الفصل الخامس

الاستنتاجات *Conclusion*

يعتبر علم أشباه الموصلات من العلوم الرائدة في مجال التطور التكنولوجي بصفة عامة وفي مجال الالكترونيات بصفة خاصة ، ويلقي هذا العلم اهتماماً خاصاً وكبيراً لتنوع تطبيقاته وتعدد مجالاته.

لذا كان البحث عن مواد جديدة شبه موصلة بلورية ذات كفاءة عالية وخصائص مميزة مطلبا يمليها علينا التطور التقني بهدف تحسين وتطوير الصناعات الالكترونية واختراع أجهزة و معدات وآلات غير معروفة في الوقت الحالي ، مما دفع العلماء والباحثين وخبراء التكنولوجيا إلى الاتجاه إلى دراسة مركبات أشباه موصلات تحوي عناصر من المجموعة الثالثة والسادسة من الجدول الدوري على الصورة $A^{III}B^{VI}$ في شكلها البلوري.

حظيت المركبات التي لها الصيغة $A_2^{III}B_5^{VI}$ باهتمام كثير من الباحثين ، ويرجع ذلك الاهتمام إلى التطبيقات المفيدة لتلك المواد في مجالات متعددة مثل الخلايا الشمسية وسفن الفضاء وأجهزة الاتصالات وشبكة المعلومات والكواشف الشمسية وسفن الفضاء وأجهزة الاتصالات وشبكة المعلومات والكواشف الإشعاعية والالكترونيات الضوئية والحواسب الآلية وأجهزة رصد المعلومات وغيرها من المجالات التطبيقية الهامة ، وقد تزايد الاهتمام في السنوات الأخيرة بمركبات الانديوم الشالكوجنيدية الثنائية.

اختير المركب الشالكوجنيدي الثنائي ثنائي الانديوم – خماسي التليريوم لما له من خصائص مميزة بالإضافة إلى انه لم ينال الاهتمام البحثي الكافي مما أدى إلى ندرة الأبحاث التي أجريت لدراسة بعض خواصه وانعدامها في أحيان كثيرة ، وحتى الأبحاث السابقة التي أجريت عليه لم تكن بالدرجة الكافية لإعطاء صورة واضحة عن السلوك الفيزيائي لهذا المركب مما جعل اختيارنا لهذا المركب لإجراء البحث عليه ذات أهمية عظيمة وسبق علمي بعدما تأكد لدينا بصورة واضحة ثبات واستقرار هذا المركب من خلال الدراسات التي أجريت على منحنيات الاتزان الطوري.

لذا كان هدف هذا البحث هو استخدام تصميم محلي عالي الكفاءة، سهل التشغيل بالإضافة إلى رخص تكلفته وتميزه بأنه ذو قدرة فائقة على إنماء بلورات جيدة وذات حجم مناسب في تحضير هذا المركب في صورة بلورية نقية. وهذا التصميم أغنى الباحثين عن الاعتماد على شراء بلورات شبه موصله سابقة التجهيز، بالإضافة إلى عدم توافر الكثير من البلورات شبه الموصلة الحديثة التي مازالت قيد البحث والدراسة ولم تصل بعد إلى الحيز التجاري. مما مكن طالبات البحث للدخول في هذا المجال في سابقة هي الأولى في المملكة العربية السعودية، مما مكنهم من تحضير العديد من البلورات الحديثة من المصهور مثل , $TlInSe_2$,$TlGaSe_2$,$TlGaS_2$,$TlInS_2$, In_2Se_3 ,Ga_2Te_3 وغيرها .

الأمر الذي جعل دراستهن مواكبة وملاحقة للتطور العلمي والتقني في هذا المجال. و يعتبر ذلك نقلة نوعية مهمة في مجال البحث العلمي وإضافة ذات معنى ومغزى لإعداد كوادر بحثية راقية على درجة عالية من المهارة والدقة لديهن ثقافة وحث البحث العلمي المعاصر في مجال تنوعت واتسعت تطبيقاته وتشعبت استخداماته حتى شملت جميع مناحي الحياة.

تم تحضير بلورات نقية من المركب الشالكوجنيدي الثنائي ثنائي الانـــديوم – خماســـي التليريوم باستخدام مواد على درجة عالية من النقاء تصل إلى *99.999 %* لتحضـــير هـــذه البلورات وكانـــت نســـبة الانـــديوم *26.4672%* ونســـبة التليريـــوم *73.5328%* فـــي المركب الثنائي In_2Te_5 .

بعد إجراء عملية التحضير تم التعرف على وجود المركب في طور بلوري نقـــي عـــن طريق إجراء تحليل بالأشعة السينية وأثبتت نتائج التحليل بعد مقارنتها بـــالكروت العياريـــة المعتمدة من المركز الدولي لنتائج حيود الأشعة السينية جودة البلورات المنماة وإنها للمركب المطلوب دراسته وعلى درجة عالية من النقاء.

وبعد التأكد والتحقق من جودة البلورات المنماة تم إعداد وتجهيز العينات بالمواصـــفات المطلوبة لإجراء قياسات الموصلية الكهربائية ومعامل هول في مدى واســـع مـــن درجـــات الحرارة باستخدام النيتـــروجين الســـائل لـــدرجات الحـــرارة المنخفضـــة وملـــف تســـخين لدرجات الحرارة المرتفعة تحت تفريغ مناســـب باســـتخدام كريوســـتات زجـــاجي صـــمم خصيصا لهذا الغرض.

وسنقوم باستعراض ما توصلنا إليه من نتائج:

* أجريت قياسات الموصلية الكهربائية المستمرة ومعامل هول في نفس الوقت على عينـــات بلورية من المركب In_2Te_5 في المدى الحراري من *198 K* حتى *558 K* .

وأظهرت نتائج القياسات الآتي :-

1- الموصلية الكهربائية لهذا المركب تسلك سلوك الموصـــلية الكهربائيـــة فـــي أشـــباه الموصلات وتغيرها مع درجة الحرارة.

2- أمكن تحديد نوعية التوصيل الحادث والذي وجد انه يتم بواسطة حوامل التيار الحرة وهي الفجوات وقد تم تحديد موضع مستوى الشوائب والتي وجد أنها تقع على بعد $0.14\ eV$ من قمة منطقة التكافؤ.

3- وجد أن الموصلية عند درجة حرارة الغرفة للمركب البلوري In_2Te_5 تساوي $14.7X10^{-2}\ (\Omega.cm)^{-1}$ وعينت قيمة انسياقية حوامل التيار الأغلبية ووجد أنها تساوي $6.866X10^{3}\ cm^2/V.sec$ كما تم حساب تركيز حوامل التيار الحرة عند درجة حرارة الغرفة فوجدت تساوي $1.3X10^{14}\ cm^{-3}$.

4- بحثت العلاقات بين الموصلية الكهربائية ، معامل هول ، تركيز حوامل التيار وأيضا انسياقية حوامل التيار ودرجة الحرارة وتم تفسير وتحليل ومناقشة النتائج في ضوء النظريات والعلاقات الرياضية التي تحكم وتعالج تلك الظواهر .

5- أمكن تعيين اتساع النطاق المحظور ووجد أنه يساوي $0.88\ eV$.

6- أمكن التعرف على ميكانيكية التبعثر الحادث لحوامل التيار في مختلف درجات الحرارة.

* أجريت قياسات القدرة الكهروحرارية في غرفة تشغيل نحاسية اسطوانية الشكل مفرغة تم تنفيذ تصميمها لهذا الهدف وتسمح بإجراء القياسات في المدى الحراري الممتد من $153K$ حتى $450K$ وأظهرت نتائج القياسات ما يلي :

1- أكدت النتائج ما أظهرته قياسات هول من وجود شوائب مستقبلة أي أن التوصيل يتم بواسطة الثقوب الموجبة.

2- أمكن تحديد قيمة حركية حوامل التيار الأقلية (الالكترونات) فوجدت أنها تساوي $8.53X10^{3}cm^2/V.sec$.

3- تم تعيين الكتلة الفعالة للالكترونات والثقوب للمركب ثنائي الانديوم خماسي التليريوم فوجد أنها تساوي $1.57X10^{-39}\ Kg$ للالكترونات و $2.42X10^{-38}\ Kg$ للثقوب.

4- تم حساب زمن الاسترخاء لحوامل التيار الأقلية والأغلبية عند درجة حرارة الغرفة فوجد أنه يساوي $\tau_p = 1.038\times10^{-15}\ sec$ و $\tau_n = 8.4X10^{-17} sec$.

5- كما تم حساب معامل انتشار الالكترونات والثقوب عند درجة حرارة $300K$ فوجدت تساوي $D_n=221.3\ cm^2/sec$، $D_p=177.6\ cm^2/sec$

6- وجد أن قيمة القدرة الكهروحرارية عند درجة حرارة الغرفة تساوي $\alpha = 7.4285\ \mu V/K$ و تم تعيين طول مسار الانتشار لحوامل التيار الحرة لكل من الثقوب والالكترونات عند درجة حرارة الغرفة $L_p = 4.29\times10^{-7}\ cm$ و $L_n = 1.36\times10^{-7}\ cm$ على الترتيب .

7- قيمة الاستحقاق الكهروحراري للمركب البلوري الثنائي الشالكوجنيدي ثنائي الانديوم خماسي التليريوم أمكن تقديرها $Z = 6.2\times10^{-11}\ K^{-1}$ ووجدت أنها تقع في المدى الذي يسمح باستعماله كعنصر كهروحراري جيد.

* شملت الدراسة على هذا المركب البلوري الثنائي الشالكوجنيدي ثنائي الانديوم خماسي التليريوم البحث في ظاهرة القطع والتوصيل وتم التعرف على العوامل التي تتحكم في حدوث هذه الظاهرة وميكانيكية نشوئها.

وأبرزت نتائج القياسات الملاحظات التالية :

1- حدوث ظاهرة القطع والتوصيل مع وجود ذاكرة لهذا المركب البلوري الثنائي الشالكوجنيدي ثنائي الانديوم-خماسي التليريوم.

2- شكل المنحنيات يوحي بأنها من النوع المعروف بالشكل *S-Shape* وأنها متماثلة سواء قبل عكس أقطاب البطارية أو بعد عكس الأقطاب، و أن هناك منطقة تعرف بالمقاومة التفاضلية السالبة *CCNR*.

3- إن العناصر التالية(جهد العتبة V_{th} وتيار العتبة i_{th} وجهد الإمساك V_h وتيار الإمساك i_h وقدرة العتبة P_{th} والنسبة بين مقاومة المادة وهي في حالتها العالية (حالة القطع) إلى مقاومتها في الحالة المنخفضة (حالة التوصيل) كل هذه العناصر تتأثر تأثراً واضحاً بدرجة حرارة الجو المحيط بالعينة.

4- لوحظ احتفاظ المادة بحالتها الأخيرة (التوصيل العالي) لفترة زمنية حيث أنه من الممكن أن تبقى النبيطة على هذه الحالة دون حدوث أي تغيير في قيمة المقاومة ولا تزول هذه الحالة إلا تحت مؤثرات خاصة.

5- أثبتت الدراسات التي أجريت اعتماد جهد العتبة وتيار العتبة وجهد الإمساك وتيار الإمساك وقدرة العتبة والنسبة بين مقاومة القطع إلى مقاومة التوصيل على شدة الاستضاءة المسلطة على العينة.

6- حساسية عناصر ظاهرة القطع والتوصيل لتغير سمك العينة تحت الاختبار أمكن دراسته أيضاً.

7- أمكن تحليل وتفسير ومناقشة العوامل المؤثرة على هذه الظاهرة مما أمكن إلقاء الضوء على ميكانيكية نشوء هذه الظاهرة.

وحدوث ظاهرة القطع والتوصيل مع وجود ذاكرة في هذا المركب قيد البحث يضيف له أهمية تقنية خاصة حيث يمكن استخدامها في صنع مفاتيح وعناصر ذاكرة في الأجهزة الالكترونية.

وتعتبر هذه الدراسة هي الأولى من نوعها على هذا النوع من المركبات بالإضافة إلـــى أن هذا المركب من المركبات التي تعتبر من أحدث المواد الشبه الموصلة التي تجرى عليها دراسات في الوقت الحالي تمهيداً لاستخدامها في الحاسبات الالكترونية والأقمار الصـــناعية والأجهزة الالكترونية والآلات الحاسبة والساعات والشاشات الرقمية وأجهزة التحكم عن بعد وأجهزة المراقبة والاستطلاع والاستشعار عن بعد والكواشف الإشـــعاعية وغيرهـــا مـــن الأجهزة العلمية والمنزلية الحديثة.

ومن خلال دراستنا التي أشرنا إليها باختصار يتضح أنه عن طريق تحضير عينات بلوريـــة للمركب البلوري المختار بعناية باستخدام تصميم متميز ودراسة خواصه أمكن إلقاء الضـــوء على معظم العناصر الفيزيائية الهامة لهذا المركب وهو من المركبات شبه الموصلة الواعدة التي تبشر بمستقبل باهر وهذه الخواص تعزز إمكان استخدام هذا المركب في الكثيـــر مـــن التطبيقات العملية الهامة مثل بطاريات الطاقة الشمسية ومولدات الطاقة الكهربائيـــة وعمـــل وصلات ثنائية وتصنيع الترانزستور والدارات المتكاملة ومركبات الفضاء ومبردات وثلاجات أشباه الموصلات ومعظم الأجهزة الالكترونية المعاصرة .