الكواشف الوميضية

1 - مقدمة

تتكون المادة الكاشفة (المادة التي تتفاعل مع الإشعاع المؤين الوارد على الكاشف) لهذا النوع من الكواشف من مادة تبدي خاصية إصدار أضواء (فلورية) عند رجوعها إلى حالة الاستقرار ، وذلك عندما تمتص طاقةً ناتجة عن تعرّضها لإشعاعات مؤينة تؤدي إلى إثارتها ويسمى هذا الانبعاث بالوميض . يشير اصطلاح الفَلْورة إلى الضوء الذي ينبعث من هذه المواد (أضواء: سريعة الظهور ، من النانو ثانية إلى الميكرو ثانية ولا تتعلق بالحرارة). وكثير من الغازات ، والسوائل والمواد الصلبة تصير فلورية عندما تتعرّض لإشعاعات كهرومغناطيسية ، أو لجسيمات مشحونة .

2 - الوميض

يؤدي ورود إشعاع مؤين على الكاشف (فوتونات ذات طاقة عالية أو جزيئات مشحونة) بالإضافة إلى التأيين إلى إثارة جزيئات المادة الكاشفة وعند رجوع هذه الجزيئات إلى حالة الاستقرار تصدر أضواء وي دعى هذا الإصدار بالوميض . فللوميض هو إذا انبعاث أضواء ناتجة عن تفاعل إشعاعات مؤينة مع مواد تمتلك خاصية تحويل طاقة هذه الإشعاعات إلى أضواء .

3 - الومّاض (المادة الويمضية)

هو أي جسم يمتلك خاصية إصدار أضواء (فوتونات ومضية) وذلك عندما تتعرض جزيئاته إلى الإثارة بواسطة إشعاعات مؤينة، مما يؤدي عند رجوع جزيئاته إلى حالة الاستقرار إلى إعادة إصدار الطاقة الممتصة على شكل أضواء ، أو بعبارة أخرى هو كل جسم يبدي خاصية تحويل الطاقة الممنوحة له من طرف إشعاع مؤين عند التفاعل معه إلى أضواء .

4 - أقسام الومّاض (المواد الويمضية)

تنقسم المواد الويمضية إلى قسمين :

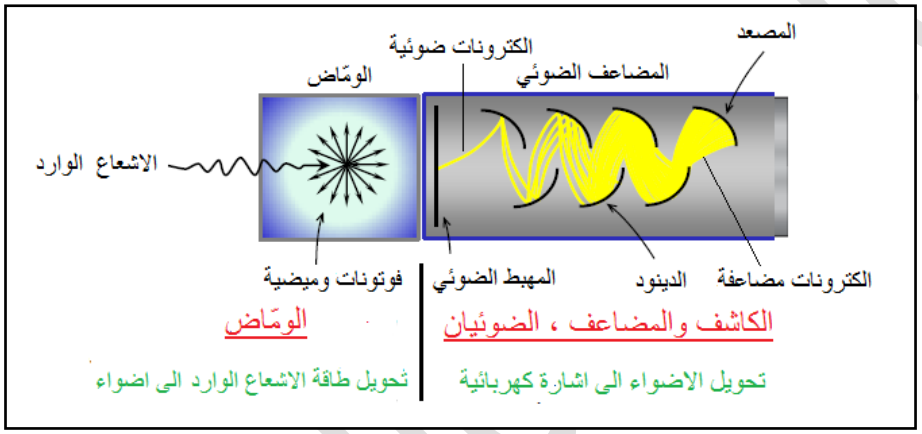
- المواد العضوية
  - مركبات اروماتية.
- المواد اللاعضوية.
  - بلورات ؛
  - الغازات النادرة .

Menelou Said

5 - أقسام الكاشف الوميضي

يتكون الكاشف الوميضي من : (الشكل : 01)

- الومّاض : يحول طاقة الإشعاع الوارد على الكاشف إلى أضواء (فوتونات وميضية) حيث يتناسب عدد الفوتونات المولدة مع طاقة الإشعاع المحولة له ؛
- الكاشف الضوئي (المهبط الضوئي) : يحول الأضواء (الفوتونات الوميضية) إلى حاملات شحنة كهربائية وتسمى بالالكترونات الضوئية ،
- المضاعف الضوئي (مجموع الدينودات) : يضاعف حاملات الشحنة الكهربائية (الالكترونات) للحصول على كمية شحنة على مستوى المصعد تؤدي إلى تيار كهربائي عند سريانها يمكن قياسه.



الشكل 01 : المخطط العام للكاشف الوميضي

6 - مبدأ عمل الكاشف الوميضي

يعتمد الكاشف الوميضي على مبدأ الإثارة ، حيث يولد تفاعل الومّاض مع الإشعاعات المؤينة الواردة على الكاشف فوتونات وميضية . ثم بعد ذلك تولّد الفوتونات الوميضية التي تصل إلى المهبط الضوئي ، الكترونات ضوئية نتيجة تفاعلها مع هذا الأخير بواسطة ال تأثير الكهروضوئي . تتسبب الالكترونات الضوئية في توليد سيل من الإلكترونات على مستوى الدينودات داخل المضاعف الضوئي حيث تجمع الالكترونات المولدة في الأخير عند المصعد .

ملاحظات :

- الومّاض ، يجب أن يكون :
  - * ذو فعالية عالية في تحويل طاقة الإشعاع الوارد على الكاشف إلى فوتونات وميضية ؛
  - * ذو خاصية تحويل خطية جيدة لطاقة الإشعاع الممنوحة له إلى أضواء في مجال واسع للطاقة ؛

* شفافا للأطوال الموجية للفوتونات الوميضية وحتى يحصل ذلك يجب أن تكون الطاقة المنبعثة (طاقة الفوتونات الوميضية) تختلف عن الطاقة الممتصة (طاقة الإشعاع) أي أن يمتلك حزمة امتصاص وحزمة إصدار مختلفتان؛
* متوسط مدى حياة الأضواء المولدة قصير جدا ؛
* له قرينة انكسار قريبة من قرينة انكسار الزجاج (في حدود 1.5) حتى توجَّه الفوتونات الوميضية نحو المضاعف الضوئي .

- الكاشف الضوئي (المهبط الضوئي) ، يجب أن يكون :
* ذو فعالية عالية في تحويل الفوتونات الوميضية إلى الكترونات ضوئية ؛

- المضاعف الضوئي ، يجب أن يكون :
* قادرا على توليد كمية شحنة انطلاقا من الالكترونات الضوئية على مستوى الدينودات لتجّمع في الأخير عند المصعد تكون كافية لإعطاء إشارة (تيار) كهربائية يمكن قياسها.

7 - مكونات الكاشف الوميضي

يتكون الكاشف الوميضي من عدة أجزاء أساسية هي :

- المادة الويمضية ؛
- العاكس الضوئي ؛
- الدليل الضوئي ؛
- المضاعف الضوئي
* المهبط الضوئي ؛
* الدينودات ؛
* المصعد ؛

7 - 1 المادة الوميضية (الومّاض)

في الواقع لا يمكن لأي مادة أن تتوفر فيها كل الشروط المذكورة في الملاحظة السابقة لذا يجب اختيار المادة وفق الظاهرة المدروسة .

هناك نوعان رئيسيان من المواد الوميضية :

- المواد الوميضية العضوية ؛

Mehellou Said

- المواد الوميضية اللاعضوية.

تمتلك المواد الوميضية العضوية عددا ذريا صغيرا لذا فهي لا تناسب استكشاف الفوتونات (حساسيتها ضعيفة لأشعة غاما التي لا يتم التفاعل معها الا بواسطة تأثير كومبتن)، لكنها عادة ما تستعمل لاستكشاف الجزيئات المشحونة والنيترونات لأنها غنية بالعناصر الخفيفة (وجود مكثف لذرات الهيدروجين) . وهي مواد سريعة الإصدار لكنها لا تمتلك خاصية تحويل خطية جيدة لطاقة الإشعاع الممنوحة لها إلى أضواء .

أما المواد الوميضية اللاعضوية فهي مواد ثقيلة وكثيفة ، تمتلك عددا ذريا كبيرا ، تؤهلها هذه المواصفات للكشف عن أشعة غاما نتيجة الإمتصاص الجيّد للفوتونات مع الإمكانية العالية لحدوث تأثير كومبتن ، لديها خاصية تحويل خطية جيدة لطاقة الإشعاع الممنوحة لها إلى أضواء لكنها بالمقابل بطيئة الإصدار .

7 - 1 - 1 المواد الوميضية العضوية :

أ - التعريف :

تتكون المواد المستخدمة من مركبات اروماتية (مكونة انطلاقا من حلقة البنزين) ويمكن أن تكون متجانسة (حلقاتها مكونة من ذرات الكربون و الهيدروجين) أو غير متجانسة (يدخل في تركيب حلقاتها ذرة أو أكثر من ذرات الأكسجين النيتروجين أو الكبريت...) . إصدار الأضواء الوميضية هي خاصية ذاتية لهذه المواد ولا تتعلق بحالتها الفيزيائية ، لذا نجد مواد وميضية عضوية بلورية ، سائلة و كذلك بلاستيكية .

ب- آلية إنبعاث الأضواء :

إنبعاث الأضواء في هذه المواد ناتج عن إثارة الالكترونات غير المُتمركزة والمسماة بالالكترونات π من المستوى S_0 إلى المستويات الثلاثية T_n أو الأحادية S_n ، متبوعا برجوعها السريع جدّا (النانو ثانية) إلى حالة الاستقرار . يتراوح الفارق الطاقوي بين المستويات S_0 و S_1 في المواد الوميضية العضوية الأكثر إستعمالا من 3 eV إلى 4 eV . كل مستوى طاقوي رئيسي مقسم إلى مستويات متقاربة تمثل مستويات الطاقة الإهتزازية للجزيء (الشكل : 02) .

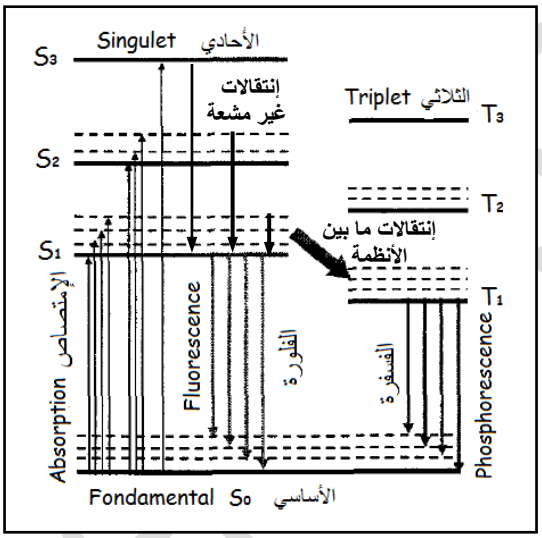
يمكّن إجتياز جسيم مشحون للمادة الوميضية من إثارة الكتروناتها (الإلكترونات π) إلى أحد المستويات الأحادية S_n . إذا أحدث الجسيم الوارد على المادة الوميضية تأيينا ، يتم عادة إلتحام الإلكترون مع الجزيء المؤين في أحد المستويات الثلاثية T_n ذات الطاقة العالية .

بالنسبة للمستويات الأحادية ، يتم رجوع الجزيء إلى حالة الاستقرار تواليا بدءا بإنتقال داخلي غير مشع نحو المستوى S_1 (في زمن قصير جدا في حدود البيكو ثانية) ثم بإنتقال مضيء من S_1 نحو أحد المستويات الإهتزازية للمستوى الأساسي أو مباشرة إلى المستوي S_0 . هذه الانتقالات سريعة جدّا ، مع مدّة حياة المستوي S_1 من رتبة النانو ثانية . هذا الإصدار السريع يسمى بالفلورة .

Mehellou Said

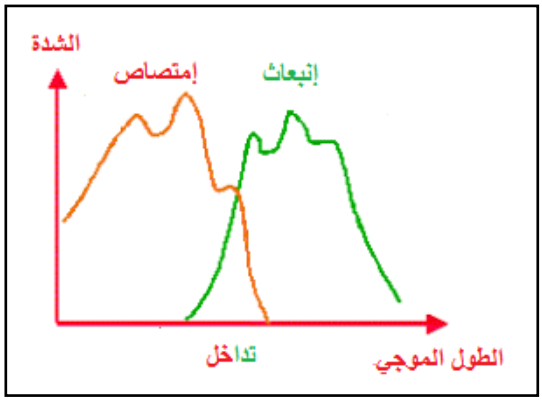
تُسْكن المستويات الثلاثية بالإلكترونات الناتجة عن تأيين الجزيء ، بعد إعادة إلتحامها مع هذا الأخير ، أو عن الإنتقالات غير المشعة إليها من أحد المستويات الأحادية . تؤدي إنتقالات غير مشعة إلى المستوي T_1 الذي يعود من الإثارة نحوى المستوى الأساسي ومستوياته الفيبراسيونال باعثا أضواء . مُدّة حياة المستوي T_1 أكبر بصفة ملحوظة من مُدّة حياة المستوي S_1 حيث يمكن أن تصل إلى الميلي ثانية . هذا الإنبعاث المتأخر للأضواء يسمى بالفسفرة (بالفوسفورية). يقع المستوي T_1 عند طاقة إثارة دنيا ، لذا فإن الطول الموجي للأضواء المنبعثة أكبر بالمقارنة مع حالة الفلورة .

تصادم جزيئين في حالة إثارة في المستويات T_n ، يمكن أن يؤدي بأحدهما إلى ا لإنتقال نحوى أحد المستويات الأحادية ذي طاقة أعلى والثاني إلى المستوى الأساسي مسببا فلورة متأخرة .



الشكل 02 : مبدأ الوميض في المواد العضوية

وجود المستويات الإهتزازية الجزيئية أدى إلى ظهور حزمة إمتصاص (للإثارة) و حزمة إصدار (لإزالة الإثارة) . تداخل هذه الحزم ناتج عن الإمتصاص الذاتي لأضواء الومّاض من طرف هذا الأخير (الشكل :03) . قصد تحسين المردود الوميضي ، تضاف عادة مادة تسمح ب إنزياح الطول الموجي للفوتونات الوميضية تمنع تفاعل هذه الأخيرة مع جزيآت المادة الوميضية . لذا ، فان التركيبة الوميضية عادة ما تتكون من مذيب ومذاب أولي مسؤول عن الإصدار الوميضي ومن مذاب ثانوي يزيح الطول الموجي لهذه الأضواء (wave shifter) .



الشكل 03 : أطياف الإمتصاص ،الإصدار و الإمتصاص الذاتي

ج- مختلف أنواع الومّاضات العضوي :

يتواجد الومّاض العضوي بأشكال مختلفة : بلورات عضوية ، سائل أو بلاستيك حيث يحتوي كل منها على مذيب ومذابين يؤدي واحد منهما دور مزيح الطول الموجي .

ج- 1 البلورات العضوية

هناك نوعان رئيسيان :

- الأنثراسين (Anthracene) ، وهو أكثر ومّاض عضوي إصدارا للأضواء ؛
- الستيلبين (Stilbene) .

ج- 2 الومّاض السائل

عموما هو محلول لومّاض عضوي (عدة غ / ل) في مذيب سائل آروماتي (benzène, toluene, dioxane) الذي يضاف له مذابان بتركيز ضعيف (في حدود 0.5 %) لتوليد الأضواء وإزاحة طولها الموجي من فوق البنفسجية نحو قيم تسمح بإخراج الأضواء من الحاوية . تحول الطاقة الممتصة من طرف المذيب إلى المذاب المسؤول عن إصدار الأضواء . يسمح هذا النوع من الومّاض بالكشف عن النيترونات لأنه يحتوي على العديد من ذرات الهيدروجين .

ج- 3 الومّاض البلاستيكي

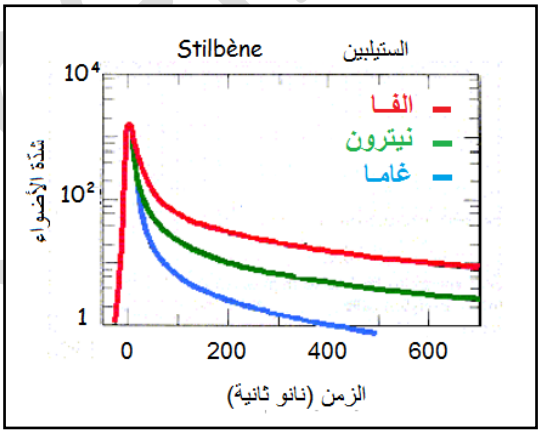
عادة ما يستعمل البوليمير كمذيب و معه مذابان . بشكل عام ، يتم إستخدام بوليمر أساسي كمذيب واثنين من المواد المذابة. إن أكثر المذيبات البلاستيكية شيوعًا هي متعدد فينيل التولوين (PVT) ومتعدد سترين (PS).

Mehellou Said

يستخدم كمذيب متعدد méthyl méthacrylate (PMMA) الذي لا يومض ، لا يصدر الأضواء) . المذاب الأول يمكن أن يكون متعدد therphényl (في حدود 10 غ / ل) ، أما المذاب الثاني (بعض من % من المذاب الأول) و يلعب دور مزيح الطول الموجي .

ملاحظات

- يكون التوليد الفلّوري السريع جيّدا في الومّاض في الحالة التي تكون فيها الإلكترونات هي الجسيمات المؤينة .
- كلما كانت كتلة الجسيمات المؤينة كبيرة ، كلما كانت نسبة الطاقة المتسبّبة فقط في تأيين الجزيآت أقل .
- الومّاضات البلاستيكية ليست خطية جدّا ونادرا ما تُستعمل لقياس طاقة الجسيمات إلا في حالة الجسيمات ذات الطاقة العالية . ويأتي هذا من كون أن الآلية التي تساعد بدرجة كبيرة على إسكان المستويات الثلاثية (وبالتالي الفلورة المتأخرة) تكون أكثر أهمية كلما كانت الجسيمات المُسْكتشفة مؤينة (عددها الذري Z كبير و طاقته منخفضة) .
- يكون إسكان مستويات الإثارة سريعا جدّا حيث يتم في حدود 0.5 نانو ثانية بينما تتم إزالة إثارتها في عدة نانو ثانية .
- في الومّاضات العضوية ، تؤدي الجسيمات التي لديها إستطاعة تأيين كبيرة تساعد على إسكان المستويات الثلاثية وبالتالي الإصدار البطيء للأضواء . يكون إصدار الأضواء أكثر بُطأً بالنسبة للجسيمات الفا أكثر منه بالنسبة للنيترونات و الفوتونات (الشكل : 04) .



الشكل 04 : التوزيع الزمني لشدة الأضواء الناتجة عن تفاعل ومّاض عضوي مع مختلف الجسيمات المؤينة

7 - 1 - 2 المواد الوميضية اللاعضوية :

تمتلك معظم المواد الوميضية اللاعضوية بنية بلورية (بعض الغازات ، مثل الغزينون تمتلك خاصية الوميض) . المستويات الطاقوية المسموح للإلكترونات التواجد بها تشكل حزما (حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ)

Mohamed Said

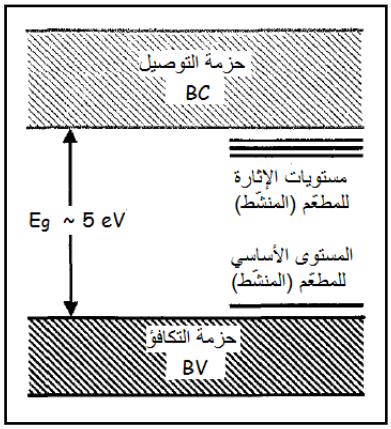
، كما في حالة أشباه النواقل (الشكل : 05) . يبلغ عرض الحزمة الممنوعة لهذه المواد تقريبا 5 eV . هناك نوعان رئيسيان من المواد الوميضية اللاعضوية :

- البلورات المُطعَّمة : إصدار الأضواء ناتج عن تواجد الجزيئات المُطعّمة (المُنشّطة).
- البلورات الذاتية (النقية) ، حيث يمكن أن تكون بنيتها البلورية :
  * خالية من العيوب (مثالية) ؛
  * تحتوي على عيوب .

البلورات المُطعَّمة : تعتمد ظاهرة الوميض في المواد اللاعضوية المُطعَّمة على خلق مستويات طاقوية في الحزمة الممنوعة وهذا بتواجد المُطعّم (المنشّط) (الشكل : 05) . يمَّكن اجتياز جسيم مشحون للمادة الوميضية من تحرير إلكترون من حزمة التكافؤ . إذا كانت الطاقة التي يمنحها الجسيم للمادة كبيرة ، يصل الإلكترون إلى حزمة التوصيل مخلفا وراءه فجوة في حزمة التكافؤ (تأيين المادة) (الشكل : 06 ؛ الإنتقال : 1) ، حيث يمكن أن تنتقل هذه العناصر بكل حرية داخل البلور مع إحتمال ضعيف لرجوع الإلكترون إلى حزمة التكافؤ مع إصدار مضيء بدون وجود المُطعّم . أما إذا كانت الطاقة ضعيفة ، يبقى الإلكترون مرتبطا بالفجوة بواسطة قوى كولمب حيث يشكلان معا ما يسمى "الإكسيتون" (إثارة المادة) (الشكل : 06 ؛ الإنتقال : '1) الذي يمكن له كذلك الإنتقال بكل حرية داخل البلور. يقع الإكسيتون طاقويا في حزمة تتواجد مباشرة تحت حزمة التوصيل . يمكن أن يُفكك الإكسيتون بواسطة الطاقة الحرارية إلى إلكترون حر وفجوة حرة ، (الشكل : 06) .

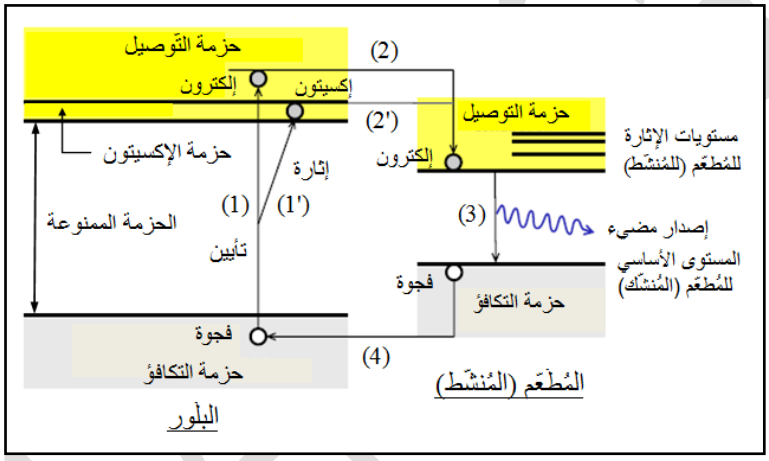
عندما تصادف فجوة حرة من بلور المادة اللاعضوية إحدى ذرات المُطعّم ، يحدث تأيين لهذا الأخيرة (الشكل : 06 ؛ الإنتقال : 4) ، لأن المستوى المشغول في هذه الحالة طاقويا هو الأكثر مُلائمة . إذا تقاطع إلكترون حر أو إكسيتون مع ذرة مُطعّم مؤيَّنَة ينتقل إلى أحد مستويات الإثارة لهذه الأخيرة (الشكل : 06 ؛ الإنتقال : 2 أو '2) ، ليلتحم بعد ذلك مع إحدى فجواتها لتتحول إلى ذرة متعادلة كهربائيا (الشكل : 06 ؛ الإنتقال : 3) ، تقع مستويات الإثارة للذرة المُطعّمة في الحزمة المنوعة .عادة ما يكون النزول إلى المستوى الأساسي للذرة المُطعّمة مصحوبا بإصدار فوتونا تفلوريا وأحيانا ما يكون مصحوبا . بما أن طاقة الفوتون المنبعث أقل من عرض الحزمة الممنوعة (الفاصل الطاقوي الممنوع) فلن يُمتص هذا الفوتون من طرف البلّور ، ولا من طرف المُطعّم للأسباب معقدة (إنزياح ستوكس) .

Mehdi Ou Said



الشكل 05 : الحزم والمستويات الطاقوية

في مادة لا عضوية مطعَّمة



الشكل 06 : مبدأ الوميض في مادة لا عضوية مطعَّمة