها تقدير كل من معامل الانتشار وكذلك تقدير قيمة طاقة تنشيط التنقل على السطح . كما ويمكن قياس معاملات درجة الحرارة لسرع الابتزاز عند تسخين النهاية المدببة الى درجات حرارة مختلفة عالية . وتفيد هذه المعلومات في الحصول على طاقة تنشيط الابتزاز وبذا يمكن التعرف على قوى ارتباط الدقائق الممتازة بـ سطح النهاية المدببة ، أي يمكن الحصول على معلومات عن حرارة الامتزاز وطاقات التأصر للدقائق الممتازة مع المستويات البلورية المختلفة لسطح النهاية الفلزية المدببة .

٢ - تقنية انبعاث الايونات المجالي Field-Ion Emission Technique

هناك تشابه بين تقنية انبعاث الالكترونات المجالي وتقنية انبعاث الايونات المجالي من حيث مفردات مكونات المجهرين المناظرين للتقنيتين ، اما اوجه الاختلاف بين التقنيتين فتتضمن :

(أ) ان النهاية الفلزية المدببة كانت في تقنية انبعاث الالكترونات المجالي بمثابة الكاثود (الكاثود البارد) ، الا انها تصبح في تقنية انبعاث الايونات المجالي بمثابة الانود .

(ب) الشاشة الفلورسينية في تقنية انبعاث الالكترونات المجالي كانت بمثابة الانود في حين تصبح بمثابة الكاثود في تقنية انبعاث الايونات المجالي .

(ج) الغلاف الزجاجي الكروي كان يبقى مفرغاً من الهواء الى ضغوط منخفضة جدا (اقل من ١٠^{-١١} باسكال) في تقنية انبعاث الالكترونات المجالي . اما في تقنية انبعاث الايونات المجالي فانه يُملا بغاز الهيليوم تحت ضغط (١ , .) باسكال .

ان في تقنية انبعاث الايونات المجالي يتألف المجهر من شاشة فلورسينية تقوم مقام الكاثود ومن نهاية فلزية مدببة تقوم مقام الانود . ويملا الاناء والفسحة التي تقع بين الكاثود والانود بغاز الهيليوم عند ضغط (١ , .) باسكال . وتتم في هذه التقنية احاطة الغلاف الزجاجي من الخارج بسائل الهيدروجين او بسائل الهيليوم . وعند تسليط مجال كهربائي عالي (شدته ١٠×٥^٤ فولت على السنتمتر) تتأين ذرات الهيليوم المصطدمة بالنهاية الفلزية المدببة . يتم بعد ذلك تحريكها وتعجيل حركتها باتجاه الشاشة الفلورسينية (الكاثود) بفعل المجال الكهربائي المسلط الذي يمكن التحكم في قيمته بدقة . وتسقط ايونات الهيليوم المتعجلة على الشاشة الفلورسينية محدثة اصطدامات معها . وذرات الهيليوم المصطدمة بالشاشة تحدث بفعلاً ضوئياً ساطعة عليها . وعندما يكون نصف قطر التقوس للنهاية الفلزية المدببة بحدود (١٠×٥^{-٤}) سنتمتر ، وتكون المسافة الفاصلة بين النهاية الفلزية المدببة والشاشة الفلورسينية بحدود (١٠٠) سنتمتر يصبح التكبير المستحصل للنهاية المدببة على الشاشة بحدود ١٠^٦ الى ١٠^٧ مرة . والبقع الساطعة التي يتم ملاحظتها على الشاشة الفلورسينية

تتأظر المواقع النوعية للمستويات البلورية المختلفة الواقعة على سطح النهاية المدببة الباعثة للأيونات . وتتغير كثافات توزيع شدة الأيونات المنبعثة من المستويات البلورية المختلفة في حالة الامتزاز الكيميائي على النهاية الفلزية المدببة (الشكل ٨) .

ان الفائدة الأساسية من مجهر الأيونات المجالي تكمن في التحسن الكبير الذي يحدث في الميز (Resolution). فبينما كان هذا الميز بحدود (٢٠) انكسثروم في تقنية انبعاث الالكترونات المجالي فانه ينخفض الى (٢-٣) انكسثروم في حالة تقنية انبعاث الأيونات المجالي ، ويصبح بالإمكان عندئذ مشاهدة الذرة المنفردة ، والجزيئة المنفردة ، وكذلك مشاهدة التجمعات الذرية والجزيئية المختلفة ، ويمكن بالتالي متابعة تحركات الذرات والجزيئات وتجمعاتها على الشاشة الفلورسينية .

ان معامل التكيف لذرات الهيليوم على سطح النهاية الفلزية المدببة يكون صغيرا وبحدود (٠,٢ , ٠) تقريباً . والبقع الساطعة في هذه التقنية تنشأ عن وجود ذرات الهيليوم التي تعاني امتزازاً ضعيفاً على سطح النهاية الفلزية المدببة. وعندما تقترب ذرات الهيليوم من النهاية الفلزية المدببة فانها تعاني استقطاب بتأثير المجال الكهربائي المسلط ، فيتم تعجيل حركتها باتجاه النهاية الفلزية المدببة أولاً وتزداد طاقتها الحركية الى الضعف قياساً بالحالة في غياب المجال المسلط . وبالحصيلة يزداد المقطع العرضي لذرة الهيليوم التي يتم اصطيادها من قبل النهاية المدببة ، وتزداد بذلك قوة تآصرها مع سطح النهاية المدببة. وتآصر الذرات مع ذرات السطح الفلزية تصل قيمة قصوى عندما تصل الذرات الى ما فوق الذرات الفلزية تماماً . وعلى هذا فان الصور

المستحصلة على الشاشة سوف لن تتغير كثيراً بوجود الذرات الممتزة على السطح .

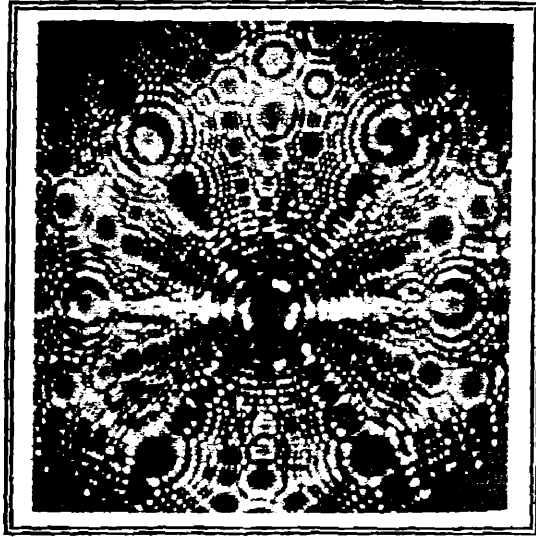
نتائج بعض الدراسات

١ - امتزاز الزنون على سطح التتكستن

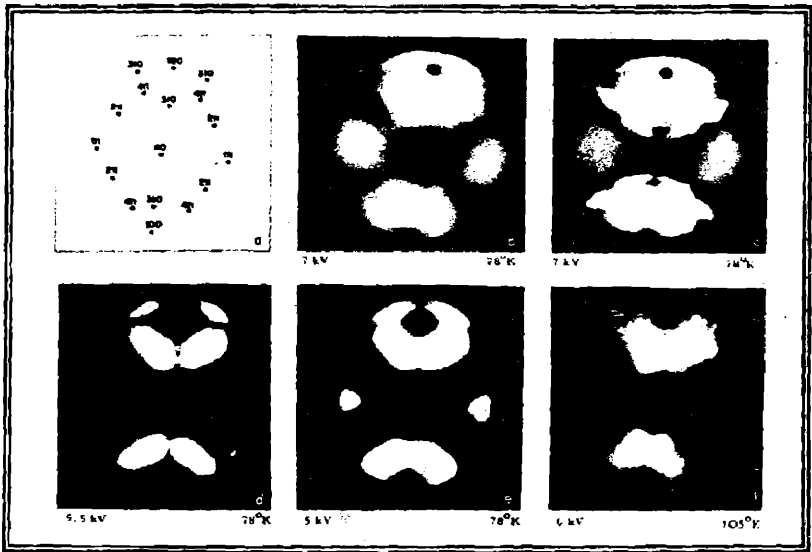
يعرض الشكل (٩) صوراً مستحصلة بتقنية انبعاث الالكترونات المجالي لسطح التتكسن النظيف (الصورة b) وعقب حدوث امتزاز لغاز النيون على السطح بدرجة ٧٨ كلفن (الصور من c الى e) ، وبعد تسخين التتكستن الى درجة (١٠٥) كلفن (الصورة f) الفولتيات المستخدمة للحصول على الصور مثبتة على الصور نفسها . الصورة (a) تمثل خارطة توزع اهم المستويات البلورية على نهاية التتكستن المدببة . وبمقارنة الصور من (b) الى (f) بالصورة (a) يمكن التعرف على المستويات البلورية التي اصابها اختفاء تدريجي لانبعاث الالكترونات وهي المستويات التي ذهب عنها السطوع من جراء ازدياد قيمة دالة الشغل الالكتروني لتلك المستويات البلورية .

٢ - امتزاز الهيدروجين على التتكستن

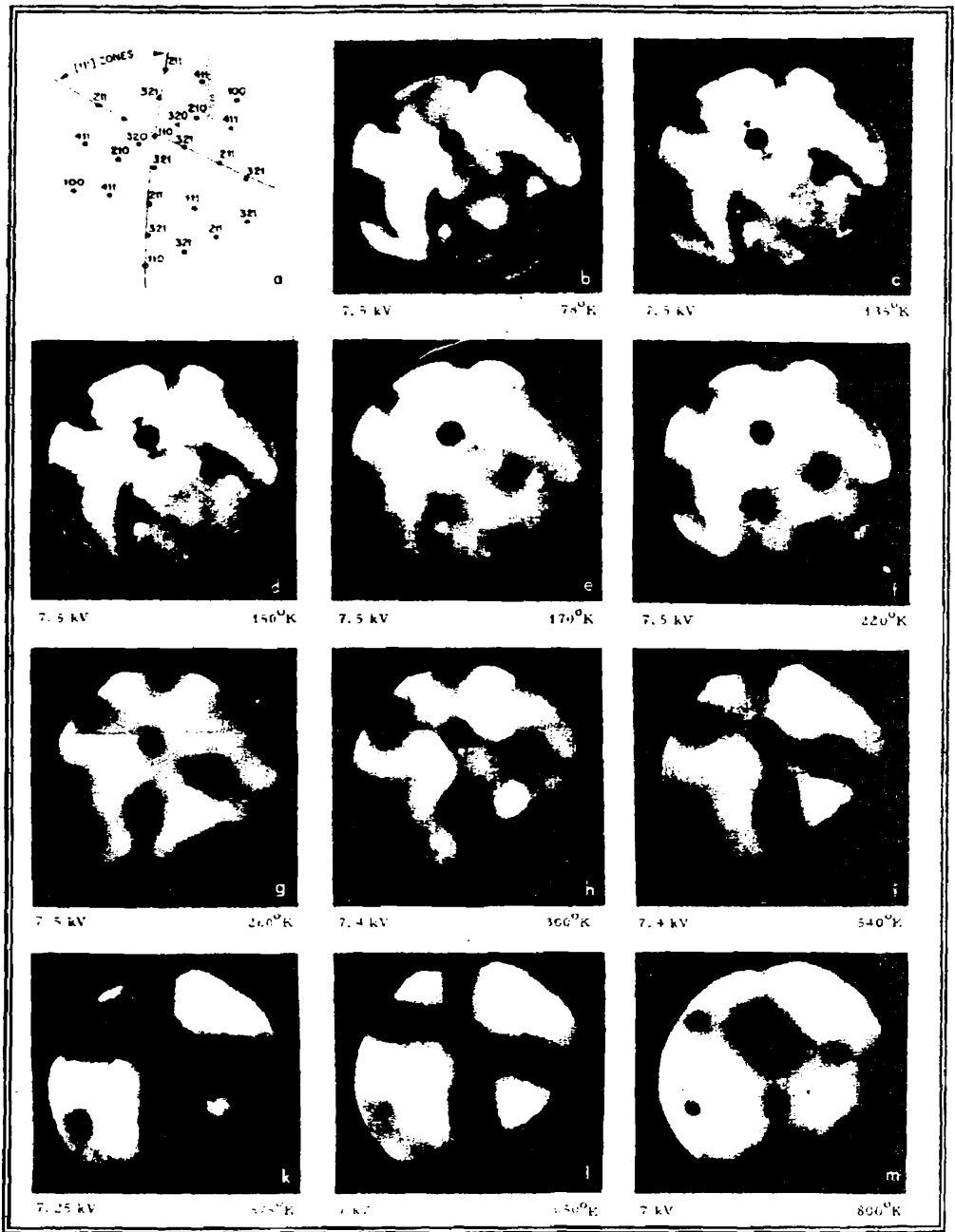
يبين الشكل (١٠) صوراً مستحصلة بتقنية انبعاث الالكترونات المجالي لامتزاز الهيدروجين على التتكستن (الصورة b) بدرجة ٧٨ كلفن ، وعقب معاملة نهاية التتكستن المدببة بالتسخين الى درجات حرارة مختلفة (من c الى l) الى ان يتم استرجاع صورة سطح التتكستن النظيف (الصورة m) . وبمقارنة الصور من (b) الى (l) بالصورة (a) والتي تخص اهم المستويات البلورية الظاهرة للعيان على بلورة التتكستن المنفردة يمكن التعرف على المستويات البلورية



الشكل (٨) - صورة انبعاث الايونات المجالي من فلز للتكستن باستعمال غاز الهيليوم للتأين .
 يلاحظ في الشكل المستوى البلوري OII الذي يقع في مركز الصورة . (قارن هذا الشكل بالشكلين
 ٤ و ٥) .



الشكل (٩) - امتزاز الزنون على التكستن . (a) خارطة المستويات البلورية لنهية للتكستن
 المدببة. الصورة (b) صورة انبعاث الالكترونات المجالي لسطح التكستن النظيف . الصور من (c)
 الى (e) توضح امتزاز غاز الزنون بدرجة ٧٨ كلفن وقولتيات مختلفة على سطح التكستن .
 الصورة (f) هي لسطح التكستن عقب تسخين طبقة الامتزاز الى (١٠٥) كلفن .



الصورة (١٠) - صور مستحصلة بتقنية انبعاث الالكترونات المجالي لامتراز غاز الهيدروجين على سطح التتكستن (الصورة b) بدرجة ٧٨ كلفن ، وعقب تسخين التتكستن الى درجات حرارة مختلفة (من c الى l) الى ان يتم استرجاع صورة سطح التتكستن للنظيف (الصورة m) .
الفولتيات المسلطة وبدرجات حرارة السطح المختلفة مثبتة على الصورة المختلفة .

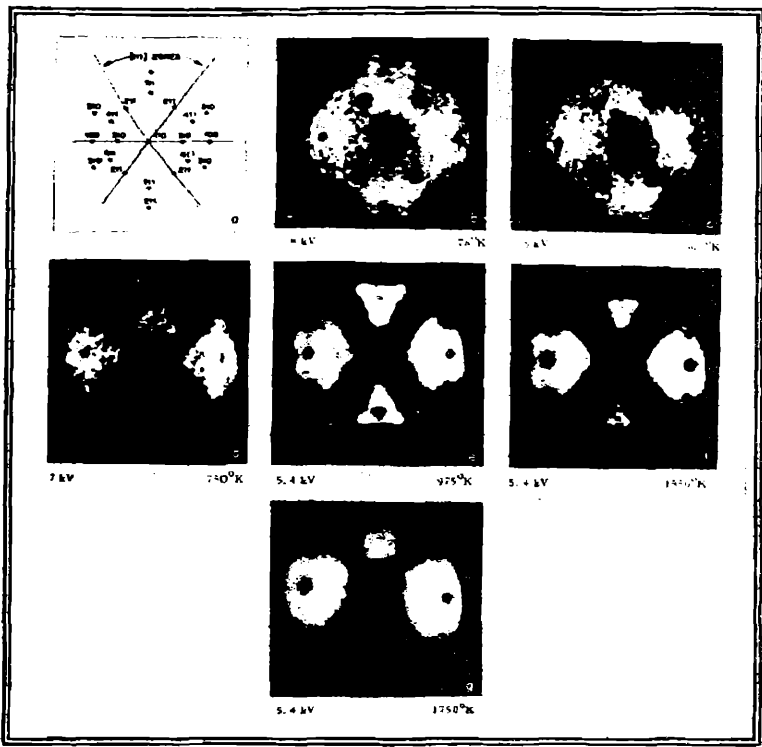
التي حصل عليها الامتزاز (في الصورة b) وكذلك التي حصل منها انتقال نرات الهيدروجين منها تمهيداً للامتزاز عن السطح كلياً . درجات الحرارة التي تم تسخين التتكستن اليها والفولتيات المسالطة على الانود للحصول على الصور مثبتة على الصور المختلفة . هناك تغيرات في دالة الشغل الالكتروني للتتكستن تناظر الى مراحل الامتزاز والانتقال والابتزاز المختلفة .

٣ - امتزاز وابتزاز احادي اوكسيد الكربون على التتكستن

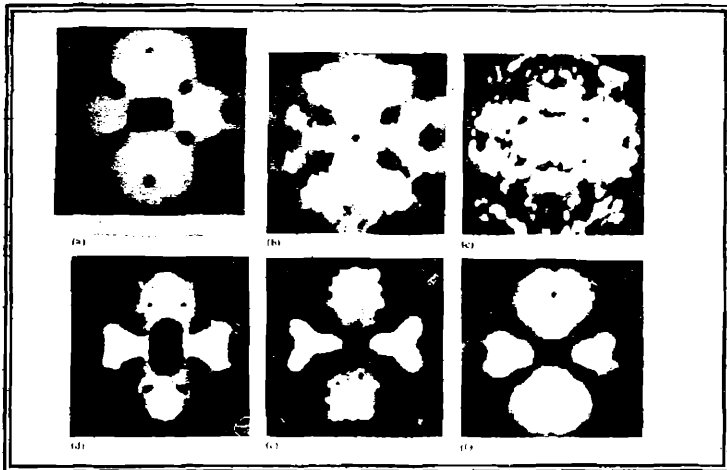
يبين الشكل (١١) مراحل امتزاز غاز CO على التتكستن ومن ثم توزع الغاز الممتز على المستويات البلورية المختلفة لسطح التتكستن . ويتم تثبيت درجة حرارة الامتزاز (الصورة b) ودرجات حرارة التنقل والابتزاز (الصورة من b الى g) على سطح التتكستن . والفولتيات اللازمة للحصول على الصور مثبتة عليها كذلك . يلاحظ في الشكل (١١) ان تسخين نهاية التتكستن المدببة الى ١٧٥٠ كلفن لم يكن كافياً لاسترجاع صورة سطح التتكستن النظيف بسبب قوة ارتباط جزيئات CO بالمستويات البلورية المختلفة .

٤ - امتزاز غاز الاوكسجين على التتكستن

يبين الشكل (١٢) امتزاز الاوكسجين على سطح التتكستن ومن ثم مراحل ابتزازه منه . فالشكل (١٢ a) يعرض صورة انبعاث الالكترونات المجالي لسطح التتكستن النظيف . الصورة (b) تشير الى الامتزاز الكيميائي للاوكسجين على التتكستن بدرجة ٣٠٠ كلفن، وعند تسخين التتكستن الى (١٠٠٠) كلفن تتحول الحالة الى الصورة (c) ، والصورة (d) تم الحصول عليها عقب تسخين التتكستن الى (١٧٠٠)



الشكل (١١) - امتزاز غاز احادي اوكسيد الكربون (CO) على سطح التتكتسن بدرجة ٧٨ كلفن وتسخين السطح بعد ذلك الى درجات حرارة مختلفة بلغت ١٧٥٠ كلفن . درجات الحرارة والفولتيات مثبتة على الصور المختلفة .

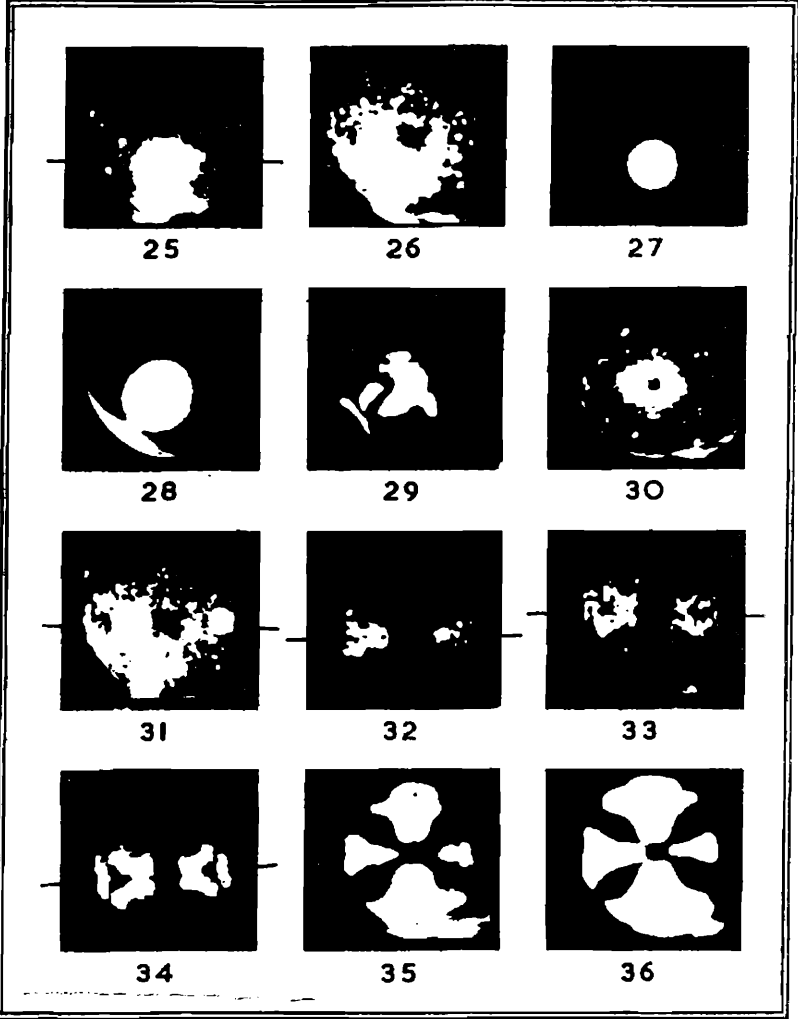


الشكل (١٢) - امتزاز الاوكسجين على سطح التتكتسن . لسطح التنظيف في الصورة (a) . الامتزاز في صورتين (b) و (c) . تسخين سطح التتكتسن الى درجات حرارة اعلى في الصور (d) الى (f) . الفولتيات المسلطة ودرجات الحرارة وكميات الامتزاز موضحة في الحاشية الانكليزية تحت الصور .

كلفن، والصورة (e) الى (١٩٠٠) كلفن ، اما الصورة (f) فقد تم الحصول عليها بعد تسخين التتستن الى (٢١٠٠) كلفن ، وهذه الصورة لا تزال مختلفة عن صورة سطح التتستن النظيف المعروضة في (a) مما يدل على ان ارتباط الاوكسجين بسطح التتستن ارتباط قوي . الفولتيات اللازمة للحصول على الصور مثبتة على الصور المختلفة .

٥ - امتزاز الكبريت على سطح التتستن

يعرض الشكل (١٣) الامتزاز الكيميائي لبخار الكبريت على سطح التتستن في صور انبعاث الالكترونات المجالي للسطح . فالصورة (٢٥) تشير الى تشبع سطح التتستن بالكبريت ، ويلاحظ انه عند ابقاء المجال الكهربائي مسطواً على نهاية التتستن المدببة تظهر دقائق مضيئة على الشاشة وهي في حالة حركة مستمرة ، وهناك اختفاء مستمر لبعض البقع المضيئة المتحركة وظهور غيرها على الشاشة . وقد يحصل اندماج لعدد من النقاط المضيئة مع بعضها البعض لتكوين نقطة مضيئة اكبر حجماً ، او قد تعاني بعض البقع انقسامات الى دقائق مضيئة اصغر . وقد تنمو نقطة مضيئة واحدة من بين الالف النقاط المضيئة فتكبر شيئاً فشيئاً حتى تغطي الشاشة بأكملها خلال ثوانٍ معدودة ، وهذا واضح في الصورتين (٢٧) و (٢٨) . وعند تسخين الصورة هذه الى (١٤٠٠) كلفن تتحطم الصورة شبه الكروية الى قطع غير منتظمة الشكل . وبتبريد التتستن الى (٣٠٠) كلفن ، وتسخينه بعد ذلك تدريجياً الى درجات حرارة اعلى (٥٥٠ الى ١٦٠٠ كلفن) يتم الحصول على صور انبعاث الالكترونات المجالي الموضحة من (٣٠) الى (٣٦) . ويبقى الانبعاث الإلكتروني في الصور (٣٢) الى



الشكل (١٣) - الامتزاز الكيميائي لبخار لكبريت على سطح للتكستن في تقنية انبعاث الالكترونات المجالي . النمو البلوري للكبريت على التكستن واضح في الشكلين (٢٧) و (٢٨) . تحطم البلورة النامية بتأثير المجال الكهربائي والتسخين في الصورة (٢٩) . توزع طبقة الامتزاز الكيميائي على السطح في الشكلين (٣٠) و (٣١) . تركز الامتزاز على المستويات البلورية الواقعة على جانبي المستوى المركزي (OII) .

(٣٤) المستحصلة في مدى درجات الحرارة من (١٠٠٠ - ١١٥٠) كلفن محصوراً في الجانبين الأيمن والأيسر من سطح للتكستن ويختفي كلياً من المستويات البلورية في المواقع الأخرى من نهاية التكستن المنبئة .

فالصورتان (٢٧) و (٢٨) تشيران في الواقع الى حصول نمو بلوري للكبريت على سطح التكستن بفعل المجال الكهربائي المسلط على السطح بدرجة (٣٠٠) كلفن . وهذه للتجمعات النامية بصورة شبه كروية تتعرض الى الانقسام والتحطم عند التسخين الى (١٤٠٠) كلفن (الصورة ٢٩) ، ثم تتوزع على عموم سطح التكستن في الصورتين (٣٠) و (٣١) ثم تتركز الدقائق الممتدة على المستويات البلورية التي تقع اسفل وعلى المستوى (OII) البلوري المركزي (للصور ٣٢-٣٤) ثم تنتشر الى عموم السطح في الصور (٣٥) و (٣٦) المستحصلة بدرجات الحرارة من (١٢٠٠) الى (١٦٠٠) كلفن .

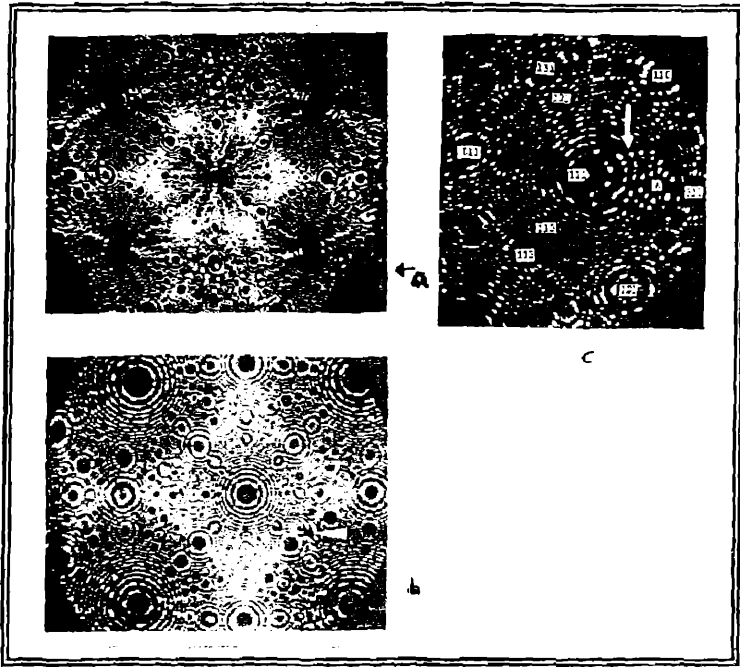
٦ - بعض صور انبعاث الأيونات المجالي

يبين الشكل (١٤) صورتين لانبعاث الايونات المجالي من سطح للتكستن (الصورة a) ومن سطح الارينيوم (الصورة b) النظيفين قبل حدوث امتزاز كيميائي عليهما . وتم الحصول على الصورتين باستعمال غاز الهيليوم تحت ضغط (١ ، ٠) باسكال الذي يملأ به انبوب الانبعاث المجالي . ويلاحظ في الصورتين ان للميز لاق قياساً بالصور التي تستحصل بتقنية الانبعاث الالكتروني ، اذ يمكن مشاهدة الذرات الواقعة على السطح ، كما يمكن تمييز بعض المستويات البلورية للرئيسة على سطح كل فلز البقعة المركزية السوداء في الصورة (a) هي لمستوى (OII) المركزي البلوري . وفي الصورة (b)

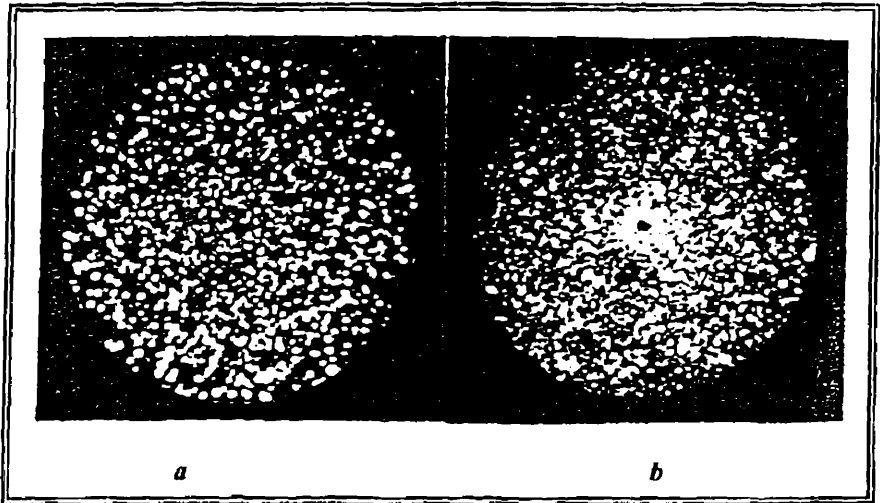
لمستوى (100) المركزي البلوري، اما الصورة (c) فهي لانبعاث الايونات المجالي من لحديد باستعمال النيون بدل الهيليوم .

٧ - انبعاث الايونات المجالي من حديد الصلب المقاوم للصدأ

يبين الشكل (١٥) صورتين مستحصلتين بتقنية انبعاث الايونات المجالي لسطح نهاية مدببة من حديد الصلب المقاوم للصدأ . فالصورة (a) هي لسطح نظيف في غياب أي امتزاز كيميائي ، اما الصورة (b) فهي لنفس السطح بعد ملئ انبوب انبعاث الايونات المجالي بالهيدروجين . يلاحظ ازدياد الانبعاث المجالي في وجود الهيدروجين الممتاز على السطح ، وتركز الهيدروجين الممتاز فيما حول المستوى البلوري المركزي (OII) .



الشكل (١٤) - صورتان لاتبعث الايونات المجالي من سطح التتكمين (a) ومن سطح الاريديوم (b) قليل حدوث أي امتزاز عليهما . تم الحصول على الصورتين باستعمال غاز الهيليوم تحت ضغط (١٠ . ١) باسكال . الصورة (c) فهي لاتبعث الايونات المجالي من الحديد (باستعمال غاز النيون بدل الهيليوم) في هيكل نحاس .



الشكل (١٥) - صورتان مستحصلتان بتقنية لاتبعث الايونات المجالي لحديد الصلب المقاوم للصدأ . الصورة (a) لسطح نظيف في غياب أي امتزاز كيميائي والصورة (b) بعد امتزاز الهيدروجين على السطح .

المصادر المعتمدة

1. J. M. Saleh, M. W. Roberts and C. Kemball, J. Catal, 1963, 2, 189.
2. J. M. Saleh, J. de physique, 1986, 47, C7 - III.
3. J. M. Saleh, J. de physique, 1987, 48, C6 - 475.
4. R. Gomer, Field-Emission and Field-Ionization, Harvard University Press, Cambridge, Mass, 1961.
5. R. H. Fowler and L.W. Nordheim, Proc. R. Soc. A, 1928, 119, 173.
6. F.C. Tompkins, Chemisorption of Gases on Metals, Academic Press, London, 1978.
7. G. Ehrlich, Adv. Catalysis, 1963, 14, 256.
8. E.W. Muller and T.T. Tsong, Field - Ion Microscopy, Principles and Applications, Elsevier Publishing Co., New York, 1969.
9. G. Wedler, Chemisorption: An Experimental Approach Translated by D. F. K lemperer, Butterworths, London, 1976.
10. E. W. Muller in W. G. Berl. (ed.), physical Methods in Chemical Analysis, Academic Press, NewYork, 1956, Vol 3, p.135.
11. M. Wehlmut and E.Bechtold, Appl. Surf. Sci., 1980, 5, 243.
12. 33rd International Field Emission Symposium, July (7-11), 1986, Berlin, Edited by J. H. Block, etal, France.
13. 34th International Field Emission Symposium, July (13-17), 1987, Japan, Edited by S. Nakamura, etal, Japan.