جامعة محمد خيضر

كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة

قسم علوم المادة

مذكرة ماستر

علوم المادة

فيزياء

فيزياء المادة المكثفة

رقم:

إعداد الطالب

هيــاق إسـمـاعـيـل

يوم: 19 / 06 / 2024

تأثير سمك الآبار الكمومية على الخصائص الكهربائية والضوئية للثنائيات الباعثة للضوء

لجنة المناقشة:

مرمي سعيدة	الرتبة أ.مح أ	جامعة محمد خيضر ـ بسكرة	رئيس
تبرماسين توفيق	الرتبة أ.د	جامعة محمد خيضر ـ بسكرة	مؤطر
بومعراف رامي	الرتبة أ.مح ب	جامعة محمد خيضر ـ بسكرة	مناقش

السنة الجامعية: 2023 - 2024

شكر وتقدير

الحمد والشكر لله العلي القدير الذي علم بالقلم علم الإنسان مالم يكن يعلم، أحمده عز وجل

على أن يسر لي هذا العمل

وصرف عني ما يمنعه، فله الحمد حمدا كثيرا طيبا على كل شيء.

ثم الشكر والتقدير لعباد الله الطيبين أصحاب الفضل وأخص بالذكر:

أستاذي: **تبرماسين توفيق** الذي بذل معي كل الجهد والوقت

مع المرافقة والتوجيه والملاحظة لإنجاز هذا العمل.

أعضاء اللجنة الذين شرفوني بمناقشة هذا العمل وتقييمه:

الأستاذة مرمي سعيدة والأستاذ بومعراف رامي

كل الأساتذة الذين درسوني خلال مرحلة الماستر.

الشباب الطيب: منال، ثابت، شيماء، أصيل، رمضان، جمانة، كوثر

إهـــداء

إلى القابضين عل البنادق المرابطين في الخنادق

المواجهين للدبابات والطائرات بصدور عارية وهمم عالية

إلى أبطال المقاومة في غزة..

حفظكم الله.. نصركم الله.. وسدد رميكم

الملخص

إن المبدأ الذي يقوم عليه إصدار الضوء من الثنائيات الباعثة للضوء هو الالتحام الإشعاعي الذي يحدث بالتحام الإلكترونات بالثقوب، والذي يؤدي لإصدار أشعة ضوء بأطياف مختلفة يمكننا التحكم فيها من خلال المواد المستخدمة ونسب التطعيم. هناك علاقة مباشرة بين كثافة الالتحام الإشعاعي وبين شدة الإضاءة، من هنا جاءت فكرة إدخال الآبار الكمومية باعتبارها أسلوبا لحبس حاملات الشحنة ضمن مجال طاقوي وبعد هندسي محدود. لا شك أن التعامل التجريبي خاصة مع المستوى النانوي أكثر كلفة للجهد والوقت ما دعا لاستعمال برامج محاكاة تسبق العمل التجريبي. يعد SILVACO من أشهر برامج المحاكاة الذي يعطي نتائج حول مصابيح LED كعلاقة شدة التيار بالجهد المطبق، شدة الإضاءة بدلالة شدة التيار، الكثافة الطيفية للطاقة بدلالة الطول الموجي وأخرى. من خلال هذه المنحنيات والقيم التي يمكن استنتاجها منها يمكننا التنبؤ بالعينة التي ستعطي أفضل النتائج. عند قيامنا بذلك على عينة مكونة من أربع آبار كمومية GaN بحواجز $Al_{0.2}GaN$ وتغييرنا لقيم سمك الآبار وجدنا أن أفضل سمك هو 6nm لكل بئر من الآبار الأربع.

الكلمات المفتاحية: الثنائيات الباعثة للضوء LED، الآبار الكمومية Quantum wells، محاكاة simulation، SILVACO، الالتحام الإشعاعي.

ABSTRACT

The principle behind the emission of light from light-emitting diodes is the radiation recombination that occurs by the coalescence of electrons with holes, which leads to the emission of light with different wavelength that we can control through the materials used and the doping ratios. There is a direct relationship between the density of the radiation recombination and the intensity of illumination. From here came the idea of introducing quantum wells as a method of confining charge carriers within an energy field and a limited geometric dimension. There is no doubt that experimental work, especially with the nano level, is more costly in terms of effort and time, which calls for the use of simulation programs that precede experimental work. SILVACO is one of the most famous simulation programs that gives results about LEDs: the relationship of the current intensity to the applied voltage, the illumination intensity versus the current intensity, the spectral density to the wavelength. Through these curves and the values that can be deduced from them, we can predict which sample will give the best results. When we did this on a sample of four GaN quantum wells with $Al_{0.2}GaN$ barriers and varied the thickness values of the wells, we found that the best thickness was 6 nm for each of the four wells.

Keywords: light-emitting diodes LEDs, quantum wells, SILVACO, radiation recombination.

الفهرس

شكر وتقدير 2

الإهداء 3

الملخص 4

الفهرس. 5

المقدمة العامة. 7

الفصل الأول: الثنائيات الباعثة للضوء

1.1 ـ الثنائيات الكهربائية الباعثة للضوء LED. 10

2.1 ـ مبدأ عمل الصمام الثنائي الباعث للضوء. 14

3.1 ـ خصائص الثنائيات الباعثة للضوء. 22

4.1 ـ بعض تطبيقات واستخدامات الثنائيات الباعثة للضوء: 34

5.1 ـ أنواع مصابيح LED. 36

الفصل الثاني: الآبار الكمومية

1.2ـ الآبار الكمومية. 39

2.2 ـ تشكيل بئر كمومي. 42

3.2 ـ خصائص ومميزات البئر الكمومي **44**

4.2ـ بعض تطبيقات الآبار الكمومية **47**

الفصل الثالث: نتائج المحاكاة ببرنامج SILVACO

1.3ـ نبذة حول البرنامج المستخدم. **49**

2.3ـ تركيب العينة المختارة. **54**

3.3 ـ قيم الإدخال المختـارة. **55**

4.3ـ النتائج المتحصل عليها بالمحاكاة. **56**

ـ الخلاصة. **70**

ـ الخاتمة. **71**

قائمة المراجع. **72**

المقدمة العامة

تحتل الإضاءة حيزا هاما من حياة البشر خاصة في الوقت الحالي والذي أصبح كل نشاط الإنسان يعتمد على الإضاءة وعلى الشاشات وعلى العروض البصرية. مع الحاجة المتزايدة للإضاءة والاستهلاك الواسع لها أصبحت الإضاءة التقليدية تمثل عبئا اقتصاديا وبيئيا حيث تستهلك الكثير من الوقود لإنتاجها بالإضافة إلى عمرها القصير ناهيك عن المخلفات الصناعية والكيميائية التي تأتي بعد استعمالها.

إن هذا الإشكال دفع مخابر البحث العلمي وورشات الانتاج الصناعي للتفكير في بدائل للإضاءة التقليدية وقد كان للثنائيات الباعثة للضوء النصيب الأكبر منها. لقد نجحت الثنائيات الباعثة للضوء والمعروفة اختصارا بـ LED لتكون بديلا حقيقيا للإضاءة التقليدية وأثبت نجاحتها الاقتصادية بل وقابليتها للتطوير من خلال تحسين مكونات المصباح وطرق الإنتاج المختلفة.

ولعل أبرز ما يميز الثنائيات الباعثة للضوء هو قدرتنا على التحكم في ترددات الضوء الصادر منها بحيث يمكن تغطية كامل الأطياف، هذه الميزة جعلتها تستعمل في تطبيقات كثيرة، الإضاءة جزء منها فقط، الاتصال السلكي واللاسلكي، علاج الأمراض الجلدية، المساعدة في نمو النبات وتطبيقات أخرى كثيرة تعد بمستقبل مفتوح وغير محدود لهذه الثنائيات.

إن ادخال الكثير من التقنيات على الثنائيات الضوئية أدى لتطوير كبير في جودة أدائها، ومن أبرز هذه التقنيات وأحدثها: الآبار الكمومية. تعد الآبار الكمومية مجالاً بحثياً رائعاً وواسعا وفريدا بفضل خصائصها الفريدة وقدرتها على إنتاج أغشية رقيقة عالية الجودة، والآفاق المستقبلية التي يمكن أن يفتحها هذا البحث فمن المرجح أن تلعب الآبار الكمومية دوراً مهماً في تطوير الأجهزة الإلكترونية عالية الأداء في المستقبل

الآبار الكمومية عبارة عن طبقات رقيقة من مواد شبه موصلة محصورة بين طبقتين من مادة شبه موصلة مختلفة. هذه الطبقات رقيقة جداً لدرجة أن الإلكترونات الموجودة في البئر تقتصر على الحركة في بعدين. يؤدي حبس الإلكترونات هذا إلى تكميم مستويات الطاقة، مما يعني أن الإلكترونات لا يمكنها شغل سوى مستويات طاقة معينة [10]. إن وجود الإلكترونات أو الثقوب في بئر كمي يؤثر بشكل كبير في النتائج المسجلة لأغلب القياسات في التركيبات الإلكترونية وبالتالي يعطى نتائج كبيرة وأداء عال للأجهزة الإلكترونية. توجد طرق وتقنيات كثيرة لصنع آبار كمومية وهي تهدف لأنشاء تركيب كهربائي تمر الإلكترونات من خلاله بمواد نصف ناقلة ضمن نقاط لحركة محدودة، (الترسيب الكهروكيميائي، الطباعة النافثة، الحفر الكيميائي، تنضيد الشعاع الجزيئي، ترسيب البخار الكيميائي العضوي المعدني،.....)

أدى دمج الآبار الكمومية مع الضوئيات إلى تطوير الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs) والليزر ذات الكفاءة العالية. وإلى إنشاء أجهزة جديدة مثل المُعدِّلات الضوئية وأجهزة الكشف الضوئي.[10] إن البحث المتسارع في هذا الموضوع والتكاليف المادية والجهود التي ترافقه بالإضافة إلى الأساليب الدقيقة والعوائق التقنية المصاحبة له حتم تطوير برامج تحاكي واقع التجربة لإعطاء نتائج عن كل تغييرات محتملة في الظروف أو القيم أو المواد المستخدمة. ولعل أشهر برامج المحاكاة المستعمل في هذا الباب هو برنامج SILVACO–ATLAS، وهو المستعمل في هذه المذكرة بحيث نقوم كل مرة بتغيير سمك الآبار الكمومية في معطيات البرنامج ثم اخراج النتائج لكل حالة ومعالجتها بيانيا للوصول إلى سمك البئر الكمومي الأفضل أداء وهو ما يمثل إشكالية هذا البحث. يجدر الإشارة الى أن مخبر المواد النصف الناقلة والمعدنية، جامعة محمد خيضر بسكرة يملك نسخة أصلية من البرنامج.

الفصل الأول

الثنائيات الكهربائية الباعثة للضوء

LED

تمهيد:

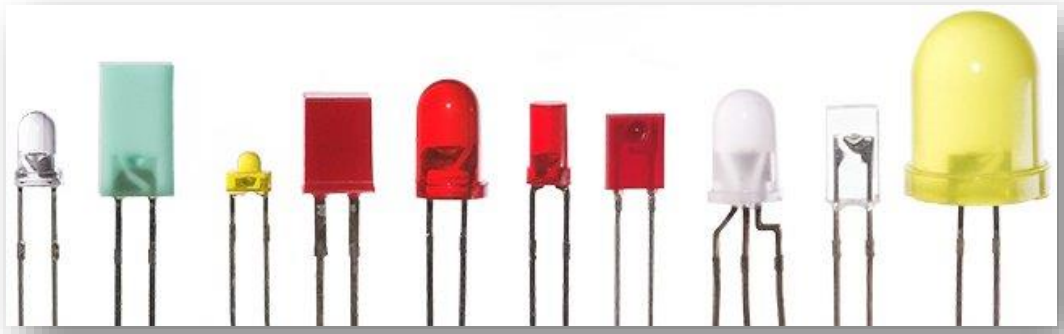
قبل عدة سنوات فقط كان الأمر بالنسبة لمصابيح LED يقتصر على نقاط ضوء الصغيرة تستخدم كتنبيهات أو كمؤشرات على اشتغال الأجهزة، لكن توسع الآن مجالات استخدام هذا النوع من اصدار الضوء ليشمل كل المجالات التي كانت تغطيها المصابيح التقليدية بل وحتى مجالات جديدة اتاحها القدرة على التحكم في طيف الاشعاع الضوئي الصادر من مصابيح LED انطلاقا من الإضاءة القوية إلى الاستعمال في نمو النبات أو حتى معالجة بعض الأمراض.

تتوفر مصابيح LED لجميع نطاقات الاستخدام تقريبا وتستخدم هذه المصابيح بسبب كفاءتها العالية في الانارة اضافة الى عمرها الطويل واستهلاكها الأقل للطاقة هذا ما وسع نطاق استخدامها ومجالات تطبيقها لحد كبير وهو يتوسع بشكل أكبر ليصل مستقبلا لمجالات استخدام لم تكن ضمن استخدامات مصادر الضوء التقليدية وهو بلا شك مجال أوسع من أن تحصره هذه المذكرة المحددة. مصابيحLED هي تكنولوجيا الإضاءة الأكثر كفاءة في استخدام الطاقة والأكثر تطوراً في الوقت الحالي [5] وقد أثبتت هذه الأنواع.. كفاءة عالٌية وقدرة كبٌيرة على توفٌر الطاقة الكهربٌائية المستخدمة مما أدى إلى انتشارها وزٌيادة الطلب علٌيها والاعتماد علٌيها بشكل أساسي في الإضاءة الداخلية والخارجية حتى أنها أصبحت تمثل مستقبل الإضاءة في العالم [2]

1.1 الثنائيات الكهربائية الباعثة للضوءLED :

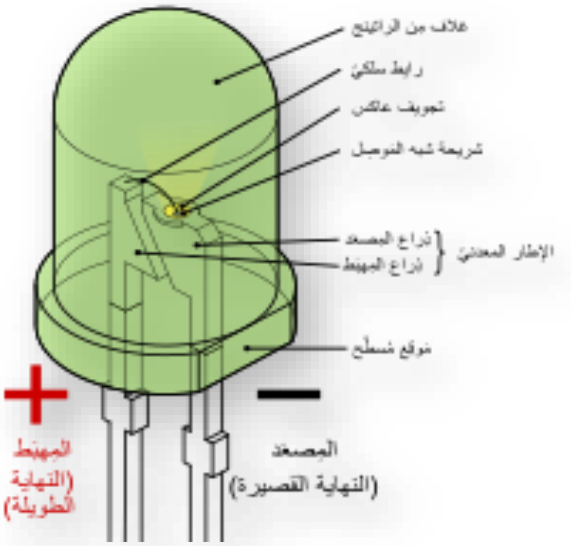
1.1.1 التعريف:

الثنائيات الباعثة للضوء (LED) **شكل 1.1** هي أجهزة صغيرة تتكون من أشباه موصلات. ينبعث منها الضوء عند مرور تيار كهربائي من خلالها. في المقابل، تولد المصابيح المتوهجة التقليدية الضوء عن طريق تسخين خيوط الأسلاك. تعتمد مصابيح LED على حركة الإلكترونات في مادة شبه موصلة لإنتاج الضوء. [4]



شكل 1.1 نماذج لثنائيات باعثة للضوء LED

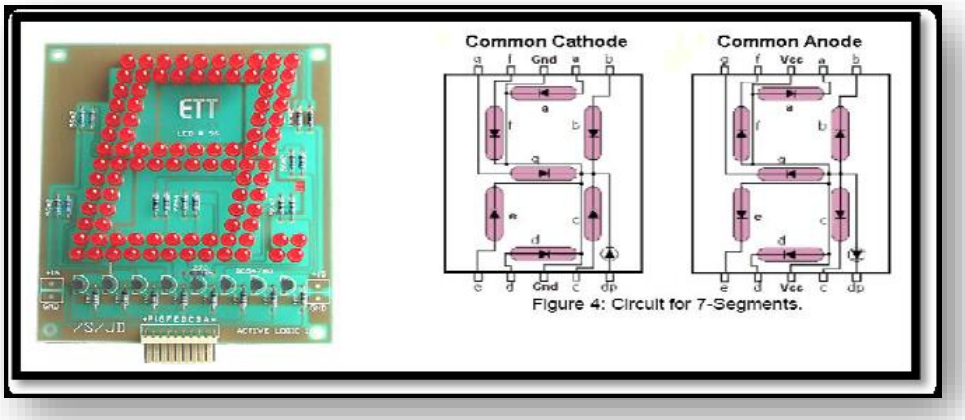
يتكون الصمام الثنائي الباعث للضوء من مصعد ومهبط منفصلان، وجد المهبط على هيئة تجوّيف يركز الضوء الصادر وملتحم في قاعه بلورة المادة شبه الموصلة التي تبعث ضوء عند توصّلها بمصدر الكهرباء، حّيث يصلها التيار الكهربائي عن طريق سلك ربطٌ وصل بُن البلورة والمصعد [2].(**شكل 2.1**)



شكل 2.1 مخطط لصمام ثنائي باعث للضوء

وكلمة LED تعنى الصمام الثنائي الباعث للضوء Light −Emitting Diode [5]. هذا الباعث الضوئي هو مصدر ضوئي مصنوع من مواد أشباه الموصلات تبعث الضوء حينما يمر خلاله تيار كهربائي [12]

فالـ LED عبارة عن مصابيح الكترونية اي لا تحتوي على فتيلة أو غاز ولا تسخن لدرجة كبيرة كما في المصابيح الكهربائية التقليدية. فهي تصدر الضوء من خلال حركة الالكترونات داخل مواد من أنصاف النواقل. الثنائيات الكهربائية الباعثة للضوء LED أصبحت الآن من أكثر المكوّنات الإلكترونية البصرية استخداماً في الشاشات والأجهزة مثل التلفاز والهواتف والحاسبات والساعات والعدادات الرقمية وأجهزة الإعلام الآلي وأدوات التحكم عن بعد وإشارات المرور والأجهزة الطبية والمُرسِلات المستخدمة في منظومات الاتصالات والتحكم ومصابيح الإنارة ...إلخ، بالإضافة إلى استخدام أضواء LED بأطوال موجية معينة منها كطرق لعلاج بعض الأمراض وحماية النبات وتحسين نموه [7]، إضافة إلى استخدامها مؤشراتٍ ضوئيةً **(شكل 3.1/ شكل4.1)**



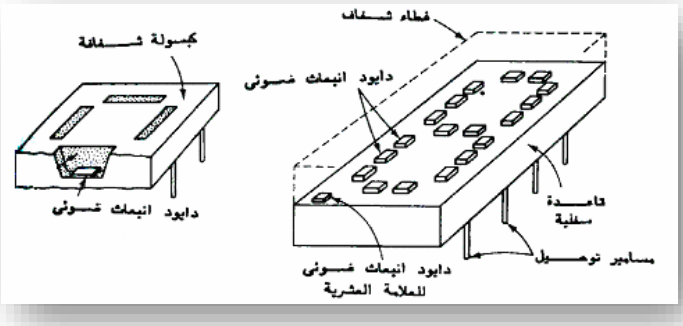
شكل3.1 استخدام LED كمؤشرات ضوئية

يمكن أيضا تعريف LED أيضا على انه ديود يعمل على تمرير التيار الكهربائي باتجاه واحد بالإضافة الى كونه مضيء أي يبعث ضوء اثناء مرور التيار الكهربائي من خلاله.

1 ـ 1 ـ 2 تطور تاريخي

كما هو الحال في كل التطبيقات التقنية الكبيرة تبدأ ببحوث وتجارب أولية محدودة لتتوسع بعد ذلك وقد يحتاج هذا لسنوات او حتى عقود بحسب التطور الحاصل في المجالات ذات العلاقة بالتقنية. ولا شك أن التطور الكبير في انصاف النواقل خلال القرن الماضي ساهم في تطور LED بشكل مباشر وكبير، بالإضافة إلى التحكم التقني في الإنتاج على المستوى النانوي. في عام 1907، اكتشف العالم البريطاني HJ Round ظاهرة تسمى التلألؤ الكهربائي. يمكن أن تشع بعض المواد الضوء عند مرور تيار كهربائي من خلالها [4] . إلا أن اختراع أول ثنائي باعث للضوء كان في عام 1927 على يد المخترع السوفياتي (أوليغ لوسيف) حيث لاحظ أن الثنائيات "Diodes"المستخدمة في أجهزة الراديو تبعث الضوء عندما تم تمرير التيار الكهربائي من خلالها وكان ذلك باستخدام بلورات كربيد السيلكون وتم نشر الاكتشاف في الصحف الروسية والبريطانية والألمانية ، إلا أنه لم تتم استخدام هذه التقنية حينها وظلت راكدة لسنوات طويلة حتى بدأ استخدامها مرة أخرى مع بداية الخمسينات وفى الستينات ظهرت اكتشافات أخرى في نفس السياق وأجريت الكثير من التجارب على مواد أشباه موصلة[2].

لم تتطور التطبيقات العملية للتلألؤ الكهربائي حتى عام 1960، على مدى العقود القليلة التالية، واصل الباحثون تحسين تقنية LED لقد أوجدوا ألوانًا جديدة وزادوا سطوعها، ظهرت المصابيح الخضراء والزرقاء في التسعينيات بعد المصابيح الصفراء في السبعينيات. في عام 1990، أنشأ باحثون في جامعة كاليفورنيا (سانتا باربرا) مصباح LEDأبيض. لقد أحدثت ثورة في صناعة الإضاءة. [4]



شكل4.1 مخطط لاستخدام LED

كمؤشرات ضوئية

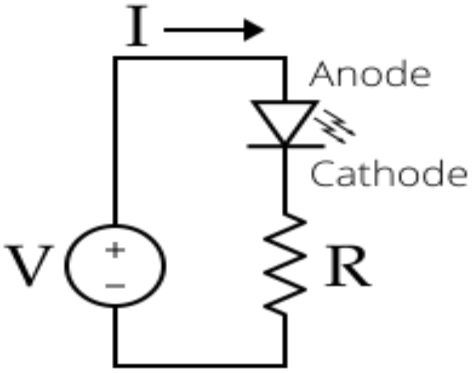
ومنذ عام 2006 بدأت تستخدم الصمامات الباعثة للضوء في الأسواق التجارية بدلا من المصابيح المتوهجة ومصابيح النيون، ثم استخدمت في أجهزة كثيرة مثل أجهزة التلفاز وأجهزة الراديو والهواتف والآلات الحاسبة والساعات. وعلى الرغم من بدء ظهور تقنيات LED في أوائل ستينيات القرن العشرين، فقد تطورت فقط في العقد الماضي إلى النقطة التي أصبحت فيها هذه التقنيات عملية واقتصادية في آن واحد بحيث يمكن الاستفادة منها في مجموعة كبيرة ومتنوعة من الاستخدامات.

ومن المتوقع أن تنمو سوق الإضاءة العالمية باستخدام تقنيات LED من 7 مليارات أورو في عام 2010 إلى 40 مليار أورو في عام 2017 بمعدل نمو سنوي مركب بلغ 34%، ومن المتوقع أن تحقق سوق الإضاءة باستخدام تقنيات LED نمواً يصل إلى ما يقرب من 65 مليار أورو أو ما يعادل 94 مليار دولار ... وبحلول عام 2020، وهو ما يمثل نسبة تعادل تقريبا 60٪ من إجمالي سوق الإضاءة. [2]

1 ـ 2 مبدأ عمل الصمام الثنائي الباعث للضوء :

في الدارة الكهربائية الثنائي الباعث للضوء

هو صمام كهربائي **(شكل 5.1)**



شكل 5.1 LED في دارة كهربائية

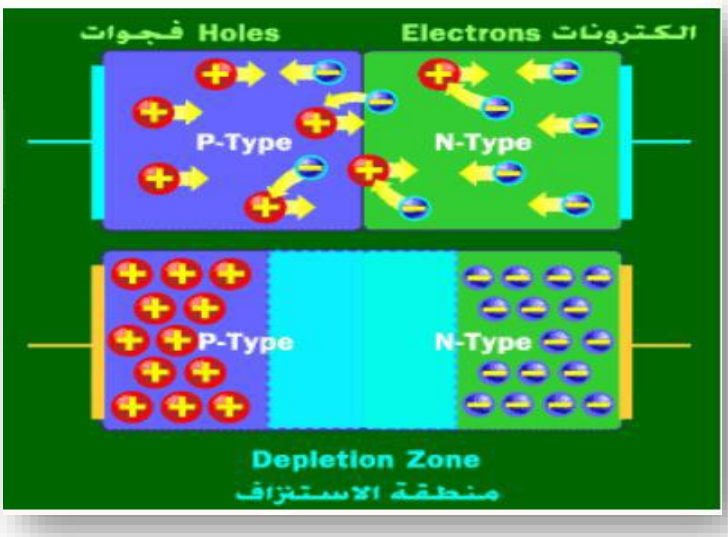
1 ـ 2 ـ 1 مبدأ عمل الصمام الكهربائي (Diode):

هو مكون فعال إلكتروني وهو عنصر في داره كهربائية تحتاج الى طاقة خارجيه للقيام بوظيفته [1]

الصمام كهربائي هو أصغر الأدوات المصنعة من مواد أنصاف النواقل، ومطعمة بنسبة من الشوائب (Doping).[9]. عندما تكون أنصاف النواقل في الحالة النقية تماما فإن كل الذرات تكون مرتبطة مما ينتج عنه عدم توفر الكترونات حرة لنقل التيار الكهربي، ولكن عند تطعيم هذه المادة بنسبة محددة من ذرات خماسية التكافؤ تسمى مواد من النوع N وهو الحرف الأول من كلمة Negative أي سالبة الشحنة لان حاملات الشحنة هي الالكترونات التي تتحرك من المناطق السالبة الشحنة إلى المناطق الموجبة الشحنة.

اما أنصاف النواقل التي تحتوي على نقص في الكترون أو أكثر أي ما يعرف بالفجوة تسمى مواد من النوع P وهو الحرف الأول من كلمة Positive اي موجبة الشحنة حيث ينتقل الالكترون من فجوة الى اخرى مما يعتبر أن الفجوة هي التي تنتقل والتي تمثل الشحنة الموجبة التي تنتقل من المناطق الموجبة إلى المناطق السالبة، فالصمام الكهربائي هو عبارة عن اتصال مادتين شبه موصلتين أحدهما من النوع N والأخرى من النوع P مع وجود الكترود على الطرفين الخارجيين لتوصيل الصمام بفرق الجهد الكهربائي في دائرة كهربائية [6]

الوصلة pn انها وصلة من منطقتين في نصف نقل جهة مشابة بذرات مانحة للإلكترونات والاخرى مشابة بذرات أخذة وتحوي ثقوب. فعندما لا يوجد فرق جهد كهربائي مطبق على طرفي الإلكترود فإن الالكترونات في المادة Nتنتقل إلى الفجوات في المادة P من خلال الوصلة بين المادتين مكونة منطقة نضوب .Depletion Zone في منطقة النضوب.. كل الفجوات احتوت على الكترونات مما اصبحت حركة الالكترونات معدومة لعدم توفر الفجوات. **(شكل 6.1)**. [9]



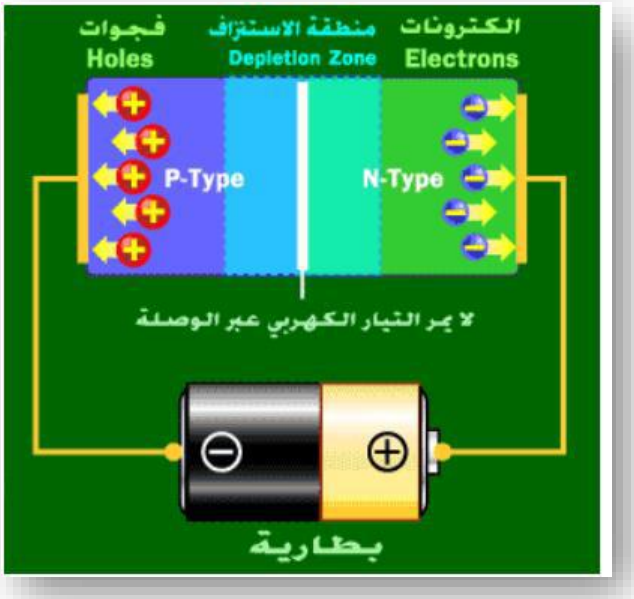
شكل 6.1: انتقال الإلكترونات من N إلى P [6].

للتخلص من هذه المنطقة فإنه يجب دفع الالكترونات إلى الحركة خلال منطقة النضوب بإنتاج فرق جهد كهربائي ينتج عنه مجال كهربائي يؤثر على الالكترونات.

فنقوم بتوصيل الإلكترود الموصول على المادةN بالقطب السالب ويوصل الإلكترود على المادةP بالطرف الموجب فتتنافر الالكترونات في المادةN مع الطرف السالب وتندفع تجاه منطقة النضوب وتتحرك الفجوات في المادةP تحت تأثير قوة التنافر مع القطب الموجب تجاه منطقة النضوب وبزيادة فرق جهد المصدر تستطيع الالكترونات من عبور منطقة النضوب وتتحد مع الفجوات وتلغي منطقة النضوب وتصبح وصلة الصمام موصلة للتيار الكهربائي.[6] **(شكل 7.1)**.

شكل 7.1: تلاشى منطقة النضوب

عند التوصيل بالاتجاه المعاكس للمرة السابقة تصبح وصلة الصمام عازلة للتيار الكهربائي.. فإن منطقة النضوب تزداد وذلك لانجذاب الالكترونات ناحية الطرف الموجب والفجوات تجاه الطرف السالب وينعدم مرور التيار نتيجة لحركة الالكترونات والفجوات في اتجاهين متعاكسين يزيد من منطقة النضوب [6]. **(شكل 8.1)**.



شكل 8.1 :ازدياد منطقة النضوب

1 ـ 2 ـ 2 انتاج الضوء من الثنائيات الباعثة للضوء LED:

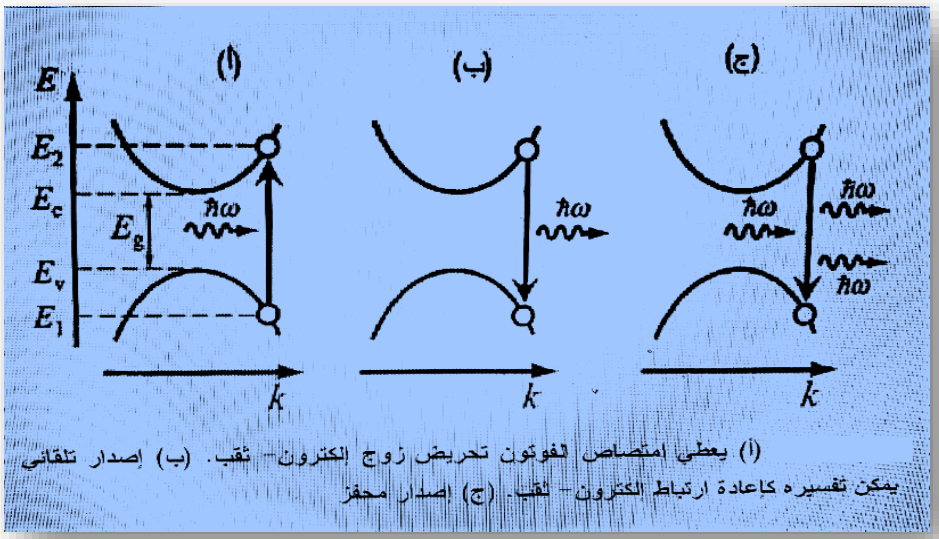
في الإلكترونيات، الصمام الثنائي هو أحد المكونات التي تقيد اتجاه حركة حاملات الشحنة. في الأساس، فهو يسمح للتيار الكهربائي بالتدفق في اتجاه واحد. "الصمام الثنائي الباعث للضوء" هو جهاز شبه موصل يصدر ضوءًا مرئيًا بلون معين. مثل الصمام الثنائي العادي، يتكون LED من شريحة من مادة شبه موصلة مطعمة بالشوائب لإنشاء تقاطع p–n (موجب وسالب) ... يؤدي تطبيق التيار إلى دفع الحاملات الحرة نحو الوصلة. وعندما تقترب، فإن ذرات المادة من النوع n "تقدم" إلكتروناتها الإضافية إلى ذرات مادة من النوع p التي "تستقبلها". تسمح الشحنة السالبة إلى الجانب n بتدفق التيار من المنطقة المشحونة (−) إلى المنطقة المشحونة (+). عندما تسقط إلكترونات إضافية في المادة من النوع n في الثقوب الموجودة في المادة من النوع p، فإنها تطلق طاقة على شكل فوتونات (ضوء). يتم تحديد المادة الموجودة في LED بحيث يقع الطول الموجي

للفوتونات ضمن الجزء المستهدف من الطيف. تنتج المواد المختلفة فوتونات بأطوال موجية مختلفة (أي اللون). يمكن لمصابيح LED الجمع بين اللون الأحمر والأخضر والأزرق في جهاز واحد وإنشاء ملايين الألوان من خلال التحكم في الكثافة لكل لون [8]

جميع الثنائيات الباعثة للضوء تعمل بنفس المبدأ والمكونات مع اختلاف في التقنيات المستخدمة في كل منها نعلم أن الضوء هو عبارة عن طاقة تنتج او تنبعث من الذرة في صورة اشباه جسيمات تسمى الفوتونات Photons لها كمية حركة وكتلتها صفر. وسميت اشباه جسيمات لان الضوء له طبيعة مزدوجة فيمكن ان يكون موجة ويمكن ان يكون جسيم. تنطلق الفوتونات من الذرات نتيجة لحركة إلكتروناتها، ففي الذرة تتحرك الالكترونات في مدارات دائرية حول النواة يعتمد نصف قطر المدار على كمية الطاقة التي يمتلكها الالكترون فكلما كانت الطاقة كبيرة كان نصف قطر المدار اي الإلكترون ابعد عن النواة. عندما ينتقل الكترون من مدار منخفض إلى مدار اعلى فإنه يمتص طاقة خارجية ليتم الانتقال اما في حالة عودة الإلكترون من المدار الاكبر إلى المدار الادنى فإنه تتحرر طاقة يحملها فوتون تساوي فرق الطاقة بين المدارين. وبالتالي فإن طاقة الفوتون تتحدد بفارق الطاقة بين المداريين اللذين انتقل بينهما الالكترون وهذا يدل على ان طاقة الفوتون يمكن ان تكون متغيرة تعتمد على المدارات التي حدثت بينها الانتقالات، تغير طاقة الفوتون تعني تغير في الطول الموجي للفوتون فيمكن ان يكون فوتون على شكل ضوء مرئي او ضوء غير مرئي. **شكل 9.1** (ب)

في حالة وصلة الصمام الكهربائي فإن الالكترونات الحرة تتحرك عبر وصلة الصمام في اتجاه الفجوات وهذا يعني ان الالكترون عندما يتحد مع الفجوة كما لو انه انتقل من مدار عالي الطاقة إلى مدار أدنى فتتحرر طاقة على شكل فوتون. ولكن لا نرى الفوتون المنبعث إلا إذا كان ذو طول موجي في الطيف المرئي وهذا لا يتحقق

في كل وصلات الصمام ففي الصمامات المصنعة من مادة السليكون يكون الفوتون المنطلق في منطقة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي ولا يرى بالعين المجردة ولكن له تطبيقات هامة أخرى.[6]



شكل 9.1 انطلاق فوتون بتزاوج إلكترون مع ثقب[9]

*التلألؤ الكهربائي وتوليد الفوتونات

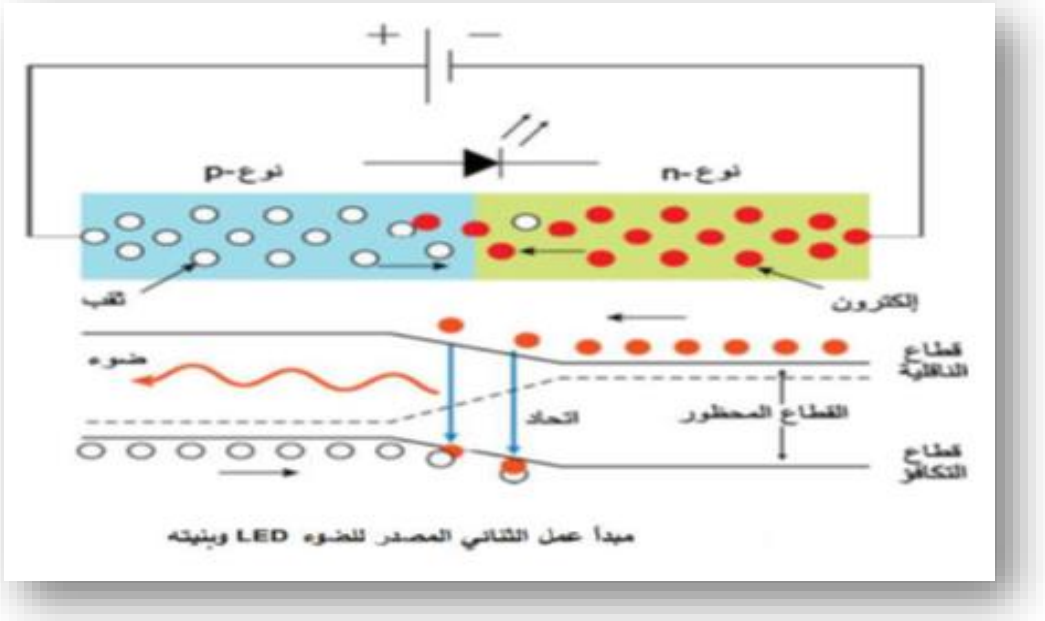
اللمعان الكهربائي هو ظاهرة انبعاث للضوء. إنها عملية انبعاث الضوء من مادة استجابة لتيار كهربائي يمر عبرها. في سياق تقنيةLED ، يتم إجراء عملية التلألؤ الكهربائي داخل رقاقةLED

*أهمية التطعيم وايجاد منطقة نضوب:

يعد إنشاء منطقة نضوب أمرًا بالغ الأهمية لتشغيل LED عندما يتم تطبيق الجهد على تقاطع pn ، فإنه يتسبب في تحرك الإلكترونات في المادة من النوع n باتجاه التقاطع في نفس الوقت، تتحرك الثقوب الموجودة في المادة من النوع p باتجاه التقاطع في الاتجاه المعاكس، عندما تلتقي الإلكترونات والثقوب فإنها تتحد في منطقة النضوب، وتطلق الطاقة على شكل ضوء.

تحدد فجوة الطاقة الطول الموجي الدقيق للضوء المتولد، يقع بين شريط التكافؤ ونطاق التوصيل لمادة أشباه الموصلات. هنا، شريط التوصيل هو نطاق مستويات الطاقة في المادة التي يمكن أن تشغلها الإلكترونات عندما لا تكون مرتبطة بذرة.

من ناحية أخرى، فإن نطاق التكافؤ هو مستوى الطاقة الذي تملأه الإلكترونات عند ارتباطها بذرة. وعندما يسقط إلكترون من نطاق التوصيل إلى نطاق التكافؤ، فإنه يطلق الطاقة كفوتون ضوئي [4]. **شكل 10.1**

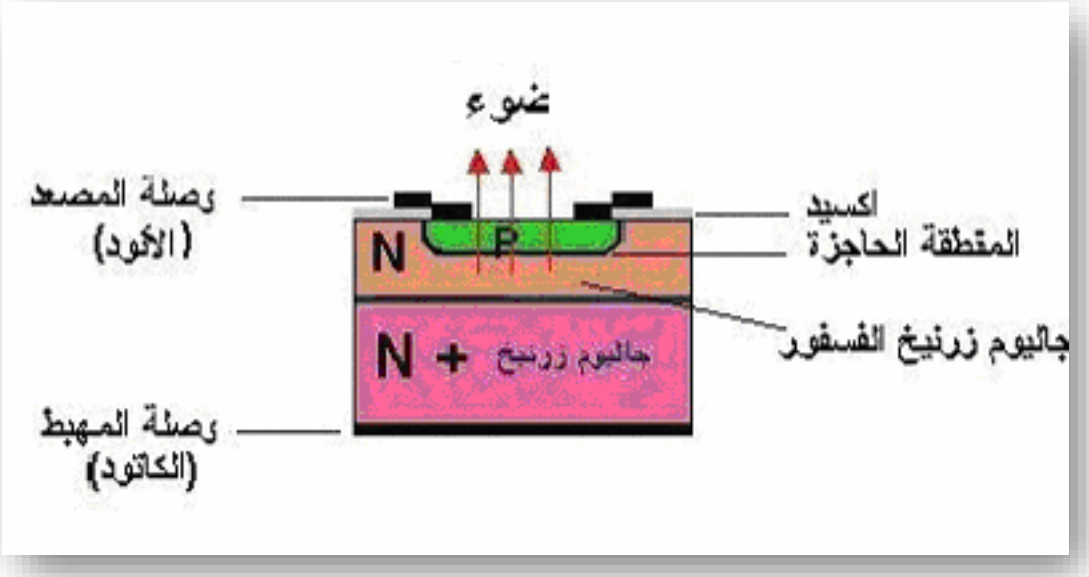


شكل 10.1 رسم تخطيطي لمبدأ عمل الصمام الباعث للضوء

يتكون الصمام الثنائي الباعث للضوء من مصعد ومهبط منفصلان، يوجد المهبط على هيئة تجويف يركز الضوء الصادر وملتحم في قاعه بلورة المادة شبه الموصلة التي تبعث ضوء عند توصّلها بمصدر الكهرباء، حيث يصلها التيار الكهربائي عن طريق سلك ربط يوصل بين البلورة والمصعد يؤثر التيار الكهربائي في ذرات شبه الموصل فتشغل بعض إلكتروناتها مستوى طاقة عالٍ في الذرة، وتقفز الإلكترونات متأثرة بالتيار الكهربائي من

مستوى طاقة عالٍ إلى مستوي طاقة منخفض، فيصدر الإلكترون فارق الطاقة بين الحالتين على هيئة فوتون، أي ضوء ذو تردد محدد وبالتالي له طول موجة ولون محددة

.ويمكن باختيار مادة الثنائي الحصول على لون الضوء المطلوب وهذا يتعلق باختيار المادة المناسبة وكذلك اختيار مستوي الطاقة الذي يقفز الإلكترون من أحدهما إلى المستوي الآخر المنخفض فهذا الفارق في طاقة المستويين يحدد طاقة الفوتون الذي يطلقه الإلكترون [2] **شكل 11.1**



شكل 11.1 مخطط لوصلة p–n بعناصر باعثة للضوء

[تلعب مادة أشباه الموصلات دورًا مهمًا في انبعاث الضوء في مصابيح .LED عادة ما يتم استخدام السيليكون أو الجرمانيوم كمواد شبه موصلة في مصابيح .LED لجعلها موصلة بدرجة كافية لإنتاج الضوء. [4]

لكي نحصل على وصلة دايود تعطي ضوء مرئي فإنه يستخدم مواد ذات فارق طاقة أكبر بين مدار الالكترون في المادةN والفجوة في المادةP التي تمثل المدار ذو الطاقة الأدنى. حيث ان التحكم في هذا الفارق يحدد لون الضوء المنبعث من الديود عند اتحاد الالكترون مع الفجوة خلال وصلة الديود.

الوصلات الباعثة للضوءLED تصمم بحيث يتم توجيه الضوء الى الخارج من خلال احتواء وصلة الديود داخل مادة بلاستيكية على شكل مصباح شبه كروي لتركيز الفوتونات المنطلقة في اتجاه محدد.

الثنائيات تتكوّن من وصلة ثنائية نصف ناقلة من النوع p–n يُغذّى الثنائي المصدِر للضوء بالاتجاه المباشر. تنتقل إلكترونات التيار في منطقة الوصلة من عصابة النقل إلى عصابة التكافؤ مصدرةً فوتونات بطاقةٍ تساوي طاقة النطاق الممنوع Eg للمادة النصف الناقلة.

في الديود العادي المصنوع من السيلكون أو الجرمانيوم تفقد الطاقة على شكل حرارة، في الصمام الثنائي الباعث للضوء عتد تطبيق جهد أمامي فإن الشحنات تتحرك خلال الحاجز الفاصل بين طرفي الصمام وبالتالي فهي تعبر مستويات طاقة مختلفة، هذه الشحنات اكتسبت طاقة أثناء توليد ازواج من الإلكترونات والفجوات وستفقد هذه الطاقة على شكل ضوء عند إعادة اتحاد الإلكترونات مع الفجوات [6] [8].

1 ـ 3 خصائص الثنائيات الباعثة للضوء الـ LED:

تمتلك ال LED خصائص تميزها عن المصابيح الكهربية التقليدية مصابيح الأسلاك والأمر يتعلق بمبدأ عمل مصابيح LEDوالذي ذكرناه سابقا والمختلف عن مبدأ عمل المصابيح الأخرى. فهي في البداية لا تحتوي على فتيلة ويمكن أن تبقى لمدة زمنية اطول بكثير كما انها صغيرة الحجم تمكننا من استخدامها في تطبيقات الكترونية عديدة، هذا بالإضافة إلى كفاءتها العالية بالمقارنة مع المصابيح التقليدية.

يمكن تقسيم مصادر الضوء إلى ثلاث فئات رئيسية:

أ –المصابيح الوهاجة: التي تستخدم خطُوط رقيّقة من التنجستُن، وتمتاز هذه المصابيح بكفاءة أقل بنسبة 10

بالمائة نظراً لأن مجمل الطاقة تتحول إلى حرارة.

ب– مصابيح تفرّغ الغاز: تتم فيها تولّد الضوء عبر تمرّر شحنة كهربائية فَي مزّيج من الغازات كغاز النّيون وغاز الصوديوم عالً الضغط، وتتراوح كفاءة الإضاءة بّين 10 – 15 بالمائة لمصابيح النّيون وبيّن 22 – 29 بالمائة لمصابيح غاز الصوديوم

–مصابيح الحالة (الصلبة) LED : تستخدم هذه المصابيح أشباه الموصلات الثنائية الباعثة للضوء وتشهد تحسن كفاءة الإضاءة خلالها تّصل إلى 160 لومّن/واط، ماً عنى أن تقنية LEDبهذا الأداءً تمكن أن تنتج الإضاءة ذاتها التي تنتجها مصباح وهاج بقوة 60 واط باستخدام 7 واط فقط. [2]

1 ـ 3 ـ 1 استهلاك أقل للطاقة:

في الوقت الحالي ومن الناحية الاقتصادية تعد هذه الميزة الأهم على الإطلاق وهي بلا شك من ساعدت في تمويل المخابر المهتمة بهذا البحث للعوائد التجارية منه. "تمثل تقنية LEDعلامة بارزة في تاريخ تقنيات الإنارة، وُتعد أحدث التطورات التقنية وأهمها على الإطلاق في عالم أجهزة الإنارة، فهي تتمّز بكفاءتها الفائقة في توفير الطاقة ذلك لأنها قادرة على توفّر الطاقة بنسبة تصل إلى 90% مقارنة بالمصابيح المتوهجة العادية [2].

تتميز مصابيح LED بكفاءة عالية وتستهلك طاقة أقل مقارنة بمصادر الإضاءة التقليدية. كما تتمتع بعمر أطول يصل إلى 50,000 ساعة وتولد حرارة أقل. مصابيح LED متوفرة بألوان مختلفة وتوفر إضاءة عالية الجودة. كما أنها صغيرة ومضغوطة وتأتي بأشكال متعددة. علاوة على ذلك، مصابيح LED صديقة للبيئة ولا تحتوي على مواد سامة. مصابيح LED يتم تشغيلها وإيقاف تشغيلها بشكل فوري وتتطلب القليل من الصيانة... ومع ذلك، لديهم تكلفة أولية أعلى، لكنها أرخص على المدى الطويل. مصادر الإضاءة التقليدية لها تكلفة أولية أقل ولكن تكلفة تشغيل أعلى. وتتطلب صيانة عالية. وبالتالي، فهو أكثر توافقًا مع الضوابط الإلكترونية. [4]

1- 3 - 2 الشكل والعمر الافتراضي :

بالنسبة للشركات المهتمة بإضاءة متخصصة أو لوظائف معقدة ميكانيكية في أوساط صعبة تعد هذه الميزة مطلبا ملحا بسبب التعقيدات والتحديات التي كانت تشكله المصابيح التقليدية. إضاءة LED متينة للغاية وطويلة الأمد. المصابيح مصنوعة من مواد صلبة. ولا تحتوي على أي خيوط أو أنابيب، مما يجعلها أقل عرضة للكسر، وهذا يجعلها مثالية للاستخدام في البيئات الخارجية أو المناطق المعرضة لخطر الصدمات أو الاهتزازات.

- تتمتع مصابيح LED أيضًا بعمر أطول من تقنيات الإضاءة التقليدية. يمكن أن تستمر حتى 50,000 ساعة. هذا أطول بكثير من المصابيح المتوهجة أو مصابيح الفلورسنت. هذا يعني أنه يمكنك توفير المال على عمليات الاستبدال وتكاليف الصيانة بمرور الوقت. [4]

وتتميز مصادر LEDبالشكل المتناسق والحجم الصغير مقارنة بمثيلاتها من المصادر الاخرى كما أن العمر الافتراضي يكون طويل نسبيًا يقدر أحد التقارير أنه ما بين 35000 إلى 50000ساعة من العمر الإنتاجي على الرغم من أن العمر الافتراضي قد يكون أقصر أو أطول. عادةً ما يتم تصنيف أنابيب الفلورسنت بحوالي 10000إلى 25000ساعة ، اعتمادًا جزئيًا على ظروف الاستخدام ، والمصابيح المتوهجة عند 1000إلى 2000ساعة ، وبالطبع مصابيح LEDقابلة للتصدع وتعرضها للكسر أثناء السقوط ، ولكنها بشكل عام أكثر متانة من الأنواع الأخرى من الإضاءة التقليدية هذا بسبب الطريقة التي تم بناؤها بها وفي جميع أجهزة الإضاءة لا يمكن لمس الهالوجينات والمصابيح الكهربائية بالأصابع لأن لإمكانية انهيارها عند تسخينها أيضا بالنظر إلى السلامة فإن المقدار الأقل من استهلاك الكهرباء يؤدي إلى أن تكون مصابيح LEDأكثر برودة وبالتالي فهي أكثر أمانًا للمس. [5]

وفقًا لوزارة الطاقة الأمريكية، يمكن أن تستهلك إضاءة LED طاقة أقل بنسبة تصل إلى 75٪ من المصابيح المتوهجة. كما أنه يدوم 25 مرة أطول. هذا يعني أنه على مدار عمر لمبةLED ، يمكنك توفير مئات الدولارات من تكاليف الطاقة. بالإضافة إلى ذلك، تنتج مصابيح LED حرارة أقل. [4]

عمر تشغيلها يصل إلى 10 سنوات أو أكثر وهي تمثل عشرين ضعف عمر لمبات الفتّلة. [2]

1 ـ 3 ـ 3 خصائص ومميزات أخرى:

بالإضافة للميزات المذكورة هناك الكثير من الميزات الثانوية والمعروفة لدى مصابيح LED وأهمها:

–آمنة لا تسبب الاشتعال و لا تنفجر ـ مقاومة للماء –تتحمل الصدمات وبعضها لاٌ نكسر –لا تتحلل عند استهلاكها وبالتالي لا تسبب تلوث كيميائي –لا تحتوى على فتيلة داخلها –لا تحتوى على أشعة فوق البنفسجٌة أو تحت الحمراء –لا تسبب حرارة للمكان أو لمحيط اللمبة ... – لا تتأثر بالاهتزازات وهو أحد أسباب استخدامها في السيارات ـ يمكن أن تخزن لأي فترة زمنيه بدون أي تأثير على صلاحيتها وعمرها التشغيلي – صديقة للبيئة ـ يمكن تشغيلها بواسطة بطاريات صغيرة – صغيرة الحجم فهي لا تزيد عن 5 مم–10 . تحول 20 % من الطاقة الكهربائية المستخدمة إلى ضوء –توجد منها أنواع صغيرة تصدر الضوء في نطاق الأشعة تحت الحمراء وتستخدم في أجهزة التحكم عن بعد ـ توجد أنواع تعمل على التيار المتردد وأخرى تعمل على التيار المستمر ـ قابلٌة التحكم الرقمي ـ الحجم الصغر – قابلٌة التوجيه [2]. توفر مصابيح LED ضوءًا فوريًا عند تشغيلها.. وهذا يجعلها مثالية للاستخدام في التطبيقات التي تتطلب إضاءة فورية. على سبيل المثال، إشارات المرور وإضاءة الطوارئ .

ـ لا تحتوي مصابيح LED على أي مواد خطرة مثل الزئبق أيضًا. [4](**جدول 1.1**).

الميزات	مصادر الضوء التقليدية	مصابيح LED
كفاءة استهلاك الطاقة	أقل كفاءة؛ يستهلك المزيد من الطاقة	كفاءة عالية؛ يستهلك طاقة أقل
العمر	عمر أقصر ما يصل إلى 10,000	عمر أطول؛ ما يصل إلى 50,000 ساعة
توليد حراري	توليد حرارة عالية	توليد حرارة منخفضة
الجودة	نطاق محدود من الألوان المتاحة	إضاءة عالية الجودة ومتوفرة بألوان عديدة
الحجم والشكل	خيارات الشكل الضخمة والمحدودة	صغيرة ومدمجة ومتوفرة بأشكال مختلفة
تأثير بيئي	تحتوي على مواد سامة	صديقة للبيئة، لا مواد سامة
لحظة تشغيل / إيقاف	بطيئة في الاحماء وإيقاف	لحظة تشغيل / إيقاف
التكلفة	تكلفة أولية أقل، لكن تكلفة تشغيل	تكلفة أولية أعلى، لكنها أرخص على المدى
الصيانة	تتطلب صيانة عالية	تتطلب صيانة منخفضة
التوافق	التوافق المحدود مع الضوابط	متوافق مع الضوابط الإلكترونية

جدول 1.1 أهم الاختلافات بين مصابيح LEDومصادر الضوء التقليدية [4]

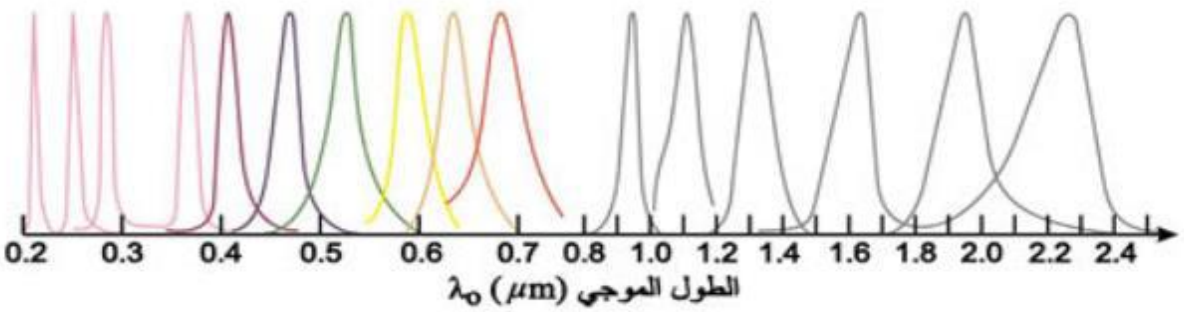
1 ـ 3 ـ 4 خيارات ألوان واسعة النطاق:

رغم أن حجم الانتاج الصناعي والاقبال التجاري الحالي للثنائيات الباعثة للضوء يرجع لتوفيرها للطاقة وعمرها مقارنة بالتقنيات الأخرى لإنتاج الضوء، إلا أن ميزة قدرتنا على التحكم في نطاق الأمواج الصادرة عنها قد تكون اهم ميزة على الإطلاق وخاصة في التطبيقات المستقبلية التي يمكن لها أن تستخدم فيها.

يمكن أن نجد الثنائيات الباعثة للضوء في مجموعة واسعة من الألوان الأكثر شيوعًا منها هي الضوء الأحمر والأخضر والأصفر والأزرق والبرتقالي والأبيض والأشعة تحت الحمراء (غير المرئية) .

[ان صمامات الاصدار الضوئي تغطي منطقه طيفيه واسعه من تحت الحمراء.... الى جوار فوق البنفسجية...]

[9] **شكل 12.1**



شكل 12.1 الأطوال الموجية المنتجة من الصمامات الباعثة للضوء

على عكس الثنائيات العادية المصنوعة من الجرمانيوم أو السيليكون، فإن مصابيح LED مصنوعة من عناصر مثل الغاليوم والزرنيخ والفوسفور.

يتم تحديد اللون الفعلي لمصباح LED من خلال الطول الموجي للضوء المنبعث، والذي بدوره يتم تحديده بواسطة مادة أنصاف النواقل الفعلية المستخدمة في صنع الصمام الثنائي.

صُنعت هذه الثنائيات بدايةً من البلّورة النصف الناقلة غاليوم–زرنيخ GaAs المُصدرة في المجال تحت الأحمر من الطيف الكهرومغناطيسي. تُستخدم حديثاً موادٌ مركّبةٌ من عدة أنصاف نواقل مثل InGaAsP ، AlInGaP ، AlInGaN لتغطية مجالٍ واسعٍ من الطيفِ يمتدُّ من مجال الأشعة فوق البنفسجية إلى تحت الحمراء مرورا بالمجال المرئيّ بألوانه كافة حتى الضوء الأبيض

الضوء المنبعث يعتمد على طاقة الفوتونات، يرتبط هذا بطاقة فجوة الحزمة للمواد المستخدمة في LED على سبيل المثال، تصنع مصابيح LED الحمراء من أشباه موصلات ذات طاقة فجوة نطاق أقل، تتطلب مصابيح LEDالزرقاء والخضراء أشباه موصلات ذات فجوات طاقة أعلى) **الجدول 2.1** [4]

Color	Wavelength (nm)	Forward Voltage (V)	Material
Ultraviolet	<400	3.1-4.4	Aluminium nitride(ALN) Aluminium gallium nitride (AlGaN)
Violet	400-450	2.8-4.0	Indium gallium nitride (InGaN)
Blue	450-500	2.5-3.7	Indium gallium nitride (InGaN) Silicon carbide (SiC)
Green	500-570	1.9-4.0	Gallium phosphide (GaP) Aluminium gallium phosphide (ALGaP)
Yellow	570-590	2.1-2.2	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) gallium phosphide (GaP)
Orange	590-610	2.0-2.1	Gallium arsenide phosphide(GaAsP) gallium phosphide (GaP)
Red	610-760	1.6-2.0	Aluminium gallium arsenide (AlGaAs) Gallium arsenide phosphide (GaAP) Gallium phosphide (GaP)
Infrared	>760	>1.9	Gallium arsenide(GaAs) Aluminium gallium arsenide (ALGaAs)

جدول 2.1 أطوال الموجة للفوتونات التي يمكن ان تبعث من بعض أنصاف النواقل

* أهم المواد المستخدمة في تصنيعLED

إن أداء مصباح LED وخصائصه تحدد بلا شك من خلال المواد المستخدمة في تصنيعه والتي يتم اختيارها بناء على المجال الذي سيتم استخدام المصباح فيه.

. **نيتريد الغاليوم(GaN)** : مادة مستخدمة على نطاق واسع في تصنيعLED ، عبارة عن مادة شبه موصلة قادرة على إصدار ضوء أزرق وأخضر لإنشاء مصابيح LED بيضاء كما تستخدم كمادة ركيزة في تصنيع .LED

- **نيتريد إنديوم جاليوم (InGaN)** هي مادة ثلاثية تنتج مصابيح LED زرقاء وخضراء وبيضاء.

ألومنيوم جاليوم إنديوم فوسفيد (AlGaInP) هي مادة رباعي أشباه الموصلات. يتم استخدامه لتصنيع المصابيح الحمراء والبرتقالية والصفراء..عالية السطوع

- **كربيد السيليكون (SiC)** هي مادة أشباه الموصلات ذات فجوة الحزمة الواسعة المستخدمة في تطبيقات LEDعالية الطاقة.
- **الليومينيوفورات** هي المواد التي تحول الضوء الأزرق أو الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من مصابيح LEDإلى ألوان أخرى. تستخدم هذه المواد بشكل شائع في تصنيع مصابيح LED البيضاء.
- **النحاس** يستخدم كمادة بالوعة الحرارة في تصنيع الصمام. إنه موصل ممتاز للحرارة ويساعد على تبديد الحرارة الناتجة عن.LED [4].

من خلال مزج مثل هذه العناصر بنسب مختلفة، يمكن إنتاج مصابيح LED تشع بألوان مختلفة **الجدول 3.1.**

الغاليوم Ga (Gallium)

الفسفور P (Phosphorus)

الزرنيخ As (Arsenic)

شكل 13.1 صور لبعض المواد التي تدخل في صنع الصمامات الباعثة للضوء

المصباح LED	أشباه موصلات مناسبة
عالية السطوع باللون الأزرق والأخضر والأشعة فوق البنفسجية	نيتريد إنديوم جاليوم(InGaN)
عالية السطوع باللون الأصفر والبرتقالي والأحمر	ألومنيوم جاليوم إنديوم فوسفيد (AlGaInP)
المصابيح الحمراء والأشعة تحت الحمراء	زرنيخ الألومنيوم والجاليوم(AlGaAs)

جدول 3.1 بعض المواد المناسبة للحصول على ألوان معينة لإصدارات الضوء

*الصمام الثنائي الباعث للضوء LED متعددة الألوان:

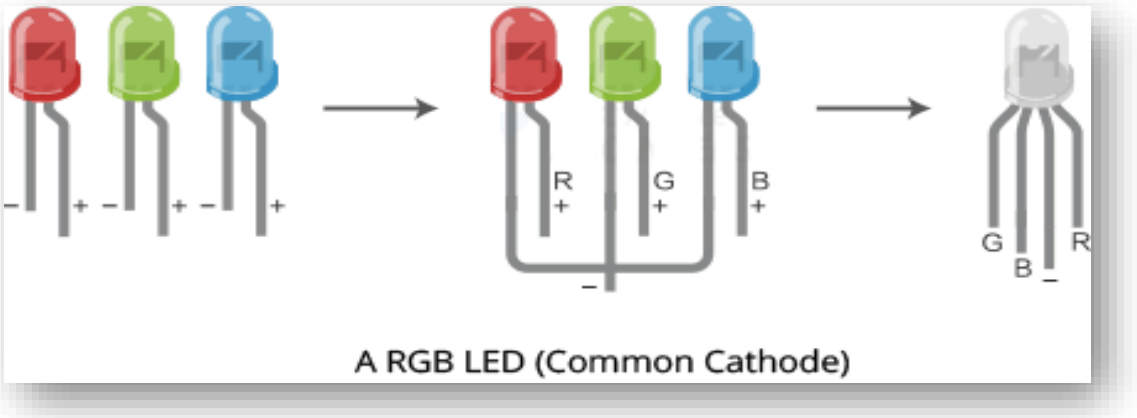
هناك طريقتان أساسيتان لإنتاج الثنائيات الباعثة للضوء الأبيض الأول هو استخدام مصابيح LED الفردية التي تنبعث منها ثلاثة ألوان أساسية الأحمر والأخضر والأزرق ثم مزج كل الألوان لتكوين ضوء أبيض، والثاني هو استخدام مادة الفوسفور لتحويل الضوء أحادي اللون من الضوء الأزرق أو الأشعة فوق البنفسجية إلى ضوء أبيض واسع الطيف على غرار مصباح الفلورسنت .

إن خلط المصادر الحمراء والخضراء والزرقاء لإنتاج ضوء أبيض يحتاج إلى دوائر إلكترونية للتحكم في مزج الألوان نظرا لأن مصابيح LED لها أنماط انبعاث مختلفة قليلاً فقد يتغير توازن اللون اعتمادًا على زاوية الرؤية حتى لو كانت مصادر RGBفي حزمة واحدة لذلك نادرا ما تستخدم ثنائيات RGBلإنتاج إضاءة بيضاء ومع ذلك فإن هذه الطريقة لها العديد من التطبيقات بسبب مرونة خلط الألوان المختلفة.

ومن حيث هناك عدة أنواع من مصابيح LED البيضاء متعددة الألوان مصابيح LED بيضاء ثنائية وثلاثية ورباعية اللون والعديد من العوامل الرئيسية التي تلعب بين هذه الأساليب المختلفة تشمل استقرار اللون ، وإمكانية تجسيد اللون ، وفعالية الإضاءة في كثير من الأحيان ، تعني الكفاءة العالية تجسيدًا أقل للون مما يوفر مفاضلة بين فعالية الإضاءة وتجسيد اللون على سبيل المثال تتمتع مصابيح LED البيضاء ثنائية اللون بأفضل فعالية إنارة(120 lm / W) ولكنها أقل قدرة على عرض اللون على الرغم من أن مصابيح LED البيضاء الرباعية اللون تتمتع بقدرة ممتازة على عرض الألوان إلا أنها غالبًا ما تكون ذات كفاءة إضاءة ضعيفة توجد مصابيح LEDبيضاء ثلاثية الألوان في المنتصف وتتميز بفاعلية إضاءة جيدة (70 lm / W) وقدرة عرض ألوان عادلة يتمثل أحد التحديات في تطوير مصابيح LED خضراء أكثر كفاءة والحد الأقصى النظري لمصابيح LEDالخضراء هو 683 لومن لكل واط ولكن اعتبارا من عام 2010 تجاوز عدد قليل من مصابيح LED الخضراء حتى 100 لومن لكل واط تقترب المصابيح الزرقاء والحمراء من حدودها النظرية .

توفر مصابيح LED متعددة الألوان أيضا وسيلة جديدة لتكوين ضوء بألوان مختلفة يمكن تشكيل معظم الألوان التي يمكن إدراكها عن طريق مزج كميات مختلفة من ثلاثة ألوان أساسية. إن كل مؤشر LED هو مصدر ضيق النطاق تعد لتصنيع والعمر ودرجة الحرارة تغير ناتج قيمة اللون الفعلية لمحاكاة مظهر المصابيح المتوهجة الخافتة وقد يتطلب نظام تغذية مرتدة مزودًا بمستشعر ألوان لمراقبة اللون والتحكم فيه بفاعلية [5].

يحتوي LED RGB على أربعة LED يتشاركون في أنود مشترك و3 كاثود منفصل واحد للأحمر وواحد للأخضر وواحد للأزرق.، نموذج الألوان RGB هو أحد أكثر أساليب تمثيل الألوان استخداما في رسومات الحاسوبَ يستخِدم نظام إحداثيات، ألوان بثلاث ألوان أساسية هي أحمر وأخضر وأزرق، كل لون يمكن أن يأخذ قيمة 0 أو 1 ومزج هذه الألوان تنِتج مجموعة من الألوان. الغرض من LED RGBهو التحسس(الاستشعار) والتمثيل وعرض الصور في النظام الإلكتروني [3] **شكل 14.1**



شكل 14.1 الحصول على ضوء أبيض باستعمال التركيب الضوئي B+G+R

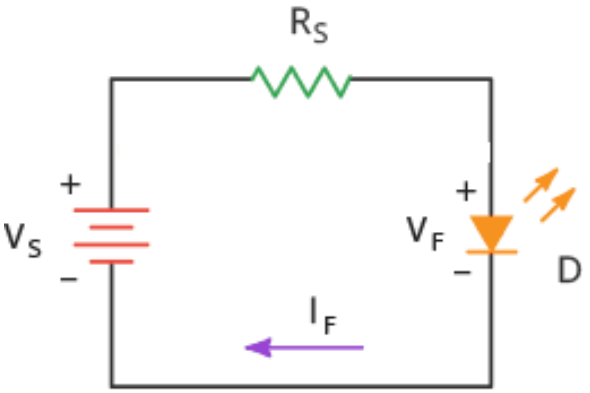
يحتوي RGB LED على أربعة دبابيس: واحد لكل لون، ودبوس مشترك. بالنسبة للبعض، عادة هو الأنود، وفي البعض الآخر يكون هو الكاثود. ومن خلال اختيار مواد مختلفة من أشباه الموصلات يمكن تصنيع مصابيح LEDأحادية اللون تنبعث منها الضوء في نطاق ضيق من الأطوال الموجية من الأشعة تحت الحمراء القريبة عبر الطيف المرئي وفي نطاق الأشعة فوق البنفسجية عندما تصبح الأطوال الموجية أقصر بسبب فجوة النطاق الكبيرة لهذه أشباه الموصلات. [5]

1 ـ 3 ـ 5 شدة سطوع الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED)

بالدرجة الأولى مثل كل المصابيح يعتمد سطوع LED مباشرةً على مقدار التيار الذي يسحبه، كلما زادت شدة التيار كلما كان LED أكثر سطوعًا.

إذن من خلال التحكم في شدة التيار يمكن التحكم في سطوعLED ، إذا قمت بتوصيل مؤشر LED مباشرة ببطارية أو مزود طاقة، فستحاول تبديد أكبر قدر ممكن من الطاقة وسيتلف الصمام على الفور.

لذلك من المهم الحد من كمية التيار المتدفق عبر الصمام. لهذا، نحن نستخدم المقاومات. تحد المقاومة من تدفق الإلكترونات في الدائرة وتمنع الصمام من محاولة سحب الكثير من التيار. يتم وضع المقاومة بين الصمام ومصدر الجهد **شكل 15.1**

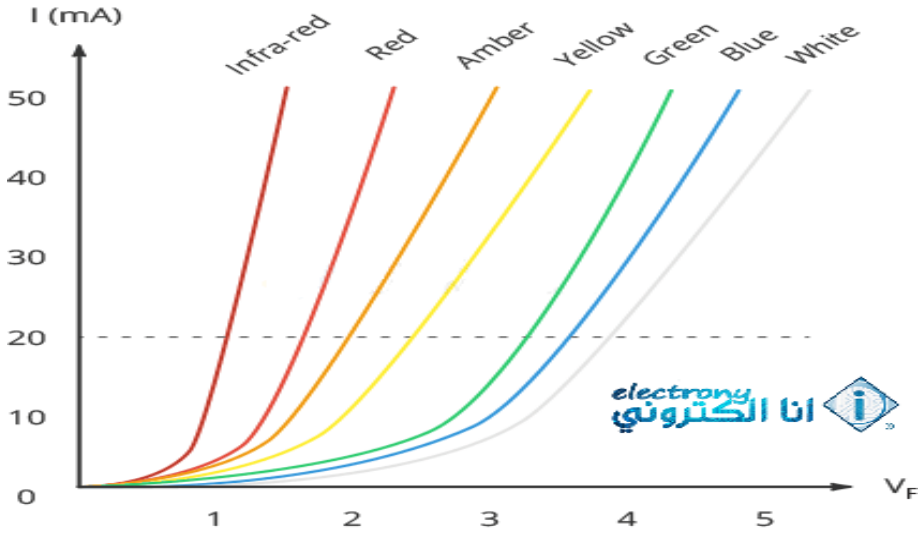


شكل 15.1 تزويد دارة الصمام الضوئي بمقاومة حماية

1 ـ 3 ـ 6 تيار وجهد الصمام الثنائي الباعث للضوء LED :

معظم LED منخفضة الطاقة يتراوح الجهد المعتاد من 1.2 فولط إلى 3.6 فولط وشدة التيار بين 10 ملي أمبير إلى 30 ملي أمبير. يعتمد انخفاض الجهد بالضبط على مادة أنصاف النواقل المستخدمة.

نظرًا لأن LED هو في الأساس صمام، يمكن رسم منحنيات الخصائص لكل لون **شكل 16.1**



شكل 16.1: تغير شدة التيار بدلالة الجهد المطبق على صمامات باعثة للضوء

***سلبيات وعيوب:**

1. **الإدارة الحرارية:** المصابيح هي أجهزة حساسة لدرجة الحرارة. إذا لم يتم تبريدها بشكل مناسب، فإنها يمكن أن تعاني من التدهور. سيؤدي ذلك إلى تقليل الكفاءة وتقصير العمر الافتراضي. لذلك، من الضروري ضمان الإدارة الحرارية المناسبة للحفاظ على أداء LED.
2. **شدة التيار:** تعمل مصابيح LED عند مستوى شدة معينة. يمكن أن يؤدي تجاوز هذه الشدة أو الانخفاض فيها إلى تقليل العمر الافتراضي وتقليل الكفاءة.
3. **التقدم في العمر:** مثل أي جهاز إلكتروني آخر، تخضع مصابيح LED أيضًا للشيخوخة. يمكن أن يؤثر ذلك على أدائهم بمرور الوقت. مع تقدم عمر مصابيحLED ، تقل كفاءتها ويقل إنتاج الضوء. [4]

1 ـ 4 بعض تطبيقات واستخدامات الثنائيات الباعثة للضوء:

بسبب خصائصها العديدة التي ذكرنا بعض منها توسعت تطبيقات واستخدامات الثنائيات الباعثة للضوء

***أجهزة الكمبيوتر المحمولة:** تتميز الشاشات التي تعتمد على LED بأنها أرق وأخف وزناً وتستهلك طاقة أقل.

***صناعة السيارات:** تُستخدم مصابيح LED بشكل شائع في إضاءة السيارات.. المصابيح الأمامية والمصابيح الخلفية وأضواء الفرامل وإشارات الانعطاف والإضاءة الداخلية... شاشات لوحة القيادة. توفر شاشات LED معلومات واضحة وساطعة وقابلة للتخصيص للسائقين. يمكن إعدادها لعرض معلومات مثل السرعة ومستوى الوقود وحالة المحرك..

***التصوير الطبي** :يتم استخدام مصابيح LED في أجهزة التصوير الطبي في أجهزة الأشعة السينية وأجهزة التصوير المقطعي المحوسب وأجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي.

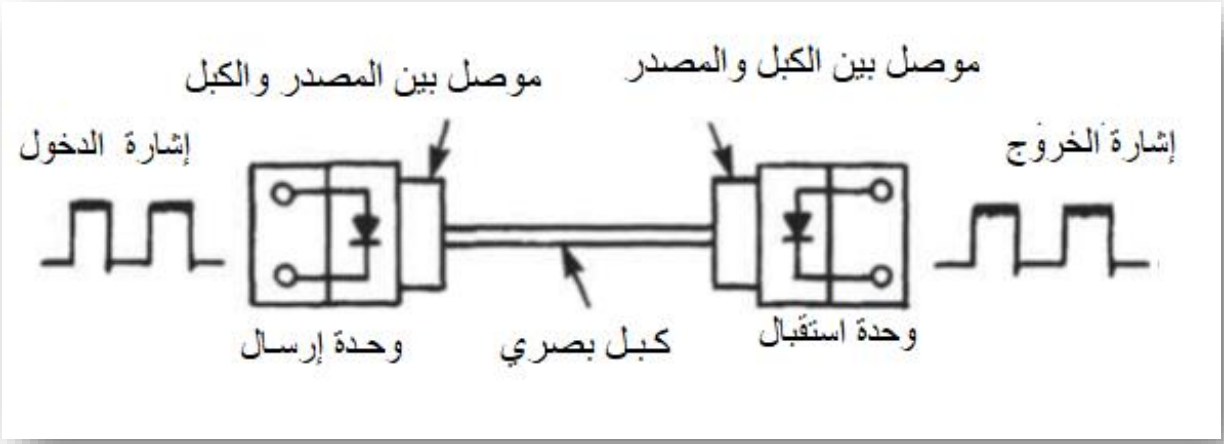
* **المناظير الداخلية:** والتي تُستخدم في الجراحات طفيفة التوغل.

***أجهزة العلاج بالضوء:** تستخدم المصابيح في أجهزة العلاج بالضوء. يعالج الأمراض الجلدية المختلفة.

***معدات طب الأسنان:** تُستخدم مصابيح LED أيضًا في معدات طب الأسنان، مثل مصابيح المعالجة لحشوات الأسنان. تنتج هذه الأضواء شعاعًا عالي الكثافة من الضوء. يؤدي ذلك إلى تنشيط الراتنج الموجود في حشوات الأسنان، مما يؤدي إلى تصلبها بسرعة.

***إشارات المرور** إرسال الإشارات في سيارات الطوارئ. مثل سيارات الشرطة وسيارات الإطفاء وسيارات الإسعاف. تستخدم مصابيح LED الخاصة بالمدارج والملاحة أيضًا في إشارات الطيران والبحرية. [4]

***الاتصالات عبر الالياف البصرية:** في الاتصالات عبر الليف البصري يبث الضوء المضمن عبر لب شفاف يوصل بين الباعث الضوئي والكاشف الضوئي من نظام البث **(الشكل 17.1)** [1]



شكل 17.1 استعمل الصمام الثنائي كجزء من تركيب كابل الاتصال لليف البصري [1]

1 ـ 5 أنواع مصابيح LED

هناك أنواع كثيرة لمصابيح LED تختلف بحسب استخدامها والتطورات والتحسينات الصناعية التي أدخلت عليها

1 ـ 5 ـ1 الثنائيات القياسية:

تُعرف مصابيح LED القياسية أيضًا بمصابيح LED التقليدية أو الثقب. وهي أكثر الثنائيات الباعثة للضوء شيوعًا والأكثر استخدامًا .(LED) يتم تصنيع مصابيح LED هذه بشريحة صغيرة من المواد شبه الموصلة ويتم تغليفها في عبوة راتينج إيبوكسي (Resin epoxy) شفاف مع دبابيس معدنية. هذه الخيوط مرتبة في خط مستقيم. لذا، فإن تركيبها على لوحة دوائر مطبوعة سريع وسهل .[4]

1 ـ 5 ـ 2 الثنائيات عالية الطاقة:

مصابيح LED عالية الطاقة هي صمامات ثنائية باعثة للضوء مصممة لإنتاج ناتج ضوئي عالي. في نفس الوقت، يستهلكون كميات قليلة من الطاقة. تختلف مصابيح LED عالية الطاقة عن مصابيح LED القياسية لأن بنائها وتصميمها مختلفان نسبيًا. تتكون مصابيح LED عالية الطاقة من شرائح LED متعددة مثبتة على ركيزة واحدة. تتوفر مصابيح LED عالية الطاقة بألوان مختلفة ودرجات حرارة ألوان مختلفة.[4]

1 ـ 5 ـ 3 المصابيح العضوية(OLEDs)

في ظل توجه بشري عام للمنتجات العضوية لاعتبارا ت صحية واقتصادية وبيئية وحتى تقنية تستفيد من توسع كبير في بحوث الكيمياء العضوية كان للثنائيات الباعثة للضوء حظ كبير في هذا الجانب. المصابيح العضوية (OLEDs)هي تقنية إضاءة تستخدم مركبات عضوية لإصدار الضوء وتستخدم OLED مركبات عضوية مثل

البوليمرات والجزيئات الصغيرة. تترسب هذه المواد في طبقات رقيقة على ركيزة. ثم يتم تحفيزها بواسطة شحنة كهربائية، مما يتسبب في انبعاث الضوء. [4]

1 ـ 5 ـ 4 المصابيح فوق البنفسجية(UV–LED)

تبعث مصابيح LED فوق البنفسجية (UV–LEDs) ضوءًا فوق بنفسجي .(UV) غير مرئي. في طيف الأشعة فوق البنفسجية... عادة بين 280 و400 نانومتر (نانومتر). تُستخدم مصابيح LED للأشعة فوق البنفسجية في تطبيقات مختلفة، مثل المعالجة والتعقيم وتنقية المياه. يتم استخدامها بشكل شائع لمعالجة المواد اللاصقة والطلاء في تصنيع الإلكترونيات. أيضًا، يمكن استخدامها لمعالجة الأحبار والطلاء في صناعة الطباعة وفي صناعات السيارات والفضاء. بالإضافة إلى ذلك، فهي مثالية في القطاع الطبي لتعقيم المعدات والأسطح. ومع ذلك يمكن أن يكون ضارًا بصحة الإنسان. قد يؤدي التعرض للأشعة فوق البنفسجية إلى تلف العين وسرطان الجلد. لذلك يجب استخدام معدات الحماية المناسبة عند العمل مع مصابيح LED للأشعة فوق البنفسجية. ولا بد من اتباع إرشادات السلامة التي توفرها الشركة المصنعة [4].

1 ـ 5 ـ 5 مصابيح النقاط الكمية(QD–LED)

مصابيح النقاط الكمية (QD–LEDs) تستخدم بلورات نانوية تسمى النقاط الكمومية لإنتاج الضوء. عادة ما تكون هذه النقاط مصنوعة من مواد أشباه الموصلات. ويتراوح حجمها من 2 إلى 10 نانومتر. ميزتها تكمن في قدرتها على إنتاج نطاق أوسع من الألوان. كما أنها تنتج دقة وكفاءة أعلى. هذا لأنه يمكن التحكم بدقة في حجم النقاط الكمومية. هذا يسمح بضبط أكثر دقة للضوء المنبعث.. [4]

الفصـل الثــانـي

الآبــار الكـمـومـيــة

تمهيد:

تم توضيح مفهوم البئر الكمومي في عام 1963 بشكل منفصل بواسطة الباحثان هربرت وكازارينوف.

تعد الآبار الكمومية مجالاً بحثياً رائعاً وواسعا وفريدا بفضل خصائصها الفريدة وقدرتها على إنتاج أغشية رقيقة عالية الجودة، والآفاق المستقبلية التي يمكن أن يفتحها هذا البحث فمن المرجح أن تلعب الآبار الكمومية دوراً مهماً في تطوير الأجهزة الإلكترونية عالية الأداء في المستقبل.

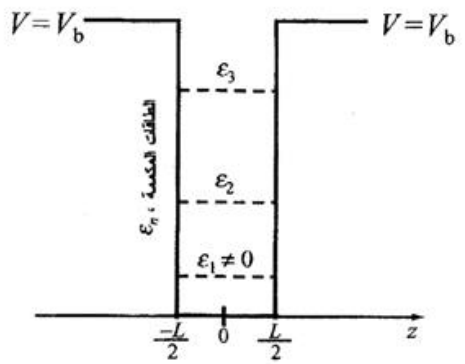
أحدثت الآبار الكمومية ثورة في الطريقة التي يفهم ويستخدم بها أشباه الموصلات لأنه في عالم فيزياء الكم تتصرف خصائص المواد بشكل مختلف على المقياس النانوي، وهنا يأتي دور الآبار الكمومية.

وبالرغم من وجود تحديات وعقبات تقنية في تصنيع وأداء الآبار الكمومية، إلا أن الفوائد تفوق التكاليف. مع استمرار البحث والتطوير، سوف تستمر آبار الكم في لعب دور حيوي في تقدم الإلكترونيات الحديثة.

2 ـ 1 الآبار الكمومية:

2 ـ 1 ـ 1 تعريف:

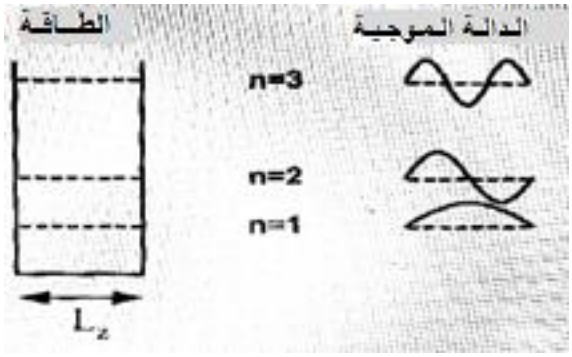
يتم دراسة الجسيمات الصغيرة جدا وفي مستوى الأبعاد الصغيرة جدا (أقل من 100 نانو متر) بقوانين ميكانيكا الكم، عندما يتواجد جسيم في حيز لا يمكنه التحرك فيه بكامل درجات الحرية الثلاث يسمى هذا بئر كمومي. تنجح ميكانيك الكم في تفسير النتائج والقياسات المسجلة عن الأنظمة الصغيرة، جسيم يحيط به حاجز غير نفوذ تصف ميكانيك الكم حالة هذا الجسيم المحصور. يتحرك الإلكترون عادة في فضاء ثلاثي الأبعاد بدرجات الحرية الثلاث، وعند حركته من خلال بعض المواد ذات خصائص مميزة وبأبعاد هندسية معينة يحد هذا من حركته أو ما يعرف بالبئر الكمومي. **شكل 1.2** [9]



شكل 1.2

: الطاقات الذاتية لجسيم في بئر كمومي بحواجز كمون منتهية

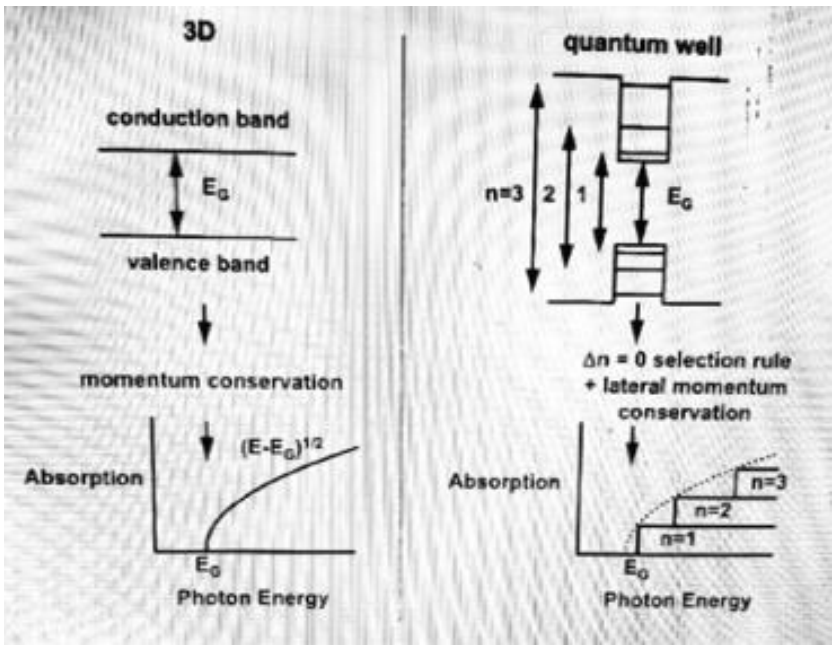
الآبار الكمومية عبارة عن طبقات رقيقة من مواد شبه موصلة محصورة بين طبقتين من مادة شبه موصلة مختلفة. هذه الطبقات رقيقة جداً لدرجة أن الإلكترونات والثقوب الموجودة في البئر تقتصر على الحركة في بعدين. يؤدي حبس الإلكترونات والثقوب هذا إلى تكميم مستويات الطاقة، مما يعني أن الإلكترونات والثقوب لا يمكنها شغل سوى مستويات طاقة معينة. [10] البئر الكمومي هو نوع معين من البنية المتغايرة حيث تكون طبقه البئر الرفيعة محاطة بطبقتين حاجزتين ترى كل من الإلكترونات والثقوب طاقة اقل في طبقة البئر ومن هنا جاء الاسم (قياسا على البئر المعروفة) هذه الطبقة التي تنحصر فيها كل من الالكترونات والثقوب رقيقه جدا عاده حوالي $100A^o$ أو حوالي 40 طبقة ذرية بحيث لا يمكننا اهمال حقيقة أن الالكترون والثقب عبارة عن موجتين في الواقع تتوافق الحالات المسموح بها في هذا الهيكل مع الموجات الدائمة في الاتجاه المتعامد مع الطبقات نظرا لان موجات معينه فقط هي موجات موقوفة (standing waves)يصبح نظام كميا ومن هنا جاء اسم البئر الكمومي (**شكل 2.2**) [11]



الشكل 2.2 قيمة الطاقة في بئر كمومي [11]

2 ـ 1 ـ 2 مبدأ عمل الآبار الكمومية:

عند وجود الإلكترونات أو الثقوب في بئر كمي يؤثر هذا بشكل كبير في حركتها في جميع الاتجاهات الثلاثة الممكنة.[9] فعندما يتم تطبيق مجال كهربائي عبر البئر الكمومية، تتحرك الإلكترونات الموجودة في البئر إلى أدنى مستوى للطاقة، وهو ما يسمى الحالة الأرضية. ومع زيادة شدة المجال الكهربائي، تنتقل الإلكترونات إلى مستويات طاقة أعلى، والتي تسمى الحالات المثارة. يتم تحديد فرق الطاقة بين الحالة الأرضية والحالة المثارة من خلال سمك البئر وخصائص المواد المستخدمة. [10]. في البئر الكمومي لا تزال الالكترونات والثقوب حرة في التحرك في اتجاهات موازيه للطبقات وبالتالي ليس لدينا حقا حالات طاقة منفصلة للإلكترونات والثقوب في الابار الكمومية لدينا بدلا من ذلك نطاقات فرعيه تبدأ من الطاقات المحسوبة للحالات المحصورة، بالإضافة الى ذلك يمكن للإلكترون الموجود في حاله محصورة معينه ان يمتلك اي كمية من الطاقة الحركية لحركته داخل المستوى في البئر الكمومي وبالتالي يمكن ان يمتلك اي طاقة أكبر او تساوي طاقة الحالة المحصورة البسيطة لذلك النطاق الفرعي تبين ان كثافه حالات الحركة في مستوى طبقات البئر الكمومية ثابته مع الطاقة وبالتالي فان كثافه الحالات لنطاق فرعي معين هي في الحقيقة خطوة تبدأ عند طاقة الحصر المناسبة يجب ان تحافظ التحولات الضوئية على الزخم في هذا الاتجاه (**شكل 3.2**) [11]



الشكل 3.2 الامتصاص البصري في اشباه الموصلات وفي الابار الكمومية [11]

2 ـ 2 تشكيل بئر كمومي:

ان صناعة تركيب إلكتروني بآبار كمومية تقنية حديثة اعتمدت أساسا على التطور الحاصل في انتاج بنى نانوية وتطبيقها على الوصلات النصف الناقلة. لتشكيل آبار كمومية يجب أن تكون هناك دراسة جيدة لاختيار المواد المناسبة وفق الخصائص المستهدفة ثم اختيار الابعاد المناسبة للآبار والمواد الحاجزة ونسبة التطعيم. هناك طرق وتقنيات عديدة لتشكيل آبار كمومية وهي تهدف لأنشاء تركيب كهربائي تمر الإلكترونات من خلاله بمواد نصف ناقلة ضمن نقاط لحركة محدودة.[9]

من الواضح أن تصنيع مواد في المستوى النانوي لا يتم بطرق التشكيل العادية فبالإضافة إلى الأجهزة التي تستخدم على المستوى النانوي يعتمد الأمر على قوانين فيزياء المواد والتعدين، التطعيم بشوائب محددة والنمو والانتشار داخل البلورات بالإضافة إلى تأثير العيوب البلورية وقوى التوتر السطحي ومفعول كولوم. أحد أهم التحديات في أبحاث الآبار الكمومية هو نمو وتصنيع الهياكل نفسها. ومن أجل إنشاء بئر كمي عالي الجودة، يجب زراعة طبقات المواد شبه الموصلة بدقة عالية للغاية، وبسماكات دقيقة حتى المستوى الذري. ويتطلب ذلك معدات وخبرات متطورة، وحتى الاختلافات الصغيرة في عملية النمو يمكن أن تؤدي إلى عيوب في المادة يمكن أن تؤثر بشكل كبير على خصائصها الإلكترونية. [10] [9]

هناك بعض المواد تعد الأشهر استخدما لتشكيل آبار أو حواجز كمومية، واختيارها يكون بحسب الخصائص والوظائف المنتظرة من أداء البئر الكمومي وقيم الخروج المنتظرة ينظر في ذلك أولا لعرض الفاصل الطاقي لنصف الناقل **(جدول1.2)**. يعد اختيار المواد اللازمة للبئر الكمومي عاملاً حاسماً في تحديد أداء الجهاز. يعد زرنيخيد الغاليوم (GaAs) مادة شائعة للآبار الكمومية نظراً لخصائصه الإلكترونية والبصرية المفضلة. كما تم استخدام مواد أخرى مثل فوسفيد الإنديوم (InP) ونيتريد الغاليوم (GaN) في الآبار الكمومية. يعتمد اختيار

المادة على نطاق الطول الموجي المطلوب وفجوة النطاق والخصائص الأخرى المطلوبة للجهاز. تُستخدم المادة الحاجزة لحصر الإلكترونات والثقوب داخل البئر الكمومي. يؤثر اختيار المادة الحاجزة على الخصائص الإلكترونية والبصرية للجهاز. يجب أن تحتوي المادة الحاجزة على فجوة نطاق أعلى من مادة البئر الكمومية لضمان الحبس الفعال للحاملات. تشمل المواد الحاجزة الشائعة زرنيخيد الغاليوم الألومنيوم (AlGaAs) وزرنيخيد الغاليوم الإنديوم الألومنيوم(AlInGaAs)) [10]

عرض الفجوة للمواد ذات فجوة الحزمة المباشرة المستخدمة في صناعة النقاط الكمومية

نصف الناقل المركب	عرض الفجوة (eV)
AlN	6.15
CdS سداسي الأوجه	2.4
CdS مكعب الأوجه	2.55
CdSe سداسي الأوجه	1.75
CdSe مكعب الأوجه	2.17
CdTe	1.49
PbS	0.41
PbSe	0.27
ZnS	3.68
GaN	3.36

جد ول 1.2 عرض الفاصل الطاقي لبعض أنصاف النواقل [9]

يجب التحكم بدقة في سمك البئر، كما يجب ترسيب الطبقات بدقة عالية. وهذا يتطلب معدات وعمليات معقدة، والتي يمكن أن تكون باهظة الثمن. بالإضافة إلى ذلك، يعتمد أداء الآبار الكمومية بشكل كبير على درجة الحرارة ويمكن أن يتأثر بالعيوب الموجودة في المادة.

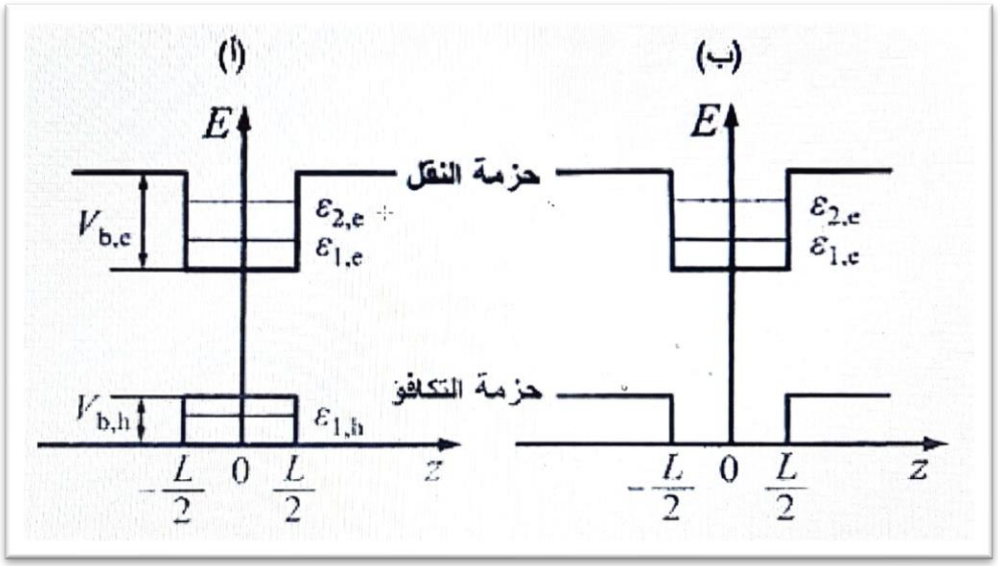
2 ـ 3 خصائص ومميزات البئر الكمومي:

تتحدد خصائص الآبار الكمومية من خلال المواد المستخدمة فيها بالإضافة إلى الأبعاد الهندسية للبئر الكمومي, تؤثر عوامل أخرى مثل ظروف الإنتاج وجودته ودرجة الحرارة والقيم الكهربائية المطبقة في أداء البئر الكمومي. أدى تطبيق الآبار الكمومية في تصنيع الالكترونيات إلى تصنيع أجهزة وأدوات بخصائص عالية وأداء لم يكن متاحا قبل ذلك، إن هذا الأمر يرجع لخصائص الآبار الكمومية وكيفية عملها (قيم الطاقة، الجهد والتيار الكهربائي، حركية الإلكترونات، أزمنة الحياة المنتهية للإلكترونات، كثافات الإلكترونات والثقوب ....). [9]

يكون تأثير حبس الإلكترونات في البئر الكمومي مناسبا بحسب كل خصائص البئر الكمي والمواد المستخدمة في الوصلة (تمثل هذه النقطة إشكالية هذا البحث التي تمت دراستها بالمحاكاة في الفصل الثالث من هذه المذكرة)، ويهدف بالخصوص الوصول لكثافة كبيرة للإلكترونات والثقوب في مناطق الالتحام وللخصائص الكهربائية والضوئية المصاحبة لها. ان حبس الالكترونات في اي جهة يمنع الانتشار الحر وفق هذا الاتجاه ويؤدي إلى تكميم طاقة الإلكترونات. ان أثر الحبس يمكن ان يكون قويا جدا، وعلى وجه الخصوص ان الالكترونات تتوضع بطبقه فراغية رقيقه في سماكه 5 نانومتر الى 10 نانومتر تبعا لتركيز الكترونات. يعطي هذا الحبس كثافات الكترونيات مرتفعة.[9] يمكن فصل الحوامل فراغيا عن الطبقات ذات الشوائب التي تولد حوامل حرة، تقود هذه التقنيات الى بنى كمومية تتميز بحركية إلكترونات كبيرة. تؤدي هذه الحركية المعززة إضافة كثافه الإلكترونات المرتفعة والقابلة للتحكم إلى كثافات تيار كهربائي مرتفعة وسرعه عمل عالية. [9]

يمكن الحصول على تراكيز حوامل اعلى في حزمة النقل في نظام ثنائي يظهر **(الشكل 4.2)** نظاما مشابها تتشكل الابار الكمومية من اجل البنى المتباينة من النمط 1 وذلك من اجل كل من الالكترونات يظهر مستويان

مكممان والثقوب يظهر مستوى مكمم وحيد في حين يتشكل بئر كمومي من اجل الكترونات فقط في بنيه متباينة من النمط 2 [9]

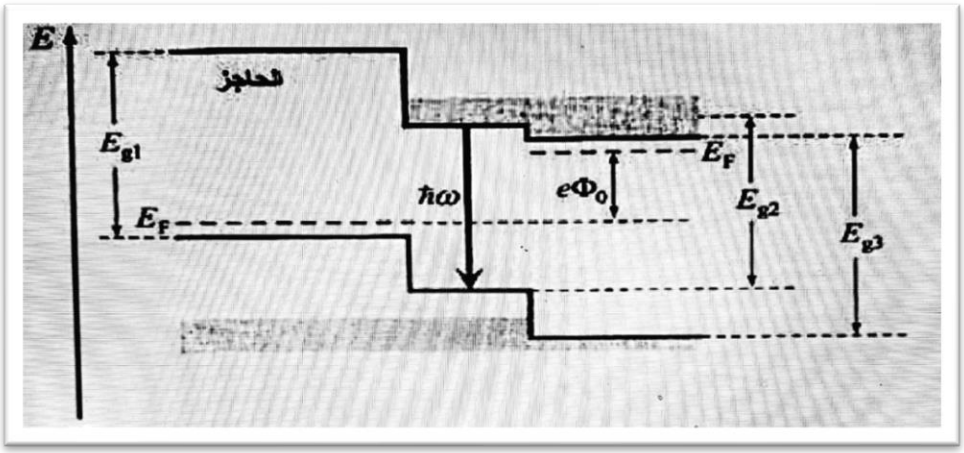


الشكل 4.2 نوعان من مخططات الحزم لبن متباينة ثنائية النمط I (أ) والنمط II(ب)

يتم التحكم في أبعاد الآبار الكمومية وعددها للوصول لتراكيز أكبر لحاملات الشحنة في المناطق الفعالة.

خصائص البئر الكمومية تعتمد على عرضه حيث يكون للبئر الكمي الأوسع تباعد أقل لمستوى الطاقة، في حين أن البئر الكمي الأضيق سيكون له تباعد أعلى لمستوى الطاقة. يؤثر سمك بئر الكم أيضاً على خصائصه حيث تتمتع الآبار الكمومية الأكثر سمكاً بكثافة إلكترون أعلى، مما قد يؤدي إلى كثافة تيار أعلى في الأجهزة الإلكترونية. [10] يظهر **(الشكل5.2)** منحنى الكمون لبنيه متباينة مضاعفة. تتألف البنيه المتباينة من ثلاث مواد بفجوة حزم E_{g1} E_{g2} E_{g3} . يجري اختيار الانزياحات بشكل ملائم لتصميم بنية مع حاجز الإلكترونات في الجزء الأيسر للبنيه قبل المنطقة p وحاجز للثقوب في جزء الأيمن قبل المنطقة .n وتكون المنطقة الوسطى اذات فجوه حزم E_{g2} متاحه لدخول كلا النوعين من الحوامل وتعمل كالمنطقة الفعالة. في هذه الحالة ليس طول الانتشار بل المسافة بين الحواجز من يحدد حجم المنطقة الفعالة، وبالنتيجة يمكن ان يكون الحجم صغيرا

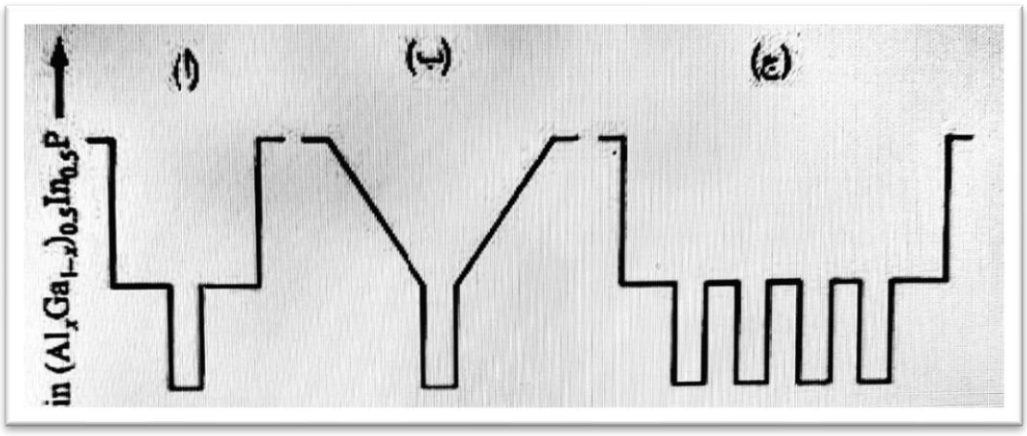
من رتبه 0.1 ميكرو متر والتيار الكهربائي الحرج أصغر بعشر مرات أو أكثر مقارنة بتيار وصلة p–n ذات البنية المتباينة المعروفة.[9]



الشكل 5.2: مخطط طاقة الحزم لبنية متباينة مضاعفة لتوليد تضخيم الضوء.

يحرض الجهد المطبق Φ_0 شروط الحزم المستوية. تمثل E_{g1} E_{g2} E_{g3} فجوات الحزم في مناطق البنية المختلفة. نرمز الى حالات الطاقة المملوءة بالإلكترونات بالمساحات المضللة، وعليه هناك إلكترونات في حزمة النقل وثقوب (حالات شاغرة) في حزمه النقل. [9]

يظهر (**الشكل6.2**) ثلاثة تصاميم ممكنة لمناطق فعالة تبدي انحباسا كموميا. توافق الحالتين (أ) و (ب) الانحباس الناتج في بئر كمومي واحد في حين أن الحالة(ج) توافق الانحباس في آبار كمومية متعددة. [9]



شكل(6.2):منحنيات التركيب للبنى المتباينة التي تعطي الانحباس الكمومي للحوامل والانحباس الضوئي في[9]

2 ـ 4 بعض تطبيقات الآبار الكمومية:

إن خاصية حبس حاملات الشحنة وتركيزها وزيادة كثافتها في مناطق الآبار الكمومية أتاح مجال كبير لتطبيقها في كل التركيبات الإلكترونية التي تستخدم فيها انصاف النواقل للحصول على مردود أكبر وكفاءة أعلى لهذه التركيبات بل وفتح المجال لتطبيقات أخرى جديدة لم تكن متاحة مع الوصلات التقليدية. بشكل عام له العديد من استخدامات يمكن استخدامها الأجهزة الإلكترونية المتقدمة على سبيل المثال ترنزستورات، والمكونات البصرية على سبيل المثال صمامات الليزر الأجهزة البصرية الإلكترونية الضوئية الفائقة. [11]

من أحد أهم تطبيقات الآبار الكمومية GaAs هو في مجال الإلكترونيات عالية السرعة. لقد ثبت أن ترانزستورات GaAsالكمومية تعمل بترددات تصل إلى 600 جيجا هرتز، وهو أعلى بكثير من الترددات التي يمكن تحقيقها باستخدام ترانزستورات السيليكون. أدى دمج الآبار الكمومية مع الضوئيات إلى تطوير الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs)والليزر ذات الكفاءة العالية. وقد أدى هذا التكامل أيضاً إلى إنشاء أجهزة جديدة مثل المُعدِّلات الضوئية وأجهزة الكشف الضوئي. هناك اهتمام متزايد بالآبار الكمومية القائمة على GaAs لإمكاناتها في الحوسبة الكمومية. [10]

الفصل الثالث

نتائج المحاكاة ببرنامج SILVACO

1.3. نبذة حول البرنامج المستخدم

تمهيد:

تختلف المحاكاة المادية عن النمذجة التجريبية. الهدف من النمذجة التجريبية هو الحصول على صيغ تحليلية تقارب البيانات الموجودة بدقة جيدة وبأقل قدر من التعقيد. توفر النماذج التجريبية التقريب والاستيفاء الفعال. فهي لا توفر رؤية أو قدرات تنبؤية أو تغليفًا للمعرفة النظرية.

أصبحت المحاكاة المادية مهمة جدًا لسببين. أولاً، يكون دائمًا أسرع وأرخص كثيرًا من إجراء التجارب. ثانياً، أنها توفر معلومات يصعب أو يستحيل قياسها.

عيوب المحاكاة الفيزيائية هي أنه يجب دمج جميع الفيزياء ذات الصلة في جهاز محاكاة، ويجب تنفيذ الإجراءات الرقمية لحل المعادلات المرتبطة بها. لقد تم الاهتمام بهذه المهام لمستخدمي ATLAS.

يجب على أولئك الذين يستخدمون أدوات محاكاة الأجهزة الفعلية تحديد المشكلة المراد محاكاتها.

في ATLAS، حدد مشاكل محاكاة الجهاز عن طريق تعريف: • الهيكل المادي المراد محاكاته. • النماذج المادية التي سيتم استخدامها. • شروط التحيز التي سيتم محاكاة الخصائص الكهربائية لها.[15]

1.1.3 تعريف برنامج سلفاكو أطلس:

برنامج SILVACO–TCAD عبارة عن مجموعة من الأدوات التي تسمح بالمحاكاة الفيزيائية للمركبات والأنظمة الإلكترونية.[14]

ATLAS هو إطار عمل معياري وقابل للتوسيع للأبعاد الأحادية والثنائية والثلاثية محاكاة جهاز أشباه الموصلات. ويتم تنفيذه باستخدام هندسة البرمجيات الحديثة الممارسات التي تعزز الموثوقية وقابلية الصيانة والتوسعة... يلبي ATLAS Framework احتياجات محاكاة الأجهزة لجميع مجالات تطبيقات أشباه الموصلات. [15] برنامج التصميم التكنولوجي بمساعدة الكمبيوتر (SILVACO–TCAD) يسمح بنمذجة السلوك الفيزيائي والكهربائي للمكون الإلكتروني، بهدف توفير الوقت والاقتصاد في تكلفة الإنتاج والتطوير، ايضا القدرة على النظر في الحلول ثم اختيار الحل الأمثل من اجل رفع كفاءة أداء للمكون الإلكتروني.[14]

أطلس عبارة عن جهاز محاكاة فعليًا. لا تعد محاكاة الأجهزة المادية مفهومًا مألوفًا لجميع المهندسين..

تتنبأ محاكيات الأجهزة المادية بالخصائص الكهربائية المرتبطة بالهياكل الفيزيائية المحددة وظروف التحيز. يتم تحقيق ذلك من خلال تقريب تشغيل الجهاز على شبكة ثنائية أو ثلاثية الأبعاد، تتكون من عدد من نقاط الشبكة تسمى العقد. من خلال تطبيق مجموعة من المعادلات التفاضلية، المستمدة من قوانين ماكسويل، على هذه الشبكة، يمكنك محاكاة نقل الناقلات من خلال الهيكل. وهذا يعني أنه يمكن الآن تصميم الأداء الكهربائي لجهاز ما في أوضاع التشغيل DC أو AC أو المؤقتة. أطلس عبارة عن محاكي جهاز ثنائي وثلاثي الأبعاد. فهو يتنبأ بالسلوك الكهربائي لهياكل أشباه الموصلات المحددة ويوفر نظرة ثاقبة للآليات الفيزيائية الداخلية المرتبطة بتشغيل الجهاز.[15]

2.1.3 بعض مزايا برنامج سلفاكو أطلس:

التحكم في تأثير الفيزياء المختلفة في الجهاز من خلال إعدادات النموذج والمعاملات. إذا كانت النظرية المطبقة على المحاكاة تتطابق مع النتيجة المقاسة، فربما تكون قد وجدت السبب الجذري واكتسبت فهمًا ماديًا لأداء الجهاز [16]

يوفر برنامج محاكاة ATHENA من SILVACO–TCAD إمكانيات عامة لمحاكاة الطرق المستخدمة في صناعة أشباه الموصلات مثل: الانتشار، الأكسدة، زرع الأيونات، الحفر، وطرق الترسيب. كما يسمح بإجراء عمليات محاكاة سريعة ودقيقة لجميع خطوات التصنيع المستخدمة في التكنولوجيا، وإلكترونيك البصريات، كما يوفر معلومات هامة عن تصميم وتحسين الطرق التكنولوجية مثل: تركيز حاملات الشحنة، عمق الوصلة وغيرها.[14]

ـ متكامل لا يتنقل بين الأدوات ـ الحلول المتسقة ذاتياً الكهربائية والبصرية والحرارية ـ الأجهزة البصرية النشطة والسلبية ممكنة ـ العديد من طرق انتشار الضوء المختلفة ـ قاعدة بيانات كبيرة للمواد ـ طرق فعالة لإنشاء الهياكل ثلاثية الأبعاد ـ تصميم بيئة التجارب [16]

ومن استعمالات سلفاكو في مجال البصريات: نماذج الضوء • امتصاص الضوء – الخلايا الشمسية – مستشعرات الصور – الكريستال السائل • انبعاث الضوء – الثنائيات الباعثة للضوء – أشعة الليزر الباعثة على الحواف – أشعة الليزر الباعثة لسطح التجويف العمودي • الأدلة الموجية [16]

3.1.3 استخدام سلفاكو أطلس:

يمكن استخدامه بشكل مستقل أو كأداة أساسية في بيئة محاكاة VIRTUAL WAFER FAB الخاصة بـ Silvaco. في تسلسل التنبؤ بتأثير متغيرات العملية على أداء الدائرة، تتناسب محاكاة الجهاز بين محاكاة العملية واستخراج نموذج SPICE. [15]

أداة الحساب للبرنامج تحل المعادلات التفاضلية المتعلقة بفيزياء المركب مثل تلك المتعلقة بالانتشار أو النقل في حالة عدم وجود استمرارية هندسية. هناك أداتين رئيسيتين من أدوات المحاكاة وهما: الأولى محاكاة طريقة التصنيع ATHENA والثانية محاكاة المكون الإلكترونيATLAS حيث ان الأولى تسمح بمحاكاة خطوات زرع

الأيونات، الترسيب، الحفر، التلدين والأكسدة، والثانية تسمح بمحاكاة سلوك المكون الكهربائي المصنع مثل الصمام الثنائي أو الترانزستور المكون الإلكتروني يمكن تمثيله من خلال بنية يتم تقسيمها الى عدة نقاط بحيث كل نقطة ترتبط بخصائصها مثل نوع المادة، تركيز التطعيم وغيرها ايضا كل نقطة تتميز بتركيز معين لحاملات الشحنة، الحقل الكهربائي، فرق الجهد، والتيار الكهربائي والتي يمكن حسابها [14]

يجب استخدامه (أطلس) فقط مع أدوات VWF التفاعلية. وتشمل هذه البرامج DECKBUILD، وTONYPLOT، وDEVEDIT، وMASKVIEWS، وOPTIMIZER. يوفر DECKBUILD بيئة وقت تشغيل تفاعلية. توفر TONYPLOT قدرات التصور العلمي. DEVEDIT هي أداة تفاعلية لمواصفات الهيكل والشبكة وتحسينها. MASKVIEWS هو محرر تخطيط IC. يدعم OPTIMIZER

غالبًا ما يتم استخدامه (أطلس) جنبًا إلى جنب مع محاكي عملية ATHENA. تتنبأ أثينا بالهياكل الفيزيائية التي تنتج عن خطوات المعالجة. يتم استخدام الهياكل الفيزيائية الناتجة كمدخلات بواسطة ATLAS، الذي يتنبأ بعد ذلك بالخصائص الكهربائية المرتبطة بظروف التحيز المحددة. إن الجمع بين ATHENA وATLAS يجعل من الممكن تحديد تأثير معلمات العملية على خصائص الجهاز. يمكن استخدام الخصائص الكهربائية التي تنبأ بها ATLAS كمدخلات من خلال برنامج توصيف جهاز UTMOST وبرنامج نمذجة SPICE. يمكن بعد ذلك توفير نماذج مدمجة تعتمد على خصائص الجهاز المحاكية لمصممي الدوائر لتصميم الدوائر الأولية. إن الجمع بين ATHENA وATLAS وUTMOST وSMARTSPICE يجعل من الممكن التنبؤ بتأثير معلمات العملية على خصائص الدائرة.[15]

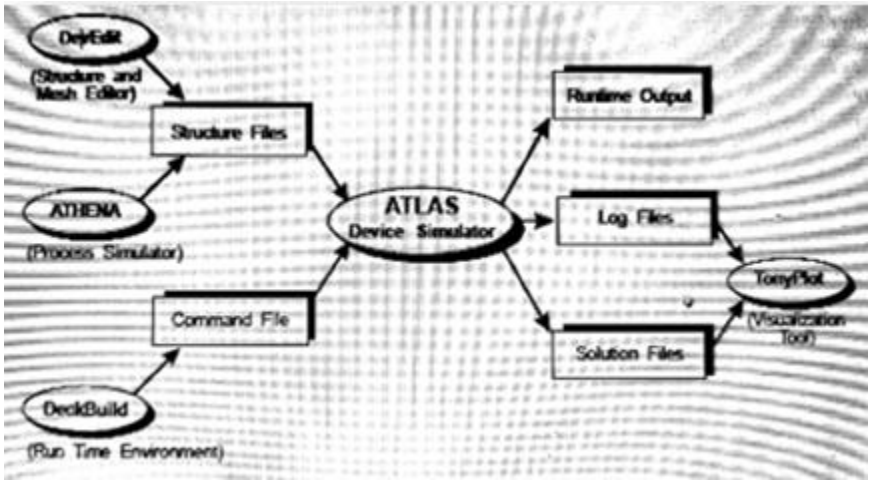
يمكن استخدامه كأحد أجهزة المحاكاة ضمن أدوات VWF AUTOMATION TOOLS. يجعل VWF من السهل إجراء تجارب تعتمد على المحاكاة الآلية للغاية. يتم استخدام VWF بطريقة تعكس إجراءات البحث

والتطوير التجريبية باستخدام الحصص المقسمة. ولذلك فهو يربط المحاكاة بشكل وثيق جدًا بتطور التكنولوجيا، مما يؤدي إلى زيادة كبيرة في الفوائد من استخدام المحاكاة.[15]

4.1.3 مدخلات ومخرجات أطلس:

يوضح **(شكل 1.3)** أنواع المعلومات التي تتدفق داخل وخارج ATLAS. تستخدم معظم عمليات محاكاة ATLAS ملفين للإدخال. ملف الإدخال الأول هو ملف نصي يحتوي على أوامر لتنفيذها ATLAS. ملف الإدخال الثاني هو ملف هيكل يحدد البنية التي سيتم محاكاتها.

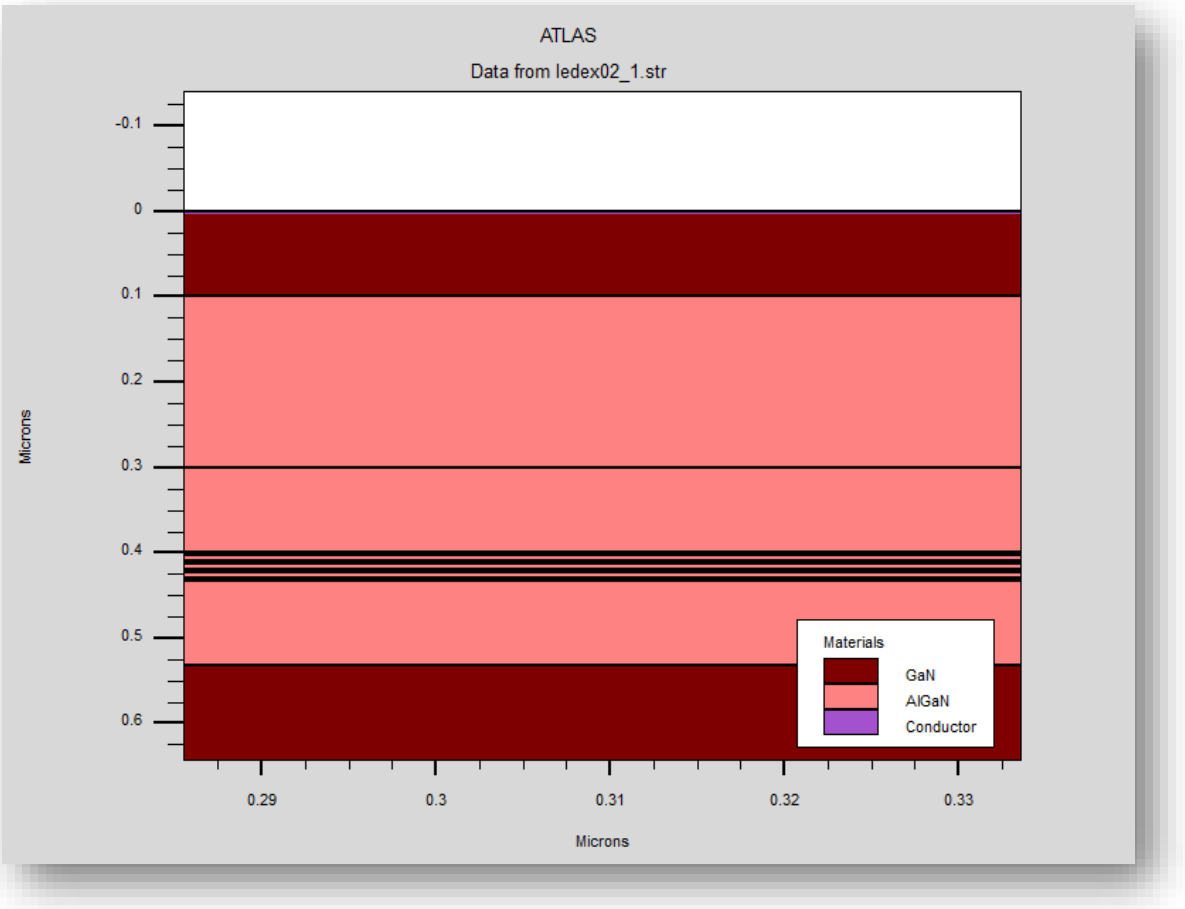
تنتج ثلاثة أنواع من ملفات الإخراج. النوع الأول من ملفات الإخراج هو إخراج وقت التشغيل، والذي يوفر لك التقدم ورسائل الخطأ والتحذير أثناء استمرار عملية المحاكاة. النوع الثاني من ملف الإخراج هو ملف السجل، الذي يخزن جميع الفولتية والتيارات الطرفية من تحليل الجهاز. النوع الثالث من ملفات الإخراج هو ملف الحلول، الذي يقوم بتخزين البيانات ثنائية وثلاثية الأبعاد المتعلقة بقيم متغيرات الحل داخل الجهاز عند نقطة انحياز معينة [15]



شكل 1.3 مدخلات ومخرجات أطلس

2.3. تركيب العينة المختارة:

الشكل المقابل تركيب العينة المختارة خلال هذه الدراسة. **شكل 2.3**



شكل 2.3: تركيب العينة المختارة

1.2.3 تقديم موجز للبنية:

العينة عبارة عن وصلة على شكل أسطواني تتكون من طبقات لمواد نصف ناقلة كالتالي:

- نوع p مادة GaN بسمك 100nm تطعيم: 1 e 18
- نوع p مادة $Al_{0.1}GaN$ بسمك 200nm تطعيم: 1 e 18
- حاجز نوع p مادة $Al_{0.2}GaN$ بسمك 100nm تطعيم: 1 e 18

- 4 طبقات من مادة GaN تمثل مادة الآبار الكمومية بسمك متغير (3nm – 4nm – 5nm – 6nm – 7nm) لكل طبقة

- 3 حواجز مادة $Al_{0.2}GaN$ بسمك 15nm

- حاجز نوع n مادة $Al_{0.2}GaN$ بسمك 100nm تطعيم: 1 e 18

- نوع n مادة GaN بسمك 300nm تطعيم: 1 e 18

3.3. قيم الإدخال المختارة:

- تم تثبيت القيم غير المعنية بالدراسة عند قيم مختارة.

- تم التغيير في سمك البئر الكمومي باعتباره المستهدف من هذا البحث.

الجدول التالي يعطي كل القيم المستعملة في المحاكاة **الجدول1.3**.

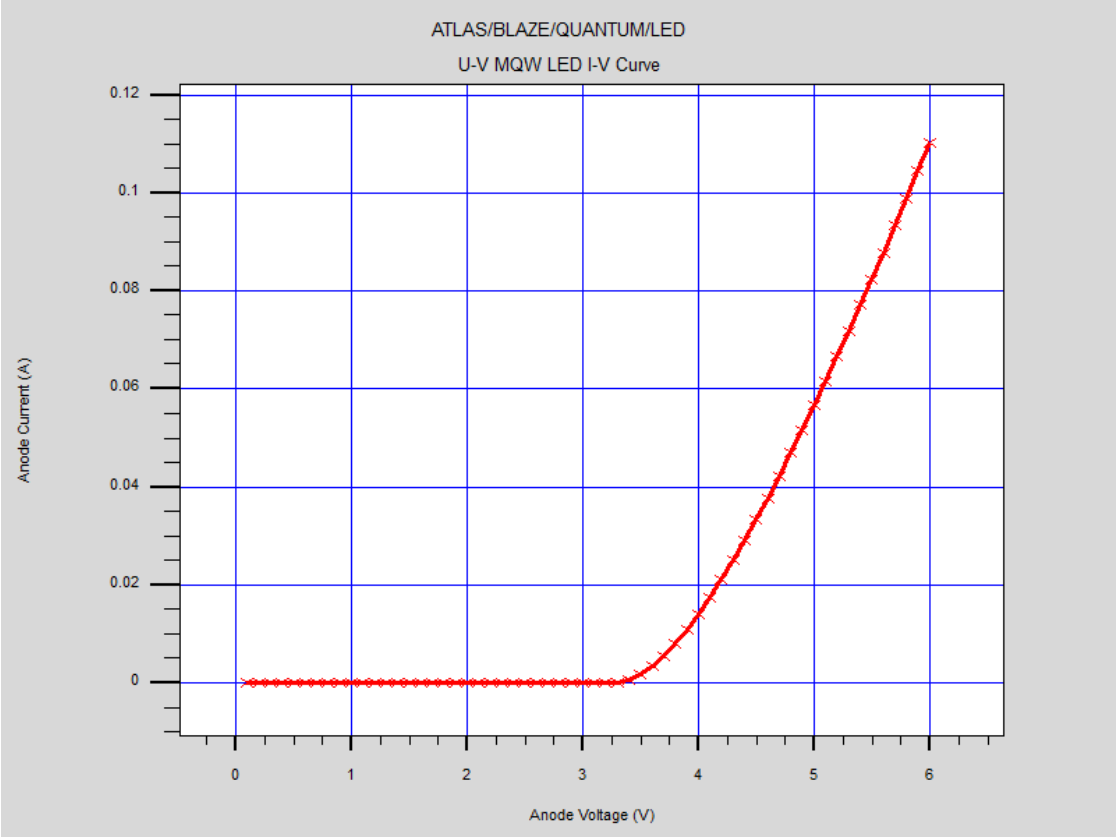
المقدار	المادة	التغيير	القيم المختارة
مساحة سطح العينة Dimensional Structure	أسطواني for A Cylindrical	ثابت	$S= 3.14* x^2$ =3.14*10*10 $=314\ \mu m^2$
نسب التطعيم doping	/	ثابت	1e18
الحاجز Barrier	Al0.2GaN	ثابت	15nm
سمك البئر الكمومي 4MQW	GaN	تغيير لخمس قيم	Y= 3nm 4nm 5nm 6nm 7nm

الجدول1.3. القيم المستعملة في المحاكاة.

4.3. النتائج المتحصل عليها بالمحاكاة

أولا: نتائج المحاكاة منفردة لسمك البئر المقترح (6nm):

3 ـ 4 ـ 1 منحنى التيارCurrent بدلالة الجهد Voltage : شكل 3.3



شكل 3.3 منحنى التيار بدلالة الجهد

نلاحظ أن التيار المار على العينة يزداد بدلالة الجهد المطبق على الوصلة مع تسجيل لجهد عتبة يقدر بـ: 3V

تفسير المنحنى شكل 3.3: يمكن تقسيم المنحنى لثلاث مناطق

أ ـ منطقة الاستقطاب المباشر (قبل عتبة التيار)

في هذه المنطقة، بالنسبة للجهود الأمامية المنخفضة، يزداد التيار قليلاً جدًا. ولكن الجهد المطبق لا يزال أقل من العتبة، يبدأ حاجز جهد الوصلة PN في الانخفاض، ولكن ليس بدرجة كافية للسماح بتوصيل كبير. تبدأ بعض الإلكترونات والثقوب في عبور الوصلة، لكن التيار يظل منخفضًا

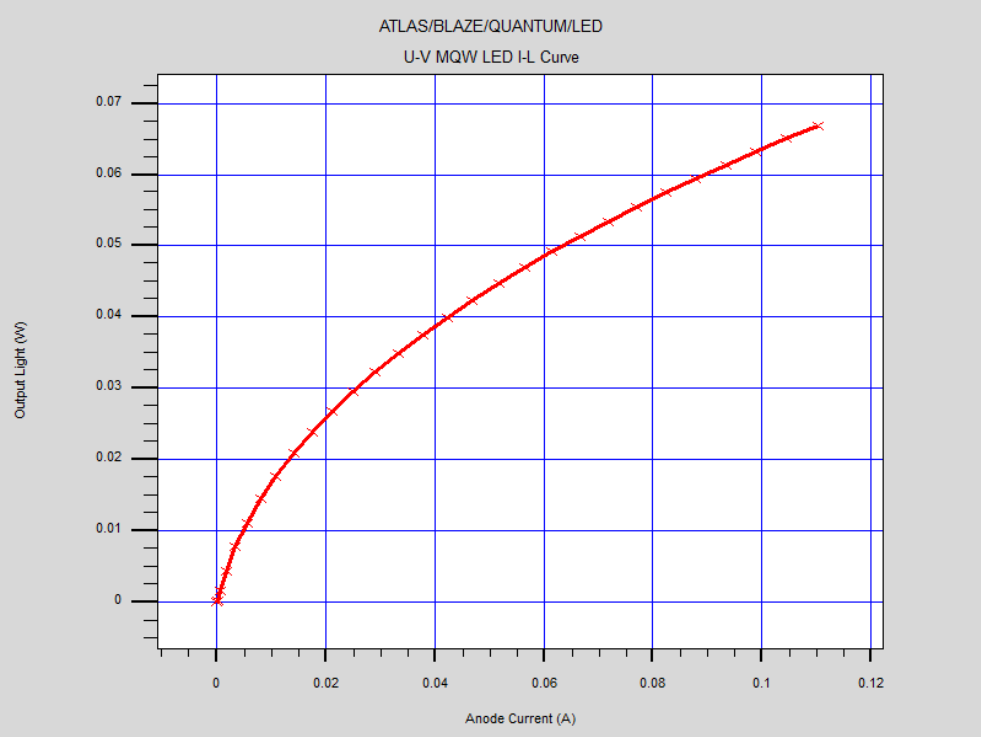
ب ـ منطقة العتبة الحالية (عتبة الجهد)

عند عتبة الجهد، تؤدي زيادة طفيفة في الجهد إلى زيادة هائلة في التيار. جهد العتبة هو النقطة التي يتم فيها تقليل الحاجز المحتمل لوصلة PN بدرجة كافية للسماح لعدد كبير من حاملات الشحن بعبور الوصلة. مثلا بالنسبة للسيليكون يبلغ هذا الجهد حوالي 0.7 فولت، ولكن بالنسبة للمواد المستخدمة في مصابيح LED مثل GaNيمكن أن يكون أعلى عادة من 2v إلى 4v) كما هو الحال في العينة المدروسة (3v).) عند هذا الجهد، يمكن للإلكترونات والثقوب أن تتحد بكفاءة في البئر الكمومي، مما يؤدي إلى انبعاث الفوتونات (انبعاث الضوء)..

ج ـ منطقة التوصيل (بعد عتبة التيار)

بعد جهد العتبة، يزداد التيار بشكل كبير مع الجهد المطبق. بمجرد أن يتجاوز الجهد العتبة، يكون حاجز الجهد منخفضا بما يكفي للسماح بتوصيل كبير. يتم حقن الإلكترونات والثقوب بشكل كبير في المنطقة النشطة (الآبار الكمومية) حيث تتحد من جديد، وتطلق الطاقة على شكل فوتونات. تُظهر هذه المنطقة من اعتماداً أسياً قوياً للتيار على الجهد.

3 ـ 4 ـ 2 منحنى شدة الإضاءة بدلالة التيار: شكل 4.3



شكل 4.3 منحنى شدة الإضاءة بدلالة التيار

ـ نلاحظ أن شدة الإضاءة تبدأ ببداية مرور التيار وهي تزداد بزيادة شدة التيار المار على الوصلة.

تفسير المنحنى شكل 4.3: يمكن تقسيم المنحنى لثلاث مناطق

أ ـ منطقة التيار المنخفض (العتبة المسبقة)

في هذه المنطقة، التيار غير كافٍ للتغلب تمامًا على الحاجز المحتمل لوصلة .PN الطاقة الضوئية المنبعثة منخفضة جدًا أو معدومة. لا يتم حقن الإلكترونات والثقوب في الآبار الكمومية بشكل كافٍ لإحداث إعادة تركيب إشعاعي كبير. تتحد معظم ناقلات الشحنة بطريقة غير إشعاعية، أي دون انبعاث الضوء.

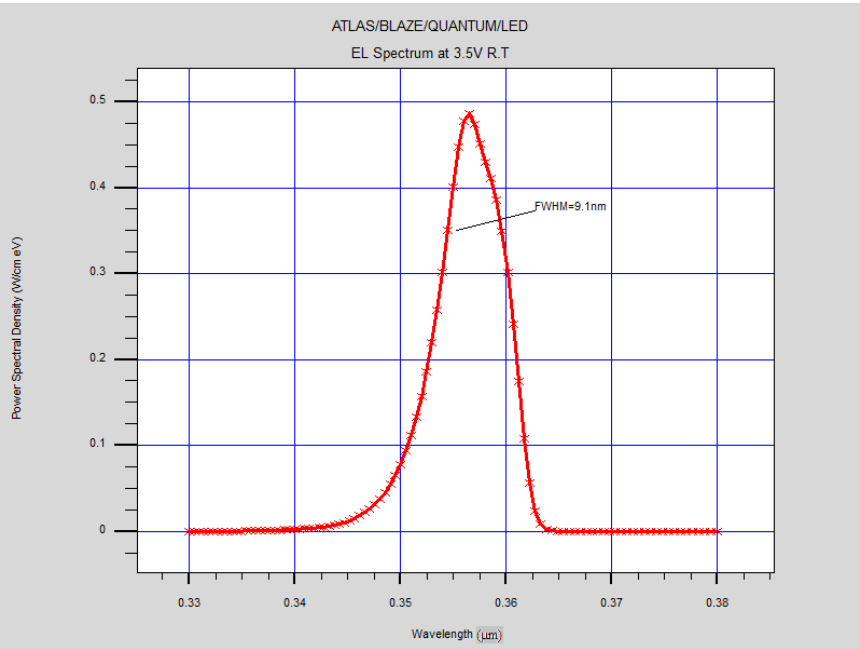
ب ـ عتبة المنطقة الحالية

عند عتبة الجهد، تؤدي الزيادة في التيار إلى زيادة كبيرة في الطاقة الضوئية. عندما يصل الجهد المطبق إلى قيمة العتبة، يتم تقليل الحاجز المحتمل لوصلةPN ، مما يسمح بالحقن الفعال لحاملات الشحنة في الآبار الكمومية. تتحد هذه الموجات الحاملة إشعاعيًا، وتنبعث منها فوتونات. تبدأ الطاقة الضوئية في الزيادة بشكل ملحوظ مع التيار.

ج ـ المنطقة الخطية (ما وراء العتبة)

بعد العتبة، تزداد الطاقة الضوئية خطيًا مع زيادة التيار. غالبًا ما تكون هذه المنطقة هي الأكثر استخدامًا للتطبيقات العملية. في هذه المنطقة، تؤدي زيادة التيار إلى حقن أكبر نسبيًا للإلكترونات والثقوب في الآبار الكمومية، مما يؤدي إلى زيادة خطية في إعادة التركيب الإشعاعي، وبالتالي انبعاث الطاقة الضوئية. تظل كفاءة الكم الداخلية عالية ومستقرة.

3 ـ 4 ـ 3 منحنى الكثافة الطيفية للطاقة Power Spectral Density بدلالة الطول الموجي Wavlength



شكل 5.3 منحنى الكثافة الطيفية للطاقة بدلالة الطول الموجي

يكون طيف الإصدار في مجال الأشعة فوق البنفسجية بحيث:

λ_{pic} = 0,35654 **µm**= 356,54 **nm**

FWHM ($\Delta\lambda$) = 0.0078 **µm** = 7.8 **nm**

تفسير المنحنى شكل 5.3: يمكن تقسيم المنحنى لمنطقتان

أ ـ موضع ذروة الانبعاثات:

إن إعادة التركيب الإشعاعي للإلكترونات والثقوب في الآبار الكمومية تنبعث منها فوتونات طاقتها تساوي فرق الطاقة بين المستويات الكمية للإلكترونات والثقوب (Eg). تحدد طاقة الفوتونات الطول الموجي للضوء المنبعث، والذي يتم وصفه بالعلاقة

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

حيث E هي طاقة الفوتون، hهو ثابت بلانك، cهي سرعة الضوء، وλ هي الطول الموجي. يتم تحديد موضع ذروة الانبعاث (الطول الموجي المركزي) من خلال فرق الطاقة بين مستويات الطاقة المحددة في الآبار الكمومية. ويعتمد هذا الاختلاف على تركيبة المواد وسمك الآبار الكمومية. من خلال التحكم في هذه المتغيرات، يمكن لنا التحكم بدقة في لون الضوء المنبعث من.LED QW

ب ـ العرض عند نصف الارتفاع (FWHM):

يتأثر عرض نطاق البث (أو العرض الطيفي) بتوزيع حاملات الشحنة في مستويات الطاقة الكمية. كلما كانت مستويات الطاقة محددة ومفصلة بشكل جيد، كلما كان نطاق الانبعاث أضيق. يمكن أن تؤثر التقلبات في تركيب

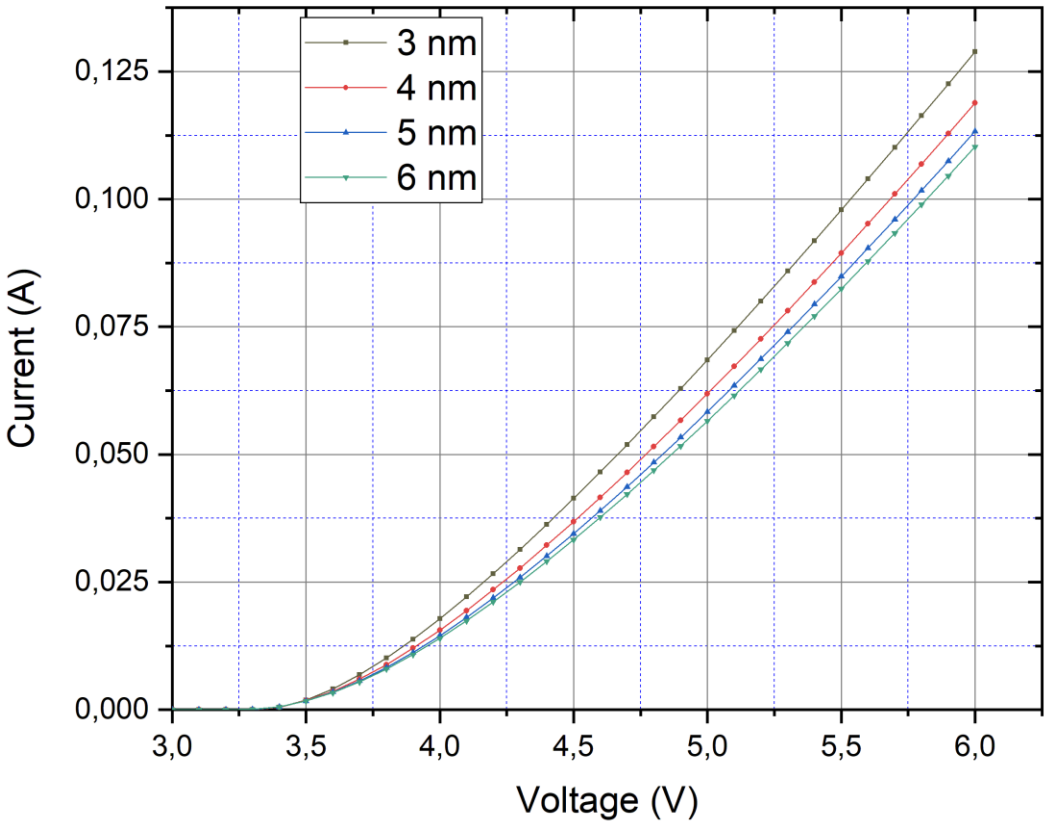
المواد وتأثيرات الحبس الكمي أيضًا على عرض نطاق البث. العرض الكامل بنصف الحد الأقصى (FWHM)

هو مقياس للعرض الطيفي للبث. يشير FWHM الضيق إلى انبعاث أحادي اللون

ثانيا: نتائج المحاكاة لحالات سمك البئر المختلفة(3nm-4nm-5nm-6nm-7nm):

4.4.3 التيار بدلالة الجهد

البيان التالي **شكل 6.3** يوضح منحنى التيار Current بدلالة الجهد Voltage لكل سمك للبئر الكمومي:

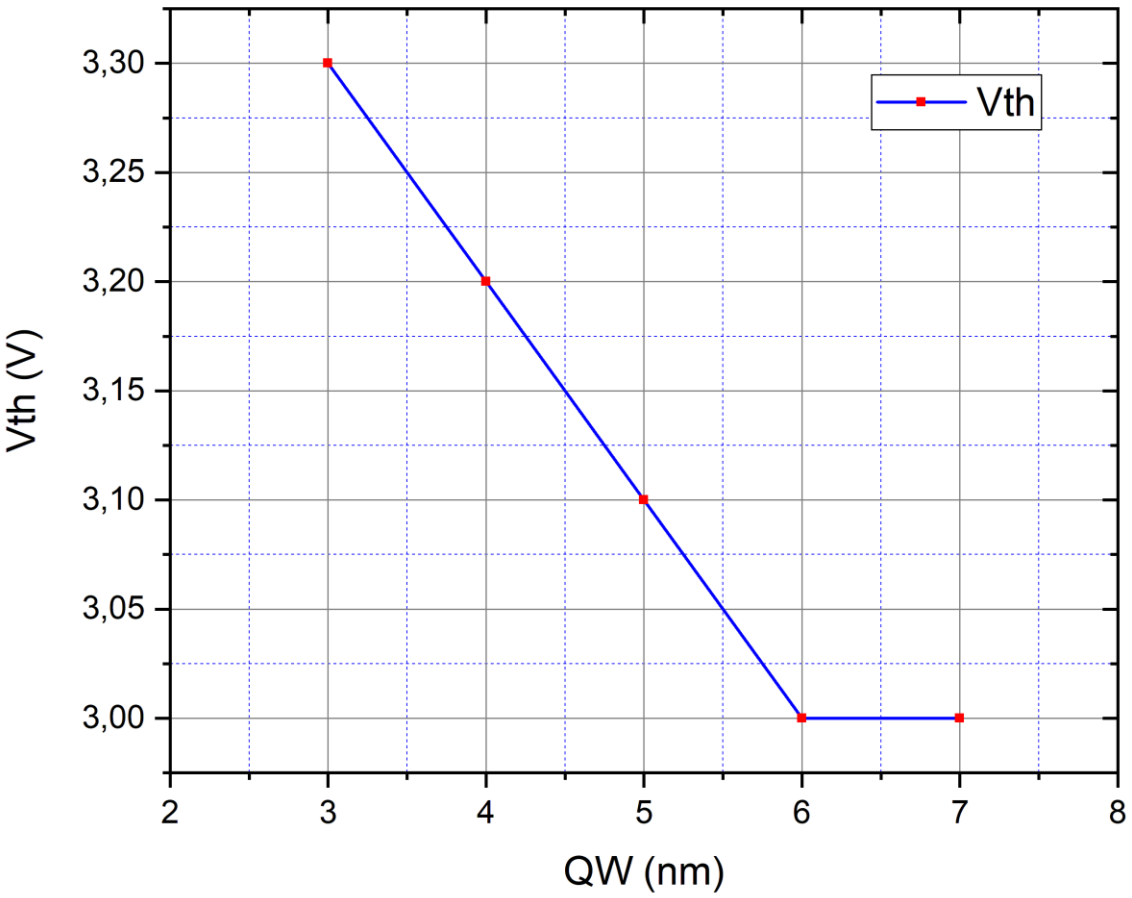


منحنى التيار بدلالة الجهد لكل سمك للبئر الكمومي

شكل 6.3

5.4.3 جهد العتبة بدلالة سمك البئر الكمومي

الشكل 7.3 يعطي منحنى قيمة جهد العتبة بدلالة سمك البئر الكمومي:



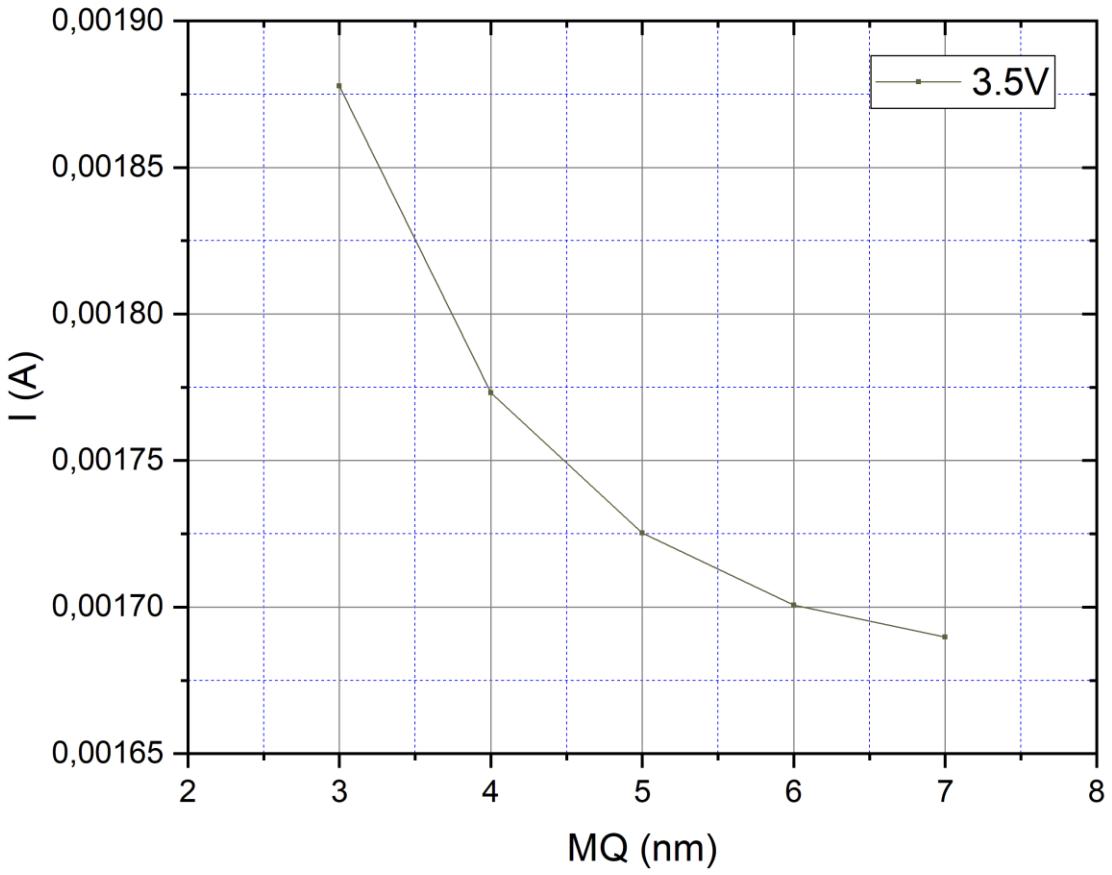
منحنى قيمة جهد العتبة بدلالة سمك البئر الكمومي

شكل 7.3

ـ نلاحظ من المنحنى انخفاض جهد العتبة بازدياد سمك البئر مع تطابق النتائج بعد القيمة 6nm

6.4.3 التيار الكهربائي بدلالة سمك البئر الكمومي

منحنى قيمة التيار عند الجهد 3.5V بدلالة سمك البئر الكمومي: **شكل 8.3**



منحى شدة التيار عند جهد ثابت مطبق على الوصلة
بدلالة سمك البئر الكمومي

شكل 8.3

نلاحظ من المنحنى **شكل 8.3** انخفاض قيمة شدة التيار بازدياد سمك البئر الكمومي

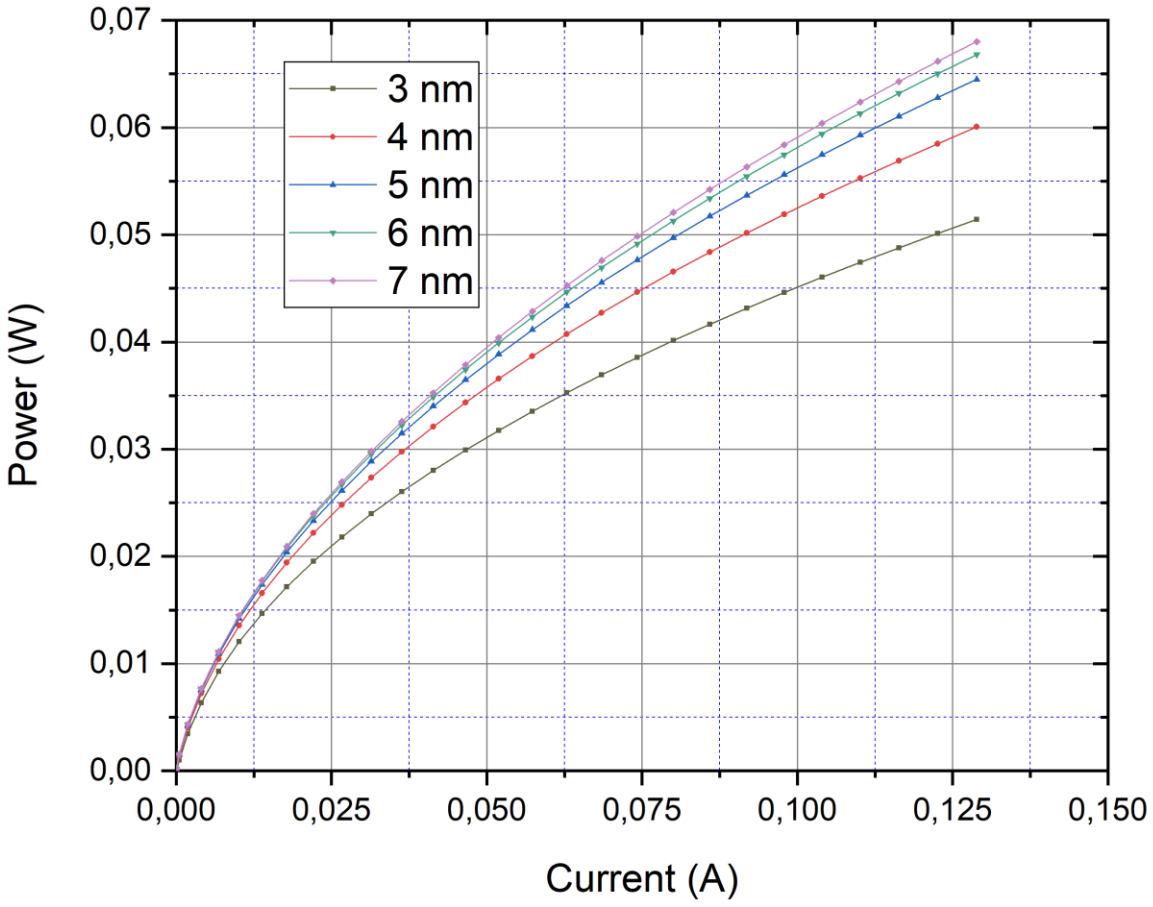
7.4.3 تفسير المنحنيات شكل 7.3 وشكل 8.3

نفسر هذا بتأثير الحبس الكمومي فكلما كان سمك البئر أقل كلما ارتفع جهد العتبة بسبب الفصل الأكبر بين مستويات الطاقة. في الآبار الأضيق تكون حاملات الشحنة (الإلكترونات والثقوب محصورة بقوة أكبر وهذا يسبب زيادة في طاقة المستويات الكمومية لتحقيق تحول اشعاعي والتي تسبب زيادة جهد العتبة

بالإضافة لتأثير المجال الكهربائي الداخلي والذي يكون أكبر في الآبار الأضيق ما يؤثر على توزيع حاملات الشحنة وإعادة التركيب الاشعاعي

8.4.3 شدة الإضاءة بدلالة التيار

منحنى شدة الإضاءة بدلالة التيار لكل سمك للبئر الكمومي **شكل 9.3**

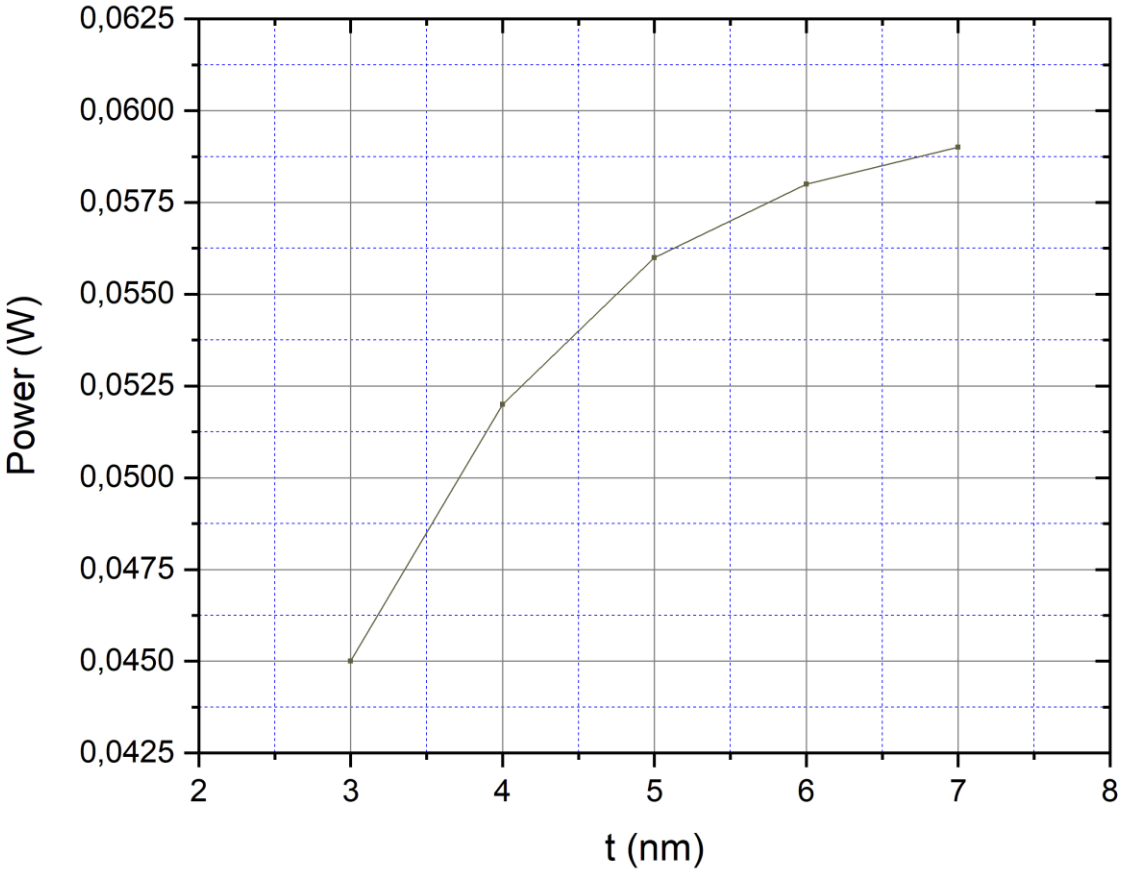


منحنى شدة الإضاءة بدلالة التيار لكل سمك للبئر الكمومي

شكل 9.3

9.4.3 شدة الإضاءة بدلالة سمك البئر الكمومي

منحنى شدة الإضاءة بدلالة سمك البئر الكمومي عند قيمة تيار ثابت I=100 mA **شكل 10.3**



منحنى شدة الإضاءة بدلالة سمك البئر الكمومي

شكل 10.3

نلاحظ ان شدة الإضاءة تزداد بشكل واضح بازدياد سمك البئر الكمومي حتى 6nm مع تقارب القيم بعدها.

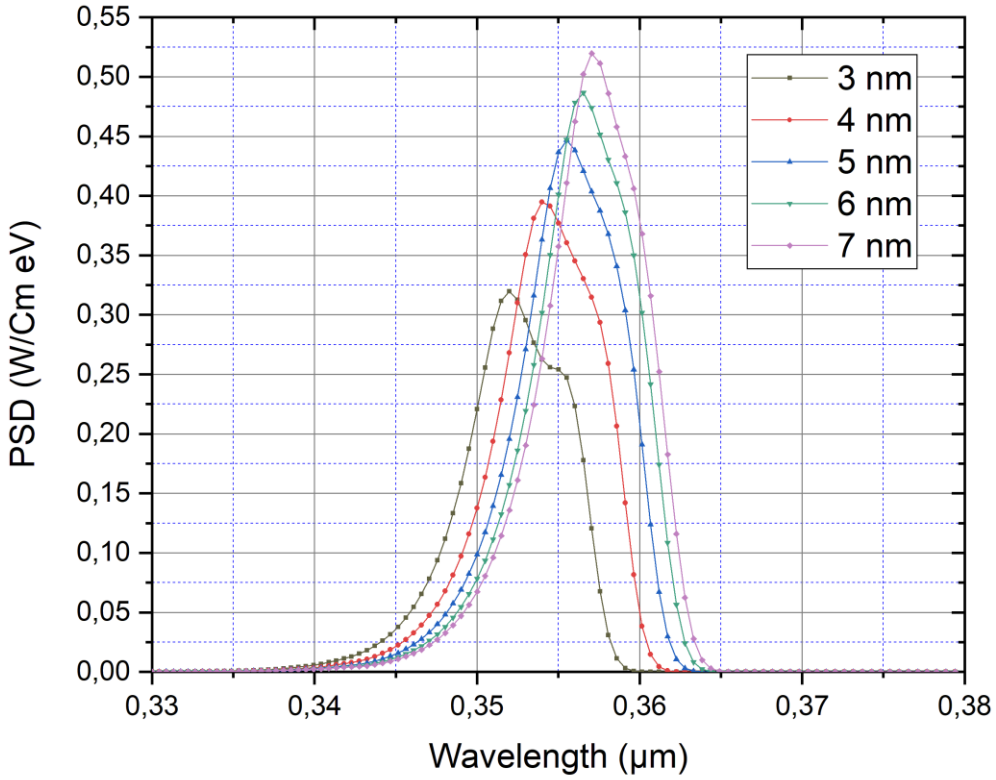
10.4.3 تفسير المنحنيات شكل 9.3 وشكل 10.3

الآبار الكمومية الضيقة لها حبس قوي مما يزيد من عمليات الالتحام غير الاشعاعي (الالتحام الذي لا يصدر فوتونات) مما يقلل من شدة الإضاءة وبزيادة سمك البئر الكمومي تنقص عمليات الالتحام غير الاشعاعي مما

يزيد من كفاءة إعادة الالتحام الاشعاعي إلى الحد الذي قد يقلل بعده من عمليات إعادة الالتحام الاشعاعي نفسها بالإضافة إلى انخفاض قيمة الناقلية الكهربائية.

11.4.3 الكثافة الطيفية للطاقة بدلالة الطول الموجي

منحنى الكثافة الطيفية للطاقة Power Spectral Density بدلالة الطول الموجي Wavlength لكل بئر كمومي. **شكل 11.3**



منحنى الكثافة الطيفية للطاقة بدلالة الطول الموجي

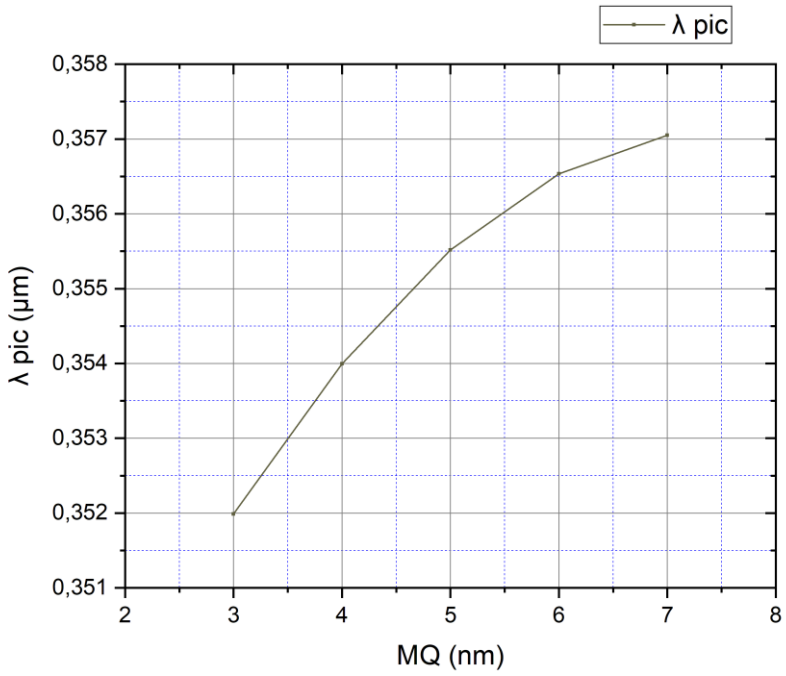
شكل 11.3

نلاحظ من المنحنى **شكل 11.3** أن: ـ قيم أطوال الموجة الصادرة تكون في مجال الأشعة فوق البنفسجية

ـ انزياح لقيم أطوال الموجية نحو قيم أكبر بزيادة سمك البئر الكمومي

12.4.3 القيم العظمى لأطوال الموجة بدلالة سمك البئر الكمومي

منحى القيم العظمى لأطوال الموجة بدلالة سمك البئر الكمومي **شكل 12.3**



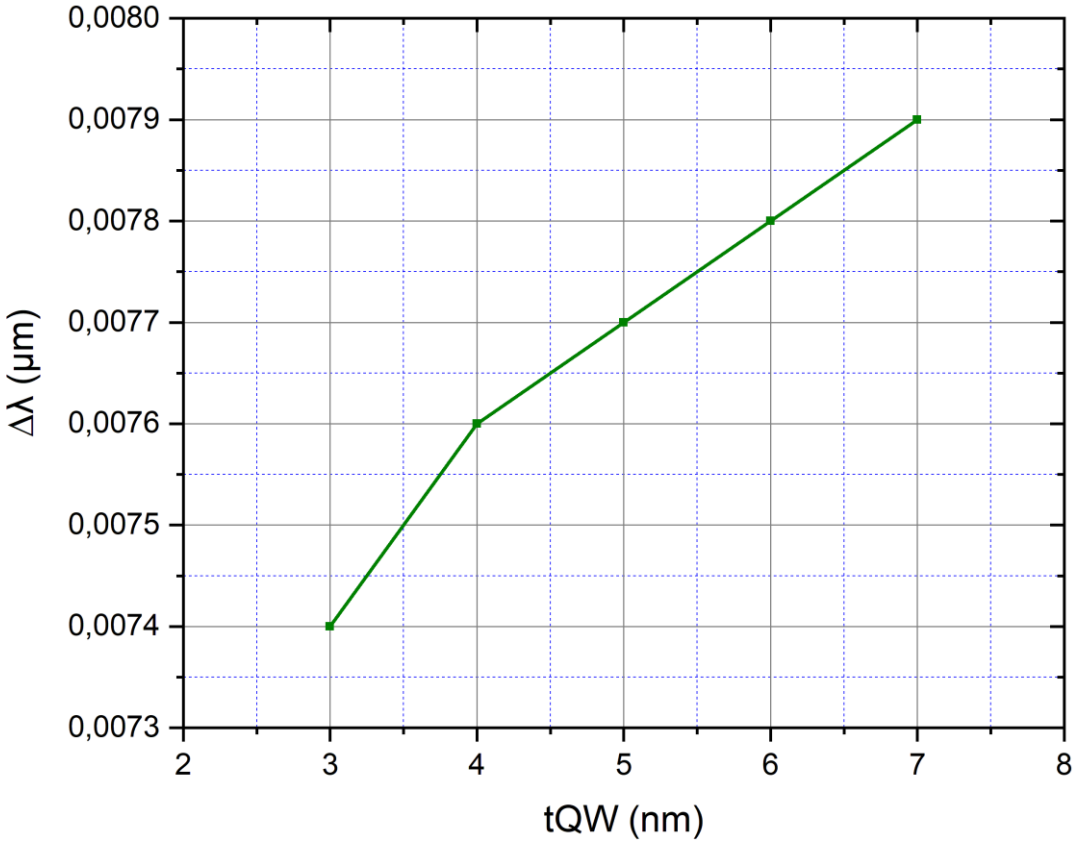
منحى القيم العظمى لأطوال الموجة بدلالة سمك البئر الكمومي

شكل 12.3

نلاحظ من المنحنى أن طول الموجة الغالب يزداد بازدياد سمك الآبار الكمومية

13.4.3 النطاق الموجي بدلالة سمك البئر

منحى النطاق الموجي بدلالة سمك البئر الكمومي. **شكل 13.3**



منحنى تغير النطاق الموجي بدلالة سمك البئر الكمومي

شكل 13.3

نلاحظ أن الآبار الكمومية الأكبر لها نطاق تردد أكبر

14.4.3 تفسير المنحنيات شكل 11.3 وشكل 12.3 وشكل 13.3

الآبار الكمومية الضيقة لها تحول كمي أكبر مما يزيد من طاقة المستويات الكمومية ويحول الانبعاث إلى أطوال موجية أقصر وبزيادة سمك البئر الكمومية تقترب مستويات الطاقة وتصبح الأطوال الموجية أكبر (طاقة أقل).

الآبار الكمومية السميكة لها مستويات طاقوية أقرب مما يجعلها تعطي قيم انبعاث لطاقة أقل (طول موجي أكبر)، في حين تتباعد مستويات الطاقة الكمومية في الآبار الضيقة.

الآبار الكمومية الأضيق لها نطاق تردد أضيق لأن حالات الطاقة أكثر تحديدا في حين يكون للآبار السميكة نطاق ترددي أكبر بسبب زيادة كثافة الحالات ووجود نطاقات فرعية أوسع.

15.4.3 جدول لأهم القيم والنتائج المتحصل عليها:

ملخص لأهم القيم والنتائج المتحصل عليها في هذه المذكرة **جدول 2.3**

t_{QW}(nm)	3	4	5	6	7
V_{th}(V)	3.3	3 .2	3.1	3.0	3.0
I (3.5V) A	0,00188	0,00177	0,00173	0,00170	0,00169
PSD_{max} (W/Cm eV)	0,31973	0,39490	0,44681	0,48658	0,51961
λ_{pic} (µm)	0,35199	0,35399	0,35552	0,35654	0,35705
PSD max /2	0,15987	0,19745	0,22340	0,24329	0,25980
λ_1(µm)	0.3492	0.3512	0.3523	0.3534	0.3536
λ_2(µm)	0.3566	0.3588	0.3600	0.3610	0.3615
(FWHM)$\Delta\lambda$(µm)	0.0074	0.0076	0.0077	0.0078	0.0079

جدول 2.3 أهم القيم والنتائج المتحصل عليها

الخلاصة

نتائج نهائية:

من خلال نتائج المحاكاة التي قمنا بها وتحليل المنحنيات السابقة فإنه يمكن أن نخلص للنتائج التالية:

1 ـ صنع صمام ضوئي وفق الخصائص المذكورة يصدر لنا ضوء للأشعة فوق البنفسجية.

2 ـ بأخذ القيم المذكورة في بداية الحساب فإن **أفضل سمك للبئر الكمومي هو 6nm** لأن:

ـ له جهد عتبة أقل بحيث يضيء المصباح ابتداء من 3V

. يحقق لنا أكبر تركيب إشعاعي وبالتالي أكبر إضاءة ما يعني توفير أكبر للطاقة.

3 ـ عند اختيار السمك المقترح أو سمك أكبر منه يجب الأخذ بعين الاعتبار ازدياد النطاق الموجي ما يقلل من نسب الحصول على أطوال موجية محددة.

الخاتمة

إن الثنائيات الباعثة للضوء LED تعتبر من أفضل ما تم التوصل إليه في إنتاج الاشعاع الضوئي بسبب جودة الإصدار الضوئي وتوفيره للطاقة ومتوسط عمره الكبير مقارنة بطرق انتاج الضوء التقليدية. فمبدأ عمل الثنائي الباعث للضوء لا يعتمد على مفعول جول والذي يستهلك طاقة كبيرة بسبب مقاومة المادة الناقلة للتيار، بل يعتمد على الالتحام الإشعاعي والذي يأتي من الالتحام بين الإلكترونات من عصابة النقل والثقوب من عصابة التكافؤ، وتردد الاشعاع الصادر يعتمد على عرض الفاصل الطاقي Eg. علاقة تردد الاشعاع بالفاصل الطاقي للمواد المستعملة لصنع LED مكن هذا من القدرة الكاملة في التحكم بطيف الإصدار من خلال اختيار مواد محددة بالإضافة إلى التغيير في نسب التطعيم ما فتح المجال واسعا لتطبيقات عديدة في هذا المجال. ارتبط مفهوم الآبار الكمومية بفيزياء الكم، وارتبط انتاج آبار كمومية بتقنيات التصنيع النانوي والتي تعتبر الأحدث في عالم التصنيع الحالي. إدخال الآبار الكمومية كجزء من الوصلة نصف الناقلة p–n المستعملة في صنع الثنائيات الباعثة للضوء أدى لزيادة كبيرة في أداء الثنائيات الباعثة للضوء بسبب الحبس الكمي لحاملات الشحنة والذي يزيد من كفاءة الالتحام الإشعاعي. كان هدف هذه المذكرة هو البحث عن أفضل سمك للشرائح نصف الناقلة المستعملة كآبار كمومية لحبس حاملات الشحنة. استعملنا لأجل الحصول على إجابة برنامج محاكاة SILVACO– ATLAS على عينة افتراضية مكونة من أربع طبقات من GaN مع حواجز من AlGaN. من خلال نتائج المحاكاة التي قمنا بها وتحليل المنحنيات شدة التيار– الجهد المطبق، شدة الإضاءة – شدة التيار، الكثافة الطيفية للطاقة – الطول الموجي فإنه يمكن أن نخلص للنتائج التالية:

1 - صنع صمام ضوئي وفق الخصائص المذكورة يصدر لنا ضوء للأشعة فوق البنفسجية.

2 - بأخذ قيم سمك مختلفة للأبار الكمومية المستعملة في المحاكاة (3nm, 5nm, 6nm,7nm) فإن أفضل سمك للبئر الكمومي هو 6nm لأن:

- له جهد عتبة أقل بحيث يضيء المصباح ابتداء من 3V

- يحقق لنا أكبر تركيب إشعاعي وبالتالي أكبر إضاءة ما يعني توفير أكبر للطاقة.

3 - عند اختيار السمك المقترح أو سمك أكبر منه يجب الأخذ بعين الاعتبار ازدياد النطاق الموجي ما يقلل من نسب الحصول على أطوال موجية محددة.

قائمة المراجـع:

الرقم	المرجـع
[1]	سكلاتر ن. دليل تكنولوجيا الالكترونات. لبنان: المنظمة العربية للترجمة ; 2011
[2]	د صبري أ. المستحدثات التكنولوجية في مجال الإضاءة وتأثّرها على تصمّم وحدات الإضاءة المعدنّية الداخلّة والخارجّة. مجلة العمارة والفنون.2018;3:45 . 66
[3]	عبد الصمد ب، وآخرون. تصميم نظام ارسال واستقبال باستخدام الحساسات الضوئية. مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية.2023;4:86 ـ 96
[4]	https://www.ledyilighting.com/What_Are_Light_Emitting_Diodes_LEDs
[5]	د محمود أ. تكنولوجيا إضاءة اللاد وفاعليتها في صورة الفيديو الرقمي. مجلة التربية النوعية والتكنولوجياMAAT.2021 ;24: 359 ـ 384
[6]	الإدارة العامة لتطوير المناهج. ثنائي زينر والثنائي الباعث للضوء. أساسيات الكهرباء والالكترونيات. المملكة العربية السعودية: المؤسسة العامة للتعليم;9: 166.182
[7]	جين وون سونغ. نمو النبات باستخدام LED النقطة الكمومية. مجلة المجلس الدولي للهندسة الكهربائي جامعة دونغشين كوريا.2016; 1080: 13 ـ 16
[8]	Basics of LEDs, J. Robbins et.al. (2012), Lighting Design Lab
[9]	فلاديمير .ف وآخرون. مدخل الى الالكترونيات النانوية. لبنان. المنظمة العربية للترجمة؛2011
[10]	https://fastercapital.com/arabpreneur
[11]	Rm.4B-401.AT&T Bell Laboratories Holmdel,NJ07733-3030 USA
[12]	1- CHRISTOPHER H.SLOPER - THE LED GROW BOOK – LONDON – 2013
[13]	https://electronics.howstuffworks.com/led.htm
[14]	بوعبد الله محاكاة رقمية لتأثير الطبقة Sb في تقليص العيوب في الخلية الشمسية CIGS.دكتوراه في العلوم. جامعة محمد خيضر بسكرة; 2020
[15]	SILVACO International. ATLAS User's Manual device simulation software. USA. silvaco;2004
[16]	https://silvaco.com/tcad/#presentation_materials

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED KHIDER - BISKRA
Faculté des SE&SNV

Département des Sciences de la matière

Filière: Physique

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة

قسم :علوم المادة

شعبة :الفيزياء

تصريح شرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث

(ملحق القرار 1082 المؤرخ في 2021/12/27)

أنا الممضي أسفله،

السيد(ة): حمامة ابتسام

الصفة: طالب سنة ثانية ماستر فيزياء تخصص: مغناطيس عازل اهتزاز

الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 203754873 الصادرة بتاريخ: 2018/11/22

المسجل بكلية: العلوم الدقيقة و ع ط قسم: علوم المادة

والمكلف بانجاز أعمال بحث : مذكرة ماستر في الفيزياء

عنوانها: تأثير بعض المعايير الكهربية على الخصائص الكهربائية والعزلية للمنتجات المعزولة

أصرح بشرفي أني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه وفق ما ينص عليه القرار رقم 1082 المؤرخ في 2021/12/27 المحدد للقواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية ومكافحتها.

التاريخ: 2024/02/22

إمضاء المعني بالأمر