كيمياء الحالة الصلبة الأساسية

Basic Solid State Chemistry

الجزء الأول

تأليف

أنتوني وست

Anthony R. West

قسم هندسة المواد – جامعة شافيلد

سابقاً من قسم الكيمياء – جامعة أبردين

ترجمة

أ.د. رفعت بن محمد محفوظ

أستاذ الكيمياء غير العضوية

أ.د. خالد بن عبد الرحمن الفرحان

أستاذ الكرستالوجرافيا – كيمياء غير عضوية

قسم الكيمياء– كلية العلوم – جامعة الملك سعود

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

ح جامعة الملك سعود، ١٤٣٠هـ (٢٠٠٩م)

هذه ترجمة عربية مصرح بها من مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Basic Solid State Chemistry

By: Anthony R. West

© John Wiley & Sons, Ltd, England 1999

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

وست، انتوني

كيمياء الحالة الصلبة الأساسية./ انتوني وست؛ رفعت محمد محفوظ؛ خالد بن عبدالرحمن الفرحان.- الرياض، ١٤٣٠هـ

٢مج.

٤٠٤ ص، ١٧×٢٤سم.

ردمك: ٦-٤٩٧-٥٥-٩٩٦٠-٩٧٨ (مجموعة)

٣-٤٩٨-٥٥-٩٩٦٠-٩٧٨ (ج١)

١- الكيمياء غير العضوية أ. محفوظ، رفعت محمد (مترجم) ب. الفرحان، خالد بن عبدالرحمن (مترجم) ج. العنوان

ديوي ٥٤٦ ١٤٣٠/٣٩٢٤

رقم الإيداع: ١٤٣٠/٣٩٢٤

ردمك: ٦-٤٩٧-٥٥-٩٩٦٠-٩٧٨ (مجموعة)

٣-٤٩٨-٥٥-٩٩٦٠-٩٧٨ (ج١)

حكمت هذه الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس العلمي على نشره، بعد اطلاعه على تقارير المحكمين، في اجتماعه التاسع عشر للعام الدراسي ١٤٢٨/١٤٢٩هـ المعقود بتاريخ ١٤٢٩/٦/١٨هـ الموافق ٢٠٠٨/٦/٢٢م.

النشر العلمي والمطابع ١٤٣٠هـ

مقدمة المترجمين

يعد كتاب كيمياء الحالة الصلبة الأساسية أهم الكتب التي ظهرت في الفترة الأخيرة في هذا المجال ؛ نظراً لما يحتويه من معلومات ثرية وحديثة عن تركيب الحالة الصلبة للمادة، وطرق تشييدها، ومحاليل الحالة الصلبة وتطبيقاتها وغيرها من المواضيع ذات الأهمية الكبيرة في مجال التطبيقات العملية والتكنولوجية مثل المواد المغناطيسية وأشباه الموصلات والمواد فائقة التوصيل الكهربائي والبطاريات القابلة لإعادة الشحن والتي تستخدم بكثرة في صناعة الأجهزة الحديثة كالحاسبات الآلية وأجهزة الاتصالات وغيرها. كما يحتوي الكتاب على شرح لمعظم التقنيات التي تستخدم في دراسة المواد الصلبة خصوصاً تقنية حيود الأشعة السينية والتي أفرد لها المؤلف الفصل الثالث بكامله.

ونظراً لافتقار المكتبة العربية إلى وجود مراجع أو كُتب جامعية مقررة في هذا المجال فقد رأينا أنه من الواجب أن نقوم بترجمة هذا الكتاب المهم ليكون مرجعاً مفيداً لكل المهتمين بهذا النوع من الدراسة سواءً لطلاب مرحلة البكالوريوس أم طلاب الدراسات العليا أم الباحثين في مجالات الكيمياء، الفيزياء، الجيولوجيا، الهندسة الكيميائية، وعلوم المواد.

وإذ نقدم هذا العمل المتواضع فإننا في الوقت نفسه نرحب بأي اقتراح موضوعي من شأنه أن يقدم إضافة مفيدة إلى هذا العمل.

والله من وراء القصد وهو الهادي إلى سواء السبيل.

المترجمان

مقدمة الطبعة الثانية

كانت الطبعة الأولى من كتاب **كيمياء الحالة الصلبة الأساسية** المنشورة في عام ١٩٨٨م نسخة مُختصرة لكتاب المؤلف **كيمياء الحالة الصلبة وتطبيقاتها**. وفي الوقت الذي كُتب فيه هذين الكتابين، كانت كيمياء الحالة الصلبة تلقى عرض محدود في معظم مقررات المرحلة الجامعية وقد ساعدا هذين الكتابين في إعطاء المادة نوع من التجانس والهوية الخاصة كمادة متميزة عن فيزياء الحالة الصلبة وعلم المواد. في الفترة منذ منتصف الثمانينيات، قد شاهدنا تقدمات علمية ضخمة في المواد غير العضوية، مشتملة على اكتشاف مواد فائقة التوصيل ذات Tc عالية، شكل جديد للكربون C_{60} والفولرينات والفولريدات المصاحبة له والتطور التجاري لبطارية الليثيوم القابلة لإعادة الشحن. تقع كيمياء الحالة الصلبة في قلب هذه الاكتشافات وعدد لا يحصى من التطورات الأخرى في التشييد، وتحديد البنية، وقياسات الخواص وتطبيقات المواد غير العضوية. لهذا كانت الطبعة الثانية من كتاب **كيمياء الحالة الصلبة الأساسية** عصرية، خاصة لإدخال بعض من هذه التطورات الحديثة.

حُفظت تصاميم الفصول الثمان الأولى كما هي في الطبعة الأولى. وقد أضيفت كمية ضخمة من المعلومات الحديثة وعملت مساحة لها بتهذيب حكيم وإعادة تنظيم المادة الأولى. وقد أدخل فصل جديد، الفصل التاسع عن طرق التشييد، الذي سمح لنا أن نغطي موضوعات مهمة مثل أغشية الألماس، والسليكون اللابلوري. وقد

وسعت مجموعة الأسئلة التي في نهاية الكتاب، وأعد كتيب بالإجابات ويمكن لمدرسي المقرر الحصول عليه بالطلب من المؤلف.

ساعد أناس كثيرون بالتعليقات والاقتراحات للطبعة الثانية هذه، وأنا شاكر لهم جداً. شكر خاص لمارجريت ماك هاتي Margaret McHattie للعمل السكرتاري الجليل، وستيف بلاك Steve Black الذي قام بإعداد عديد من الرسومات.

المؤلف

أنتوني ر. وست

جامعتي أبردين وشيفلد

أبريل ١٩٩٩

المحتويات

الصفحة

مقدمة المترجمين ..... هـ

مقدمة الطبعة الثانية ..... ز

الجزء الأول

الفصل الأول: التراكيب البلورية ١

(١,١) خلايا وحدة التركيب والأنظمة البلورية ١

(١,٢) التناظر ٦

(١,٣) التناظر واختيار خلية وحدة التركيب ١٠

(١,٤) الشبكية، وشبكيات برافي ١٣

(١,٥) المستويات الشبكية ومعاملات ميلّر ١٥

(١,٦) معاملات الاتجاهات ١٩

(١,٧) الصيغة الرياضية للمسافة- d ١٩

(١,٨) كثافة البلورات ومحتويات خلية وحدة التركيب ٢٠

(١,٩) وصف التراكيب البلورية ٢٣

(١,١٠) التراكيب ذات التراص المحكم- المكعبي والسداسي محكم التراص ٢٤

(١,١١) العلاقة بين التركيب المكعبي محكم التراص والمكعبي ممركز الوجوه.....٢٨
(١,١٢) خلية وحدة التركيب السداسية والتراص المحكم ٢٩
(١,١٣) كثافة التراكيب محكمة التراص ٣٠
(١,١٤) الرسوم الإسقاطية لخلية وحدة التركيب والإحداثيات الذرية ٣١
(١,١٥) المواد التي يمكن وصفها على أنها محكمة التراص ٣٣
(١,١٥,١) المعادن ٣٣
(١,١٥,٢) السبائك.....٣٣
(١,١٥,٣) التراكيب الأيونية.....٣٤
(١,١٥,٣,١) المواقع رباعية وثمانية الأوجه.....٣٤
(١,١٥,٣,٢) الأحجام النسبية لرباعي وثماني الأوجه.....٣٨
(١,١٥,٣,٣) أماكن المواقع رباعية وثمانية الأوجه في خلية وحدة
التركيب fcc، حسابات طول الرابطة؛ الإحداثيات الجزئية للذرات.....٣٩
(١,١٥,٤) التراكيب الشبكية ذات الروابط التساهمية.....٤٢
(١,١٥,٥) التراكيب الجزيئية.....٤٣
(١,١٥,٦) الفولرينات والفولريدات ٤٥
(١,١٦) التراكيب المبنية من عديد الأوجه مالئ الفراغ.....٤٧
(١,١٧) بعض أنواع التراكيب المهمة.....٥٢
(١,١٧,١) الملح الصخري (NaCl)، زنك بلند أو سفالريت (ZnS)، فلوريت
(CaF_2)، عكس الفلوريت (Na_2O).....٥٢
(١,١٧,١,١) تركيب الملح الصخري.....٥٥
(١,١٧,١,٢) تركيب الزنك بلند (سفالريت).....٥٧
(١,١٧,١,٣) تركيب الفلوريت/ عكس الفلوريت ٥٩

(١,١٧,١,٤) حسابات طول الرابطة ٦١
(١,١٧,٢) الألماس ٦٣
(١,١٧,٣) ورتزيت (ZnS) وأرزنيد النيكل (NiAs) ٦٤
(١,١٧,٤) كلوريد السيزيوم (CsCl) ٧٢
(١,١٧,٥) تراكيب أخرى من نوع AX ٧٣
(١,١٧,٦) روتيل (TiO_2) يوديد الكادميوم (CdI_2)، كلوريد الكادميوم ($CdCl_2$) وأكسيد السيزيوم (Cs_2O) ٧٤
(١,١٧,٧) بروفسكيت ($SrTiO_3$) ٨٣
(١,١٧,٧,١) معامل السماح ٨٨
(١,١٧,٧,٢) $BaTiO_3$ ٩٠
(١,١٧,٧,٣) $GdFeO_3$ ٩٠
(١,١٧,٧,٤) العلاقة بين الخواص- وانضباط نسب الذرات ٩٠
(١,١٧,٨) ثالث أكسيد الرينيوم (ReO_3) وبرونزات التنجستن ٩١
(١,١٧,٩) سبينل ٩٢
(١,١٧,١٠) تركيب السيليكات- بعض الأفكار لفهمها ٩٧
الفصل الثاني: الترابط في الجوامد ١٠٣
(٢,١) الترابط الأيوني ١٠٤
(٢,٢) الأيونات وأنصاف الأقطار الأيونية ١٠٥
(٢,٣) البنيات الأيونية- مبادئ عامة ١١٠
(٢,٤) قاعدة نسبة نصف القطر ١١٦
(٢,٥) نسب نصف القطر الوسطية والبنيات المشوهة ١٢١
(٢,٦) طاقة الشبكية للبلورات الأيونية ١٢٢

(٢,٧) معادلة كابيوستنسكي ١٣٠
(٢,٨) دورة بورن- هابر والحسابات الكيميائية الحرارية ١٣١
(٢,٩) ثباتية المركبات الأيونية الحقيقية والافتراضية ١٣٥
(٢,٩,١) مركبات الغازات الخاملة ١٣٥
(٢,٩,٢) المركبات العالية والمنخفضة التكافؤ ١٣٦
(٢,١٠) الترابط التساهمي الجزئي..... ١٣٩
(٢,١١) البنيات التناسقية عديدة البوليمرية- نموذج ساندرسون ١٤١
(٢,١١,١) الشحنة النووية الفعالة ١٤٢
(٢,١١,٢) أنصاف الأقطار الذرية..... ١٤٣
(٢,١١,٣) السالبية الكهربية والذرات المشحونة جزئياً ١٤٤
(٢,١٢) الأيونية ومخططات موسر- بيرسون ١٥١
(٢,١٣) تكافؤ الرابطة وطول الرابطة..... ١٥٤
(٢,١٤) تأثيرات الإلكترون غير الرابط (الإلكترون الحر)..... ١٥٨
(٢,١٤,١) تأثيرات الإلكترون..... ١٥٨
(٢,١٤,١,١) انفلاق المجال البلوري لمستويات الطاقة..... ١٥٨
(٢,١٤,١,٢) تشوهات جان — تللر..... ١٦٥
(٢,١٤,١,٣) تناسق المربع المستوي..... ١٦٧
(٢,١٤,١,٤) تناسق رباعي الأوجه..... ١٦٨
(٢,١٤,١,٥) التناسق الرباعي مقابل التناسق الثماني ١٦٩
(٢,١٤,٢) تأثير الزوج الخامل..... ١٧٢
(٢,١٥) الترابط المعدني ونظرية النطاق ١٧٣
(٢,١٥,١) تركيب النطاق للمعادن..... ١٨١

(٢,١٥,٢) تركيب النطاق للعوازل ١٨٢
(٢,١٥,٣) تركيب النطاق لأشباه الموصلات: السليكون ١٨٢
(٢,١٥,٤) تركيب النطاق للجوامد اللاعضوية ١٨٥
(٢,١٥,٤,١) مركبات III-V، II-VI و I-VII ١٨٥
(٢,١٥,٤,٢) مركبات العنصر الانتقالي ١٨٧
(٢,١٥,٤,٣) الفولرينات والجرافيت ١٩١
(٢,١٦) النطاقات أم الروابط: تعليق نهائي ١٩٥
الفصل الثالث: الكرستالوجرافيا وتقنيات الحيود..... ١٩٧
(٣,١) ملاحظات عامة: المواد الصلبة الجزيئية وغير الجزيئية..... ١٩٧
(٣,٢) توصيف المواد الصلبة..... ٢٠٠
(٣,٣) حيود الأشعة السينية ٢٠١
(٣,٣,١) إنتاج الأشعة السينية..... ٢٠١
(٣,٣,٢) محزز الضوء وحيود الضوء ٢٠٥
(٣,٣,٣) البلورات وحيود الأشعة السينية ٢٠٨
(٣,٣,٣,١) معادلات لاوي..... ٢٠٩
(٣,٣,٣,٢) قانون براج..... ٢١٠
(٣,٣,٤) طرق حيود الأشعة السينية ٢١٢
(٣,٣,٥) طريقة المسحوق- المبادئ والاستخدامات ٢١٣
(٣,٣,٦) أجهزة قياس حيود المسحوق..... ٢١٧
(٣,٣,٧) تركيز الأشعة السينية: نظرية الدائرة ٢١٩
(٣,٣,٨) البلورات موحدات اللون ٢٢٠
(٣,٣,٩) كاميرات جينير مركزة الأشعة..... ٢٢١

(٣,٣,١٠) طيف حيود مسحوق الطور المتبلور هو بصمته..... ٢٢٣
(٣,٣,١١) الشدد الضوئية ٢٢٤
(٣,٣,١١,١) تشتت الأشعة السينية بواسطة الذرة: معامل التشتيت الذري .. ٢٢٥
(٣,٣,١١,٢) تشتت الأشعة السينية بواسطة البلورة – الغيابات النظامية ٢٢٨
(٣,٣,١١,٣) الصيغة العامة لفرق الطور..... ٢٣٢
(٣,٣,١١,٤) الشدد الضوئية ومعاملات التركيب..... ٢٣٥
(٣,٣,١١,٥) المعامل– R وتحديد التركيب..... ٢٤٠
(٣,٣,١٢) خرائط الكثافة الإلكترونية ٢٤٢
(٣,٣,١٣) الكرستالوجرافيا بالأشعة السينية وتحديد التركيب – ماذا تتطلب؟.... ٢٤٤
(٣,٣,١٣,١) طريقة باترسون ٢٤٨
(٣,٣,١٣,٢) طُرق فورير..... ٢٤٩
(٣,٣,١٣,٣) الطرق المباشرة..... ٢٥٠
(٣,٤) حيود الإلكترونات..... ٢٥٠
(٣,٥) حيود النيوترونات..... ٢٥٢
(٣,٥,١) تحديد التركيب البلوري ٢٥٤
(٣,٥,٢) تحليل التركيب المغناطيسي ٢٥٤
(٣,٥,٣) التشتت غير المرن، الأشكال الهينة وتحولات الأطوار..... ٢٥٧
الفصل الرابع: تقنيات أخرى: المجهرية، الطيفية، التحليل الحراري ٢٥٩
(٤,١) التقنيات الطيفية..... ٢٥٩
(٤,١,١) المجهرية البصرية ٢٥٩
(٤,١,١,١) المجهر الاستقطابي..... ٢٦٠
(٤,١,١,٢) مجهر الضوء المنعكس ٢٦٣
(٤,١,١,٣) تطبيقات ٢٦٣

(٤,١,٢) المجهر الإلكتروني ٢٦٧
(٤,١,٢,١) شكل الدقيقة وشحنتها، النسيج وتفاصيل السطح..... ٢٧٢
(٤,١,٢,٢) عيب البلورة..... ٢٧٢
(٤,١,٢,٣) الترسيب وانتقالات الطور ٢٧٣
(٤,١,٢,٤) التحليل الكيميائي..... ٢٧٣
(٤,١,٢,٥) تحديد التركيب ٢٧٣
(٤,٢) التقنيات الطيفية..... ٢٧٥
(٤,٢,١) الطيف الاهتزازي : الأشعة تحت الحمراء IR ورامان Raman.... ٢٧٧
(٤,٢,٢) الطيفية المرئية وفوق البنفسجية ٢٨٠
(٤,٢,٢,١) دراسات تركيبية على الزجاج..... ٢٨٤
(٤,٢,٢,٢) دراسة مواد الليزر..... ٢٨٤
(٤,٢,٣) طيفية الطنين النووي المغناطيسي..... ٢٨٥
(٤,٢,٤) طيفية طنين غزل الإلكترون ESR ٢٨٩
(٤,٢,٥) طيفيات الأشعة السينية XRF, AEFS, EXAFS..... ٢٩٣
(٤,٢,٥,١) تقنيات الانبعاث ٢٩٤
(٤,٢,٥,٢) تقنيات الامتصاص ٢٩٧
(٤,٢,٦) طيفيات الإلكترون ESCA, XPS, UPS, AES, EELS ٣٠٢
(٤,٢,٧) طيفية الموسبور..... ٣٠٨
(٤,٣) التحليل الحراري ٣١٢
(٤,٣,١) التحليل الحراري الوزني TG..... ٣١٣
(٤,٣,٢) التحليل الحراري التفاضلي DTA والمسح التفاضلي المسعري DSC ٣١٤
(٤,٣,٣) تطبيقات ٣١٧

الفصل الخامس: عيوب البلورات، عدم انضباط نسب الذرات، والمحاليل الصلبة ٣٢٥
(٥,١) البلورات التامة وغير تامة الانتظام ٣٢٥
(٥,٢) أنواع العيوب: العيوب النقطية ٣٢٨
(٥,٢,١) عيب شوتكي ٣٢٩
(٥,٢,٢) عيب فرنكل..... ٣٣٠
(٥,٢,٢,١) ترميز كروجر- فينك لعيوب البلورات..... ٣٣١
(٥,٢,٢,٢) ثرموديناميكا تكوّن عيوب شوتكي وفرنكل..... ٣٣٢
١- عيوب شوتكي ٣٣٣
٢- عيوب فرنكل ٣٣٥
(٥,٢,٣) مراكز الألوان..... ٣٣٨
(٥,٢,٤) الفجوات والخلاليات في البلورات غير منضبطة نسب الذرات: العيوب الدخيلة والذاتية ٣٤١
(٥,٢,٥) تجمع أو تعنقد العيوب..... ٣٤٢
(٥,٢,٦) تبادل الذرات: ظاهرة الانتظام وعدم الانتظام..... ٣٤٧
(٥,٣) المحاليل الصلبة..... ٣٤٩
(٥,٣,١) المحاليل الصلبة الاستبدالية ٣٤٩
(٥,٣,٢) المحاليل الصلب الخلاّلية ٣٥٥
(٥,٣,٣) آليات محلول صلب أكثر تعقيداً: إحلال مختلف التكافؤ..... ٣٥٧
(٥,٣,٣,١) آليات تعويض أيوني..... ٣٥٨
١- تكوين فجوات كاتيون..... ٣٥٨
٢- تكوين أنيونات خلاّلية ٣٥٩
٣- تكوين فجوات أنيون ٣٦٠

٤- تكوين كاتيونات خلاّلية ٣٦١
٥- استبدال مزدوج ٣٦١
(٥,٣,٣,٢) آليات تعويض إلكترونية: معادن، أشباه موصلات وموصـــلات فائقة التوصيل ٣٦٣
(٥,٣,٤) مزيد من التعليقات على متطلبات تكوّن المحلول الصلب ٣٦٦
(٥,٣,٥) الطرق التجريبية لدراسة المحاليل الصلبة ٣٦٨
(٥,٣,٥,١) حيود الأشعة السينية من المسحوق ٣٦٨
(٥,٣,٥,٢) قياسات الكثافة ٣٧٠
(٥,٣,٥,٣) تغيرات في خواص أخرى- النشاط الحراري وDTA ٣٧٣
(٥,٤) العيوب الممتدة ٣٧٤
(٥,٤,١) تركيبات قص كريستالوجرافية ٣٧٤
(٥,٤,٢) خطأ التراص ٣٧٨
(٥,٤,٣) حدود حبة ثانوية ونطاقات عكس الطور (حدود) ٣٧٩
(٥,٥) الانخلاعات والخواص الميكانيكية للجوامد ٣٨٠
(٥,٥,١) انخلاعات حافية ٣٨١
(٥,٥,٢) انخلاعات لولبية ٣٨٤
(٥,٥,٣) أنشوطات انخلاع ٣٨٥
(٥,٥,٤) رصد الانخلاعات ٣٨٩
(٥,٥,٥) الانخلاعات والتركيب البلوري ٣٩١
(٥,٥,٦) خواص المعادن الميكانيكية ٣٩٣
(٥,٥,٧) انخلاعات، فجوات وأخطاء التراص ٣٩٧
(٥,٥,٨) الانخلاعات وحدود الحبات ٤٠٢

الجزء الثاني

الفصل السادس: تفسير مخططات الطور ٤٠٥
(٦,١) قاعدة الطور، الأطوار، المكونات، ودرجات الطلاقة والاتزان ٤٠٥
(٦,٢) أنظمة أحادي المكوّن ٤١١
(٦,٢,١) نظام الماء ٤١٣
(٦,٢,٢) نظام SiO_2 ..... ٤١٤
(٦,٢,٣) الأنظمة أحادية المكوّن المكثفة ٤١٦
(٦,٣) الأنظمة المكثفة ثنائية المكوّن ٤١٦
(٦,٣,١) نظام أصهري بسيط ٤١٧
(٦,٣,١,١) التسّيل والتجمد ٤١٩
(٦,٣,١,٢) أصهريّ ٤١٩
(٦,٣,١,٣) قاعدة الرافعة ٤٢٠
(٦,٣,١,٤) تفاعل أصهري ٤٢٢
(٦,٣,١,٥) التسيل، ذوبانيات التشبع وانخفاض درجة التجمد ٤٢٣
(٦,٣,٢) أنظمة ثنائية مع مركبات ٤٢٣
(٦,٣,٢,١) انصهار متطابق ٤٢٣
(٦,٣,٢,٢) الانصهار اللا متطابق، نقطة الانصهار اللا متطابق، تفاعل الانصهار اللا متطابق ٤٢٥
(٦,٣,٢,٣) تأثيرات عدم الاتزان ٤٢٦
(٦,٣,٢,٤) الحدود الدنيا والعليا للثبات ٤٢٦
(٦,٣,٣) الأنظمة المزدوجة مع محاليل صلبة ٤٢٧
(٦,٣,٣,١) محلول صلب تام ٤٢٧

(٦,٣,٣,٢) التبلور التجزيئي ٤٢٩
(٦,٣,٣,٣) النهايات الحرارية العظمى والدنيا ٤٣٠
(٦,٣,٣,٤) أنظمة المحلول الصلب الجزئي ٤٣١
(٦,٣,٤) أنظمة ثنائية بانتقالات طور صلب– صلب ٤٣٥
(٦,٣,٥) أنظمة مزدوجة بانتقالات طور ومحاليل صلب: أصهراني (يوتكتيـــد) وغير متطابق الانصهار (بريتكتيد)..... ٤٣٦
(٦,٣,٦) أنظمة مزدوجة بلا امتزاج سائل $MgO\text{-}SiO_2$ ٤٣٨
(٦,٣,٧) بعض مخططات الطور المهمة تكنولوجياً ٤٤٠
(٦,٣,٧,١) نظام Fe-C: صنع الحديد والأستيل (الفولاذ الصلب) ٤٤٠
(٦,٣,٧,٢) النظام $CaO\text{-}SiO_2$: صناعة الأسمنت ٤٤٢
(٦,٣,٧,٣) النظام Na-S: بطاريات Na / S ٤٤٣
(٦,٣,٧,٤) النظام $Na_2O\text{-}SiO_2$: صُنع الزجاج..... ٤٤٣
(٦,٣,٧,٥) النظام $Li_2O\text{-}SiO_2$: فصل طور حرج الاستقرار والأوبالات المشيدة ٤٤٦
(٦,٣,٧,٦) تنقية أشباه موصلات Si بتكرير النطاق ٤٤٧
(٦,٣,٧,٧) النظام $ZrO_2\text{-}Y2O_3$: الكتروليت أكسيد الزركونيوم (الزركونيا) المستقرة بأكسيد اليتريوم (أتريا) ٤٤٨
الفصل السابع: الخواص الكهربية ٤٥١
(٧,١) استقصاء الخواص الكهربية والمواد الكهربية ٤٥١
(٧,٢) الموصلية الفلزية: الفلزات العضوية ٤٥٥
(٧,٢,١) أنظمة مترافقة..... ٤٥٦
(٧,٢,١,١) بولي استيلين مشاب..... ٤٥٦

(٧,٢,١,٢) البولي بارافنيلين والبولي بيرول ٤٥٩
(٧,٢,٢) معقدات انتقال شحنة عضوية ٤٦٠
(٧,٣) الموصلية الفائقة ٤٦٢
(٧,٣,١) خاصية المقاومة صفر ٤٦٣
(٧,٣,٢) الدايا مغناطيسية التامة: تأثير ميسنر ٤٦٤
(٧,٣,٣) الحرارة الحرجة T_c، المجال الحرج H_c والتيار الحرج J_c ٤٦٧
(٧,٣,٤) الموصلات فائقة التوصيل نمط I، نمط II، الحالة الدوامة (المختلطة).... ٤٦٧
(٧,٣,٥) مسح للمواد الفائقة التوصيل ٤٦٨
(٧,٣,٦) الكيمياء البلورية لبيروفسكيت نحاسي ٤٧١
(٧,٣,٧) $YBa_2Cu_3O_7$ ٤٧٥
(٧,٣,٧,١) تركيب بلوري ٤٧٥
(٧,٣,٧,٢) تكافؤات الذرة وآلية التوصيل الفائق..... ٤٧٧
(٧,٣,٧,٣) محتوى الأكسجين δ في $YBa_2Cu_3O_\delta$..... ٤٧٩
(٧,٣,٧,٤) تقدير محتوى الأكسجين δ..... ٤٨٢
(٧,٣,٨) الفلليريدات..... ٤٨٣
(٧,٣,٨,١) تطبيقات الموصلات فائقة التوصيل..... ٤٨٤
(٧,٤) شبه الموصلية..... ٤٨٥
(٧,٤,١) السيليكون المشاب ٤٨٧
(٧,٤,٢) أشباه موصلات أخرى ٤٩٠
(٧,٤,٣) تطبيقات ٤٩٣
(٧,٥) الموصلية الأيونية..... ٤٩٥
(٧,٥,١) هاليدات القلويات: توصيل شغرة ٤٩٦

(٧,٥,١,١) طاقة التنشيط لنط الأيون: اعتبارات هندسية..... ٤٩٨
(٧,٥,١,٢) الموصلية الأيونية لبلورات NaCl ٥٠٢
(٧,٥,١,٣) موصلية دخيلة في NaCl، محكومة بإشابة مغايرة التكافؤ... ٥٠٥
(٧,٥,٢) كلوريد الفضة: توصيل خلاليّ ٥٠٧
(٧,٥,٣) فلوريدات القلويات الأرضية ٥١١
(٧,٥,٤) إلكتروليتات صلبة (أو موصلات أيون سريع، موصلات فائقة أيونية) ...٥١٢
(٧,٥,٤,١) اعتبارات عامة..... ٥١٢
(٧,٥,٤,٢) ألومينا β والناسكون ٥١٧
(٧,٥,٤,٣) الإلكتروليتات الصلبة AgI وأيون Ag^+ ٥٢٦
(٧,٥,٤,٤) موصلات أنيون..... ٥٣٠
(٧,٥,٤,٥) موصلات أيون Li^+ ٥٣٣
(٧,٥,٤,٦) موصلات بروتون..... ٥٤٠
(٧,٥,٤,٧) موصلات أيونية/إلكترونية مختلطة..... ٥٤١
(٧,٥,٤,٨) تطبيقات إلكتروليتات الصلب والموصلات المختلطة ٥٤٣
(٧,٦) مواد عازلة ٥٥٥
(٧,٧) الفرّوكهربية ٥٥٧
(٧,٨) الكهربية الحرارية..... ٥٦٧
(٧,٩) الكهربية الضغطية ٥٦٨
(٧,١٠) تطبيقات الفرّوكهربية، الكهربية الحرارية، والكهربية الضغطية ٥٦٩
الفصل الثامن: خواص مغناطيسية وضوئية..... ٥٧٣
(٨,١) الخواص المغناطيسية ٥٧٣
(٨,١,١) سلوك المواد في المجال المغناطيسي ٥٧٥

(٨,١,٢) تأثيرات الحرارة: قوانين كيوري وكيوري- ويس ٥٧٧
(٨,١,٣) حساب العزوم المغناطيسية ٥٧٩
(٨,١,٤) آليات تنظيم الفرّومغناطيسية والفرّومغناطيسية المضادة: تبادل مفرط ٥٨٣
(٨,١,٥) بعض تعريفات أكثر ٥٨٥
(٨,١,٦) أمثلة مختارة من المواد المغناطيسية، بنياتها وخواصها ٥٨٧
(٨,١,٦,١) الفلزات والسبائك ٥٨٧
(٨,١,٦,٢) أكاسيد العنصر الانتقالي الأحادية ٥٩٤
(٨,١,٦,٣) أكاسيد عنصر انتقالي ثنائية ٥٩٥
(٨,١,٦,٤) السبينلات (الأكاسيد المختلطة) ٥٩٦
(٨,١,٦,٥) العقيق الأحمر ٦٠٠
(٨,١,٦,٦) المنيت والبيروڤسكيت ٦٠٣
(٨,١,٦,٧) رصاصيت مغناطيسي ٦٠٥
(٨,١,٧) تطبيقات علاقات تركيب- خاصية ٦٠٥
(٨,١,٧,١) قلوب المحول ٦٠٦
(٨,١,٧,٢) تخزين معلومات ٦٠٧
(٨,١,٧,٣) أجهزة ذاكرة الفقاعة المغناطيسية ٦٠٨
(٨,١,٧,٤) المغناطيسيات الدائمة ٦٠٨
(٨,٢) خواص ضوئية: تألق وليزرات ٦٠٩
(٨,٢,١) التألق والفسفرة ٦٠٩
(٨,٢,٢) نموذج التناسق التشكيلي ٦١٢
(٨,٢,٣) بعض المواد المتفسفرة ٦١٥
(٨,٢,٤) متفسفرات ستوكس- مضادة ٦١٧

(٨,٢,٥) الليزرات ٦١٨
(٨,٢,٥,١) ليزر الياقوت ٦١٩
(٨,٢,٥,٢) ليزرات النيوديميوم..... ٦٢١
الفصل التاسع: طرق التشييد ٦٢٣
(٩,١) مشاهد عامة..... ٦٢٣
(٩,٢) تفاعل الحالة الصلبة أو كلس بالتحميص ٦٢٣
(٩,٢,١) تنوي ونمو، نمو (بلوري) فوقي وانتحاء..... ٦٢٥
(٩,٢,٢) أمثلة من تفاعلات الحالة الصلبة ٦٣٠
(٩,٢,٢,١) Li_4SiO_4..... ٦٣٠
(٩,٢,٢,٢) $YBa_2Cu_3O_7$..... ٦٣١
(٩,٢,٢,٣) ألومينا "Naβ/ β..... ٦٣١
(٩,٢,٣) مشكلة: كيف تجانس مخاليط التفاعل طرق أو وسائل شيمي دوس .. ٦٣٢
(٩,٣) طرق صُل- جل ٦٣٣
(٩,٣,١) تشييد $MgAl_2O_4$..... ٦٣٤
(٩,٣,٢) تشييد زجاج السيليكا..... ٦٣٥
(٩,٣,٣) تدويم ألياف الألومينا..... ٦٣٥
(٩,٣,٤) تحضير اكسيد إنديم قصدير (ITO) والغُلالات الأخري ٦٣٦
(٩,٣,٥) فبركة السيراميك YSZ ٦٣٦
(٩,٣,٦) تشييد الزيوليت..... ٦٣٧
(٩,٣,٧) تحضير مواد سحج بأساس ألومينا..... ٦٣٨
(٩,٣,٨) تحضير موصل فائق التوصيل YBCO ٦٣٨
(٩,٤) استعمال بشائر متجانسة، أحادية المصدر..... ٦٣٨

(٩,٥) التشييد الحراري المائي ٦٤٠
(٩,٦) الإقحام وعدم الإقحام..... ٦٤٢
(٩,٧) نقل طور بخار ٦٤٥
(٩,٧,١) تحضير Ca_2SnO_4 ..... ٦٤٩
(٩,٧,٢) تحضير كروميت النيكل..... ٦٤٩
(٩,٧,٣) تحضير سلسيد النيوبيوم ٦٤٩
(٩,٧,٤) تحضير سلفيد الألومنيوم ٦٥٠
(٩,٧,٥) تحضير Cu_3TaSe_4 ..... ٦٥٠
(٩,٧,٦) تحضير تنجستات الزنك ٦٥٠
(٩,٨) تحضير أغشية رقيقة، طرق كهروكيميائية، ترسيب بخار كيميائي، رشرشة وسحج بالليزر ٦٥١
(٩,٨,١) طرق كهروكيميائية..... ٦٥١
(٩,٨,١,١) ترسيب مهبطي ٦٥١
(٩,٨,١,٢) ترسيب لا كهربي..... ٦٥١
(٩,٨,١,٣) أكسدة مصعديه ٦٥٢
(٩,٨,٢) أكسدة حرارية ٦٥٢
(٩,٨,٣) ترسيب بخار كيميائي ٦٥٢
(٩,٨,٣,١) السيليكون اللا بلوري..... ٦٥٥
(٩,٨,٣,٢) أغشية الألماس ٦٥٨
(٩,٨,٤) الرش والتبخر..... ٦٦١
(٩,٩) تشييد الاحتراق..... ٦٦٣
(٩,١٠) نمو البلورة ٦٦٤

(٩,١٠,١) طريقة شيزوشرالسكي..... ٦٦٤
(٩,١٠,٢) طرق بردجمان وأستوكبارجر..... ٦٦٥
(٩,١٠,٣) انصهار منطقة ٦٦٧
(٩,١٠,٤) الترسيب من محاليل أو طريقة صهر: سريان ٦٦٨
(٩,١٠,٥) طريقة انصهار لهب لفيرنويل..... ٦٦٨
(٩,١١) طرق الضغط العالي..... ٦٦٩
(٩,١١,١) تطبيقات: تشييد تراكيب بلورية غير مألوفة ٦٦٩
قراءات إضافية **٦٧١**
الملحق الأول: المسافات بين السطوح وحجوم خلية وحدة التركيب..... ٦٧٩
الملحق الثاني: بناء نموذج..... ٦٨١
الملحق الثالث: اعتبارات هندسية في كيمياء البلورة ٦٨٥
الملحق الرابع: العناصر وبعض من خواصها..... ٦٩٠
الأسئلة..... **٦٩٢**
ثبت المصطلحات **٧١٧**
أولاً: (عربي- إنجليزي)..... ٧١٧
ثانياً: (إنجليزي- عربي)..... ٧٥٣
كشاف الموضوعات..... **٧٨٩**