بدء
بسم الله الرحمن الرحيم

# علم وتقنية النانو

تحرير

**Robert W. Kelsall  Ian W. Hamley  Mark Geoghegan**

ترجمة


**د. هادي رسام القحطاني**

قسم الفيزياء والفلك

كلية العلوم

جامعة الملك سعود

**د. خالد عيظة الزهراني**

قسم الفيزياء والفلك

كلية العلوم

جامعة الملك سعود



دار جامعة الملك سعود للنشر

KING SAUD UNIVERSITY PRESS

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح دار جامعة الملك سعود للنشر ، ١٤٣٩هـ ، ٢٠١٨م.

*فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر*

روبرت ، و.كيلسال

علم وتقنية النانو. / روبرت و.كيلسال؛ أيان و. هاملي ؛ مارك جيوغيجان؛ هادي رسام القحطاني؛ خالد عيظة الزهراني.- الرياض، ١٤٣٩هـ

٦٥٢ص؛ ١٧×٢٤سم

ردمك: ٩-٦٣١-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨

١- تقنية النانو. أ. هاملي ، أيان و. (مؤلف مشارك). ب. جيوغيجان، مارك(مؤلف مشارك). ج. القحطاني، هادي رسام(مترجم) د. الزهراني، خالد عيظة (مترجم) د. العنوان

ديوي ٥ , ٦٢٠ ١٤٣٩/٥٥٠٤

رقم الإيداع: ١٤٣٩/٥٥٠٤

ردمك : ٩-٦٣١-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Nanoscale Science and Technology
By: Robert Kelsall & Ian Hamley & Mark Geoghegan.
© John Wiley & Sons Ltd, 2005.
وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه الثامن عشر للعام الدراسي ١٤٣٧/١٤٣٨هـ المعقود بتاريخ ٢/٩/١٤٣٨هـ الموافق ٢٩/٥/٢٠١٧م.

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يسمح بإعادة نشر أي جزء من الكتاب بأي شكل وبأي وسيلة سواء كانت إلكترونية أو آلية بما في ذلك التصوير والتسجيل أو الإدخال في أي نظام حفظ معلومات أو استعادتها بدون الحصول على موافقة كتابية من دار جامعة الملك سعود للنشر.

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

# قائمة بالمشاركين

## EDITORS

**Dr Robert W. Kelsall**
Institute of Microwaves and Photonics
School of Electronic and Electrical Engineering
University of Leeds
Leeds LS2 9JT
United Kingdom
r.w.kelsall@leeds.ac.uk

**Prof. Mike R. J. Gibbs**
Department of Engineering Materials
University of Sheffield
Sheffield S1 3JD
United Kingdom
M.R.Gibbs@Sheffield.ac.uk

**Dr Ian W. Hamley**
Centre for SelfOrganisingMolecular Systems
University of Leeds
Leeds LS2 9JT
United Kingdom
I.W.Hamley@chemistry.leeds.ac.uk

**Dr Martin Grell**
Department of Physics and Astronomy
University of Sheffield
Sheffield S3 7RH
United Kingdom
m.grell@sheffield.ac.uk

**Dr Mark Geoghegan**
Department of Physics and Astronomy
University of Sheffield
Sheffield S3 7RH
United Kingdom
mark.geoghegan@sheffield.ac.uk

**Dr Chris Hammond**
Institute for Materials Research
School of Process, Environmental and Materials Engineering
University of Leeds
Leeds LS2 9JT
United Kingdom
c.hammond@leeds.ac.uk

**AUTHORS**

**Dr Rik Brydson**
Institute for Materials Research
School of Process, Environmental and Materials Engineering
University of Leeds
Leeds LS2 9JT
United Kingdom
mtlrmdb@leeds.ac.uk

**Prof. Graham Leggett**
Department of Chemistry
University of Sheffield
Sheffield S3 7HF
United Kingdom
graham.leggett@umist.ac.uk

**Dr David Mowbray**
Department of Physics and Astronomy
University of Sheffield
Sheffield S3 7RH
United Kingdom
d.mowbray@sheffield.ac.uk

**Prof. Richard Jones**
Department of Physics and Astronomy
Hicks Building
University of Sheffield
Sheffield S3 7HF
United Kingdom
r.a.l.jones@sheffield.ac.uk

**Dr Iain Todd**
Department of Engineering Materials
University of Sheffield
Sheffield S1 3JD
United Kingdom
i.todd@sheffield.ac.uk

# مقدمة المترجمين

الحمدُ لله العليم الحكيم، الحمدُ لله الذي علَّم بالقلم، علَّم الإنسانَ ما لم يعلَم، ثم الصلاةُ والسلامُ على من أُعطي جوامع الكلم، نبينا محمد صلَّى الله وسلَّم وبارَك عليه، وعلى آله وصحبِه رموزِ المعارِفِ والقِيَم، والتابعين ومن تبِعَهم بإحسانٍ إلى يوم الدين، وبعد،،

نحمد الله أن يسّر لنا إنجاز ترجمة كتاب «علم وتقنية النانو» ليأخذ مكانه في المكتبة العربية ككتاب مرجعي وتخصصي في مجال من أهم المجالات العلمية والتقنية المعاصرة. لبيان أهمية الكتاب يكفي أن نعرف أنه قام على تأليفه مجموعة من أبرز علماء جامعتي ليدز وشيفيلد البريطانيتين، وتشكلت نواته منذ تأسيس برنامج ماجستير مشترك بين الجامعتين يحمل نفس عنوان الكتاب «علم وتقنية النانو» عام ٢٠٠١، وظَلَّ في صورة مسودات منفصلة حتى صدور الطبعة الأولى منه عام ٢٠٠٥ وبعد ذلك ظَلَّ يُدرّس ككتاب مرجعي لطلبة البرنامج طوال العشر سنوات الماضية.

يغطي هذا الكتاب في تسعة فصول معظم المواضيع الأساسية المرتبطة بعلم وتقنية النانو حيث تمت صياغتها بعناية بحيث تعمل بشكل تكاملي ومستقل في آن واحد. فمثلاً الفصل الأول والثاني يغطيان أساسيات نظرية وتجريبية عامة في مجال علم وتقنية النانو، بينما الفصول من الثالث إلى التاسع تُغطي أساسيات في مجالات أكثر تخصصية. بمعنى آخر سوف يجد القارئ الكريم أن كل فصل هو عبارة عن موضوع متكامل في فرع من فروع علوم وتقنيات النانو.

ختاماً نشكر مركز الترجمة بجامعة الملك سعود على ما أبدوه من تعاون ومرونة طوال فترة ترجمة هذا الكتاب والتي بدونها لم يكن لهذا العمل أن يكتمل، كما نشكر المحكمين على ما أبدوه من ملاحظات واقتراحات ساهمت في تحسين الشكل النهائي لترجمة هذا الكتاب.

**المترجمان**

# مقدمة المؤلفين

خلال السنتين الماضيتين منذ قررنا البدء في التخطيط لهذا الكتاب، فإن الكثير قد كُتِبَ عن تقنية النانو حتى أصبح الموضوع لا يحتاج مقدمة. تقنية النانو واحدة من التقنيات الرئيسة التي بدأت تتطور في عصر الإنترنت، وبالتالي أصبحت موضوعاً لألاف من مواقع الإنترنت غير المنظمة التي تفتقد إلى المرجعية العلمية، ومواقع النقاش وهلم جرا. بعبارة أخرى، كُتب الكثير، لكن ليس بالضرورة أن يكون كل ما كتب صحيحاً. وسائل الإعلام أيضاً لم تنس نصيبها وشاركت بشكل فريد: مثل أن تقنية النانو سوف تقودنا إلى سيناريو القري قوو[1](grey goo) وأصبحت بذلك مصدراً لقصص جيدة (على الأقل في الصحف الورقية). صور تقنية النانو في عقد ١٩٦٠ لا زالت متواجدة إلى اليوم، مثلاً، سفر السيدة راكيل والش في غواصة خلال مجرى الدم لمريض بدون مشاكل. هذا الكتاب ليس له علاقة بما ذكر. شيء واحد قد حصلنا عليه من تغطية وسائل الإعلام لتقنية النانو وهو جذب الاهتمام للمخاطر التي قد ترافق أي تقنية جديدة وطرح الأسئلة ذات العلاقة حول الآثار المحتملة لكل وجه من وجوه تقنية النانو على مجتمعنا. في حين إننا نشجع البحث والمناقشة في هذه القضايا لكنها لا تقع ضمن اختصاص هذا الكتاب.

كتاب «علم وتقنية النانو» تم تصميمه ككتاب تعليمي، يستهدف بصورة أولية طلاب ما بعد المرحلة الجامعية المسجلين في برامج الماجستير والدكتوراه، أو في السنة الأخيرة من المرحلة الجامعية أو طلاب الدبلوم الدارسين لمقررات أو مشاريع في تقنية النانو. أيضاً نجد أنه من المناسب الإشارة إلى أن هذا الكتاب مُصمم لطلاب العلوم الفيزيائية وليس طلاب العلوم الحيوية. يعتمد هذا الكتاب بصورة أساسية على مقرراتنا في الماجستير، ماجستير علم وتقنية النانو، الذي طرح منذ ٢٠٠١ وكان واحدًا من أوائل البرامج التي دُرِّست لطلاب ما بعد المرحلة الجامعية في أوروبا في هذا

(١) سيناريو خيالي يفترض فقدان السيطرة على الروبوتات الذكية التي تبدأ في إعادة إنتاج نفسها والقضاء على البشر.

المجال، تم طرح هذه المقررات مشاركةً بين كلٍ من جامعتي ليدز وشيفيلد، وقد جرى تصميمها بصورة أساسية بواسطة بعض من مؤلفي هذا الكتاب. كما في تصميم المقررات، سعينا في تصميم هذا الكتاب إلى التوسع في المواضيع العلمية والتخصصات التي ساهمت في تقنية النانو. مجال هذا الكتاب مرتبط بمعيارين أساسين. أولاً، رأينا أنه ليس هناك حاجة إلى تكرار التفاصيل الدقيقة للتقنيات والمبادئ القائمة التي من الممكن أن تكون مُغطاة بشكل أفضل في مكان آخر، ثانياً ككتاب تعليمي فإن الهدف من هذا الكتاب أن يُقرأ في مجملة على فترة سنة. بأخذ هذه المعايير في الاعتبار فإن كل فصل من هذا الكتاب يحتوي على قائمة بالمراجع التي تُشير إلى أين يمكن أن نجد تفاصيل أكثر عن مواضيع بعينها.

خبرات ومهارات مؤلفي هذا الكتاب التي تغطي هندسة الإلكترونيات، الفيزياء، علم المواد، الكيمياء والكيمياء الحيوية، ساعدت في تحقيق التوسع والتوازن في طرح هذا الكتاب. نريد أن نُضيف أن هذه فقط مجرد محاولة منا لتفسير تقنية النانو، وقد يكون لدى مجموعات أخرى من المؤلفين رأيًا آخر فيما يتعلق بما يجب أن يُطرح أو يتم التركيز عليه في الكتاب. أيضاً في مجال كهذا يتطور بسرعة فإن ما طرحناه قد يكون في خطر أن يصبح قديمًا (اضطر أحد المؤلفين الذي كان في غاية الكفاءة في جمع ما يتعلق به من نصوص أن يجدد ما كتبه مرتين على الأقل ويجدد الرسومات التي طرحها بسبب التطور السريع في أبحاث تقنية النانو). لذلك فنحن ممتنون جداً لأي تعديل أو تصحيح.

بالرغم من أن معظم الفصول كُتبت بواسطة مجموعة من المؤلفين المختلفين في خلفياتهم العلمية، فقد حرصنا على أن يُقرأ ما كُتب كوحدة واحدة وليس كتجميع لمقالات قصيرة، وذلك ليؤدي الكتاب دوره ككتاب تعليمي. للوصول إلى هذا، فإننا كمحررين لم ينحصر دورنا فقط عند القيام بالكثير من التعديلات لتحسين اتساق النص، ولتجنب التكرار وما يتم إغفاله، لكننا أيضاً في بعض المواقع قمنا بالكثير من إعادة التحرير. لذلك فإننا نجد أنه لزاماً علينا أن نعبر عن شكرنا وامتنانا للمؤلفين المساعدين لتحملهم وسعة صدرهم. اعتماداً على علاقتنا الطيبة مع المؤلفين المساعدين فقد رأينا انه ليس من الضروري جدولة مساهمات المؤلفين بشكل مفصل لكل فصل عدا ما كتبه روب كيلسول في الفصل السادس في قسم الكربون المركب نانوياً.

أخيراً، فإننا نجد أنه من الضروري التعبير عن شكرنا لتيري بامبروك الذي جمع فعلياً كل الأشكال والرسومات في الفصل الأول والثاني.

**المؤلفون**

# المحتويات

قائمة بالمشاركين ..... هـ
مقدمة المترجمين ..... ز
مقدمة المؤلفين ..... ط

**الفصل الأول: منهجيات عامة لتقنيات النانو: تصنيف وتصنيع** ..... ١
(١ , ١) مقدمة وتصنيف ..... ١
(١ , ١ , ١) ما هي تقنية النانو؟ ..... ١
(٢ , ١ , ١) تصنيف تراكيب النانو ..... ١
(٣ , ١ , ١) هندسة النانو ..... ٢
(٢ , ١) موجز عن الخصائص الإلكترونية للذرات والحالة الصلبة ..... ٢
(١ , ٢ , ١) الذرة المعزولة ..... ٢
(٢ , ٢ , ١) الروابط بين الذرات ..... ١١
(٣ , ٢ , ١) الجوامد الجزيئية العملاقة ..... ١٥
(٤ , ٢ , ١) نموذج الإلكترون الحر وشرائط الطاقة ..... ١٦
(٥ , ٢ , ١) الجوامد المتبلورة ..... ١٩
(٦ , ٢ , ١) الخاصية الدورية للشبيكات البلورية ..... ١٩
(٧ , ٢ , ١) التوصيل الإلكتروني ..... ٢٢
(٣ , ١) تأثيرات القياس في مدى النانومتر ..... ٢٦
(١ , ٣ , ١) التغييرات في الطاقة الكلية للنظام ..... ٢٧

(٢ , ٣ , ١) التغيرات في بنية النظام ..... ٢٨
(٣ , ٣ , ١) كيف تؤثر أبعاد النانو على الخصائص ..... ٣٣
(٤ , ١) طرق التصنيع ..... ٤٣
(١ , ٤ , ١) إجراءات التصنيع التنازلي ..... ٤٤
(٢ , ٤ , ١) الإجراءات التصاعدية ..... ٥١
(٣ , ٤ , ١) طرق قولبة نمو المواد النانوية ..... ٦٧
(٤ , ٤ , ١) ترتب الأنظمة النانومترية ..... ٧٠
(٥ , ١) قضايا التحضير والسلامة والتخزين ..... ٧٤

**الفصل الثاني: منهجيات شاملة لتقنية النانو: التوصيف** ..... ٧٧
(١ , ٢) تصنيف عام لطرق التوصيف ..... ٧٧
(١ , ١ , ٢) تقنيات التحليل والتصوير ..... ٧٨
(٢ , ١ , ٢) بعض فيزياء التشتيت ..... ٧٩
(٢ , ٢) التقنيات المجهرية ..... ٨٥
(١ , ٢ , ٢) اعتبارات عامة للتصوير ..... ٨٧
(٢ , ٢ , ٢) تكبير الصورة ودقة تحليلها ..... ٨٨
(٣ , ٢ , ٢) اعتبارات أخرى للتصوير ..... ٩١
(٤ , ٢ , ٢) المجهرية الضوئية ..... ٩٢
(٣ , ٢) مجهرية الإلكترون ..... ٩٣
(١ , ٣ , ٢) جوانب عامة لبصريات الإلكترون ..... ٩٥
(٢ , ٣ , ٢) إنتاج حزمة الإلكترون ..... ٩٥
(٣ , ٣ , ٢) تفاعلات العينة والإلكترون ..... ٩٦
(٤ , ٣ , ٢) مجهرية الإلكترون الماسح ..... ٩٨
(٥ , ٣ , ٢) مجهرية الإلكترون النافذ ..... ١٠٣
(٦ , ٣ , ٢) مجهرية الإلكترون النافذ الماسح ..... ١١٠
(٤ , ٢) مجهرية أيون المجال ..... ١١٣

(٢,٥) تقنيات المجس الماسح ..... ١١٤
(٢,٥,١) مجهرية التنفيق الماسح ..... ١١٤
(٢,٥,٢) مجهرية القوة الذرية ..... ١١٧
(٢,٥,٢) تقنيات المجس الماسح الأخرى ..... ١٢٢
(٢,٦) تقنيات الحيود ..... ١٢٤
(٢,٦,١) تقنيات الحيود الجسيمة ..... ١٢٤
(٢,٦,٢) تقنيات الحيود السطحية ..... ١٢٨
(٢,٧) تقنيات مطيافية ..... ١٣٠
(٢,٧,١) مطيافية الفوتون ..... ١٣١
(٢,٧,٢) مطيافية التردد الراديوي ..... ١٣٩
(٢,٧,٣) مطيافية الإلكترون ..... ١٤٥
(٢,٨) التحليل السطحي والمظهر الجانبي للعمق ..... ١٥١
(٢,٨,١) مطيافية الأسطح الإلكترونية ..... ١٥٤
(٢,٨,٢) مطيافية كتلة الأسطح ..... ١٥٧
(٢,٨,٣) تحليل حزمة شعاع الأيون ..... ١٦٠
(٢,٨,٤) قياس الانعكاسية ..... ١٦١
(٢,٩) ملخص تقنيات قياس الخواص ..... ١٦٤
(٢,٩,١) الخواص الميكانيكية ..... ١٦٤
(٢,٩,٢) الخواص الانتقالية الإلكترونية ..... ١٦٧
(٢,٩,٣) الخواص المغناطيسية ..... ١٦٩
(٢,٩,٤) الخواص الحرارية ..... ١٧٠
قائمة المراجع ..... ١٧١

**الفصل الثالث: تراكيب النانو شبه الموصلة غير العضوية** ..... ١٧٥
(٣,١) مقدمة ..... ١٧٥
(٣,٢) لمحة عامة عن فيزياء أشباه الموصلات ذات العلاقة ..... ١٧٦

(١ , ٢ , ٣) ما هي أشباه الموصلات؟ ..... ١٧٦
(٢ , ٢ , ٣) الإشابة أو التطعيم ..... ١٧٧
(٣ , ٢ , ٣) مفهوم الكتلة الفعالة ..... ١٧٨
(٤ , ٢ , ٣) نقل الحاملات، الناقلية والتوصيل الكهربائي ..... ١٧٩
(٥ , ٢ , ٣) الخصائص الضوئية لأشباه الموصلات ..... ١٨١
(٦ , ٢ , ٣) الإكستونات ..... ١٨١
(٧ , ٢ , ٣) وصلة p-n الثنائية ..... ١٨٢
(٨ , ٢ , ٣) الفونونات ..... ١٨٤
(٩ , ٢ , ٣) أنواع أشباه الموصلات ..... ١٨٤
(٣ , ٣) الحجز الكمي في التراكيب النانوية شبه الموصلة ..... ١٨٦
(١ , ٣ , ٣) الحجز الكمي في بعد واحد: آبار الكم ..... ١٨٦
(٢ , ٣ , ٣) الحجز الكمي في بعدين: الأسلاك الكمية ..... ١٩٠
(٣ , ٣ , ٣) الحجز الكمي في ثلاثة أبعاد: نقاط الكم ..... ١٩٠
(٤ , ٣ , ٣) تراكيب التشابك الفائق ..... ١٩١
(٥ , ٣ , ٣) إزاحة القطاع ..... ١٩٣
(٤ , ٣) كثافة الحالات الإلكترونية ..... ١٩٣
(٥ , ٣) تقنيات التصنيع ..... ١٩٥
(١ , ٥ , ٣) متطلبات لتراكيب نانونية شبه موصلة مثالية ..... ١٩٥
(٢ , ٥ , ٣) النمو الطبقي لآبار الكم ..... ١٩٦
(٣ , ٥ , ٣) الطباعة والنحت ..... ١٩٦
(٤ , ٥ , ٣) النمو الزائد على حافة الشق ..... ١٩٧
(٥ , ٥ , ٣) النمو على ركائز درجية ..... ١٩٨
(٦ , ٥ , ٣) النقاط والأسلاك المحدثة بالانفعال ..... ١٩٩
(٧ , ٥ , ٣) النقاط والأسلاك المنتجة بالكهربية السكونية ..... ٢٠٠
(٨ , ٥ , ٣) تقلبات عرض بئر الكم ..... ٢٠١
(٩ , ٥ , ٣) آبار الكم الملّدنة حرارياً ..... ٢٠٢

(١٠, ٥, ٣) بلورات النانو شبه الموصلة ..... ٢٠٢
(١١, ٥, ٣) نقاط الكم الغروية ..... ٢٠٢
(١٢, ٥, ٣) تقنيات التجميع الذاتي ..... ٢٠٣
(١٣, ٥, ٣) ملخص تقنيات التصنيع ..... ٢١١
(٦, ٣) العمليات الفيزيائية في التراكيب النانونية شبه الموصلة ..... ٢١٢
(١, ٦, ٣) تعديل الإشابة ..... ٢١٢
(٢, ٦, ٣) تأثير هول الكمي ..... ٢١٥
(٣, ٦, ٣) الرنين النفقي ..... ٢١٧
(٤, ٦, ٣) آثار الشحن ..... ٢١٩
(٥, ٦, ٣) النقل القذفي (الباليستي) ..... ٢٢٢
(٦, ٦, ٣) الامتصاص خارج القطاع في تراكيب النانو شبه الموصلة ..... ٢٢٥
(٧, ٦, ٣) الامتصاص داخل القطاع في تراكيب النانو شبه الموصلة ..... ٢٢٨
(٨, ٦, ٣) عمليات انبعاث الضوء في تراكيب النانو ..... ٢٢٩
(٩, ٦, ٣) عنق الزجاجة الفونوني في النقاط الكمية ..... ٢٣١
(١٠, ٦, ٣) تأثير ستارك الكمي المقيّد ..... ٢٣٢
(١١, ٦, ٣) الآثار غير الخطية ..... ٢٣٥
(١٢, ٦, ٣) التماسك وعمليات انحلال الطور ..... ٢٣٦
(٧, ٣) توصيف تراكيب النانو شبه الموصلة ..... ٢٣٧
(١, ٧, ٣) التوصيف البصري والكهربائي ..... ٢٣٧
(٢, ٧, ٣) التوصيف الهيكلي ..... ٢٤٣
(٨, ٣) تطبيقات تراكيب النانو شبه الموصلة ..... ٢٤٥
(١, ٨, ٣) ليزرات الحقن ..... ٢٤٦
(٢, ٨, ٣) ليزرات الشلالات الكمية ..... ٢٥١
(٣, ٨, ٣) مصادر الفوتون المفرد ..... ٢٥٣
(٤, ٨, ٣) المعلّمات البيولوجية ..... ٢٥٤
(٥, ٨, ٣) ذاكرات التخزين البصرية ..... ٢٥٥

(٦ , ٨ , ٣) تأثير تكنولوجيا النانو على الإلكترونيات التقليدية ..... ٢٥٦
(٧ , ٨ , ٣) أجهزة الحصار الكولومي ..... ٢٦٣
(٨ , ٨ , ٣) التراكيب الضوئية ..... ٢٦٤
(٩ , ٣) ملخص واستشراف ..... ٢٦٧
مراجع القراءة ..... ٢٦٨

**الفصل الرابع: المواد والأجهزة النانومغناطيسية** ..... ٢٧١
(١ , ٤) المغناطيسية ..... ٢٧١
(١ , ١ , ٤) المغناطيسية السكونية ..... ٢٧٢
(٢ , ١ , ٤) الدايامغناطيسية ،البارامغناطيسية، والفيرومغناطيسية ..... ٢٧٢
(٣ , ١ , ٤) التباين المغناطيسي ..... ٢٧٥
(٤ , ١ , ٤) المناطق والجدران المغناطيسية ..... ٢٧٩
(٥ , ١ , ٤) إجراء المغنطة ..... ٢٨٣
(٢ , ٤) المواد النانومغناطيسية ..... ٢٨٤
(١ , ٢ , ٤) مغانط الجسيمات النانوية ..... ٢٨٤
(٢ , ٢ , ٤) مغانط النانو الهندسية ..... ٢٩٣
(٣ , ٤) المقاومة المغناطيسية ..... ٢٩٦
(١ , ٣ , ٤) المساهمات في المقاومة النوعية للمعادن ..... ٢٩٦
(٢ , ٣ , ٤) المقاومة المغناطيسية العملاقة ..... ٢٩٨
(٣ , ٣ , ٤) الصمامات المغناطيسية ..... ٣٠٤
(٤ , ٣ , ٤) المقاومة المغناطيسية النفقية ..... ٣٠٧
(٤ , ٤) فحص المواد النانومغناطيسية ..... ٣١٠
(٥ , ٤) مغناطيسة النانو في التكنولوجيا ..... ٣١٣
(٦ , ٤) التحديات التي تواجه المغناطيسية النانوية ..... ٣١٤

**الفصل الخامس: تشكيل وخواص مواد النانو غير العضوية** ..... ٣١٩
(١ , ٥) مقدمة ..... ٣١٩

(١, ١, ٥) تصنيف ..... ٣٢٠
(٢, ٥) الديناميكا الحرارية وحركية التحولات الطورية ..... ٣٢١
(١, ٢, ٥) الديناميكا الحرارية ..... ٣٢١
(٢, ٢, ٥) التنوي المتجانس ..... ٣٢٤
(٣, ٢, ٥) التنوي غير المتجانس ..... ٣٢٨
(٤, ٢, ٥) النمو ..... ٣٢٩
(٥, ٢, ٥) معدل التحول الكلي ..... ٣٣٠
(٣, ٥) طرق التحضير ..... ٣٣١
(١, ٣, ٥) معالجة التصلب السريع من الحالة السائلة ..... ٣٣٢
(٢, ٣, ٥) إزالة التزجّج ..... ٣٣٢
(٣, ٣, ٥) التكثيف بالغاز الخامل ..... ٣٣٥
(٤, ٣, ٥) الترسيب الكهربائي ..... ٣٣٩
(٥, ٣, ٥) الطرق الميكانيكية ..... ٣٤١
(٤, ٥) التركيب ..... ٣٤٦
(١, ٤, ٥) التركيب المجهري ..... ٣٤٧
(٢, ٤, ٥) تركيب الحد الحبيبي ..... ٣٤٩
(٣, ٤, ٥) الاستقرار المتبدل التركيبي ..... ٣٤٩
(٥, ٥) استقرارية التركيب المجهري ..... ٣٥٠
(١, ٥, ٥) الانتشار ..... ٣٥٠
(٢, ٥, ٥) النمو الحبيبي ..... ٣٥٢
(٣, ٥, ٥) إعاقة زينر ..... ٣٥٤
(٤, ٥, ٥) مقاومة المذاب ..... ٣٥٥
(٦, ٥) دمج المسحوق ..... ٣٥٦
(١, ٦, ٥) رص مساحيق النانو ..... ٣٥٧
(٢, ٦, ٥) التلبيد ..... ٣٥٨
(٣, ٦, ٥) دور الشوائب ..... ٣٥٩

(٤, ٦, ٥) المسامية ..... ٣٦١
(٥, ٦, ٥) المعالجة غير التقليدية ..... ٣٦١
(٥, ٧) الخواص الميكانيكية ..... ٣٦٣
(١, ٧, ٥) الصلابة والقوة ..... ٣٦٤
(٢, ٧, ٥) الممطولية والمتانة ..... ٣٦٦
(٣, ٧, ٥) الزحف واللدانة الفائقة ..... ٣٦٧
(٥, ٨) الخصائص المغناطيسية ..... ٣٦٩
(١, ٨, ٥) الخواص المغناطيسية الأساسية ..... ٣٦٩
(٢, ٨, ٥) المواد المغناطيسية الناعمة المركبة ..... ٣٦٩
(٣, ٨, ٥) المواد المغناطيسية القاسية ..... ٣٧٠
(٥, ٩) خصائص الحفز ..... ٣٧١
(٥, ١٠) التطبيقات الحالية والمحتملة للمواد النانوية ..... ٣٧١
(١, ١٠, ٥) ماصّات الأشعة فوق البنفسجية ..... ٣٧٢
(٢, ١٠, ٥) التطبيقات المغناطيسية ..... ٣٧٣
(٣, ١٠, ٥) الطلاءات ..... ٣٧٣

**الفصل السادس: الأجهزة والمواد الجزيئية الإلكترونية والكهروضوئية** ..... ٣٧٥
(١, ٦) مفاهيم ومواد ..... ٣٧٥
(١, ١, ٦) الحالة الصلبة: البلورات والزجاجيات ..... ٣٧٥
(٢, ١, ٦) كيمياء الكربون ..... ٣٧٦
(٣, ١, ٦) أمثلة على أشباه الموصلات العضوية ..... ٣٨١
(٤, ١, ٦) الإثارات في أشباه الموصلات العضوية ..... ٣٨١
(٥, ١, ٦) حقن حاملات الشحنة وعملية النقل ..... ٣٩٠
(٦, ١, ٦) البوليمرات مقابل الجزيئات الصغيرة ..... ٣٩٧
(٧, ١, ٦) المعادن العضوية؟ ..... ٤٠١
(٢, ٦) تطبيقات وأجهزة ..... ٤٠٣

(٦,٢,١) المعادن الاصطناعية ..... ٤٠٤
(٦,٢,٢) ترانزستورات تأثير المجال العضوية ..... ٤٠٧
(٦,٢,٣) الأجهزة العضوية الباعثة للضوء ..... ٤١٧
(٦,٢,٤) الخلايا الضوئية العضوية ..... ٤٢٨
(٦,٣) أنابيب الكربون النانوية ..... ٤٣٣
(٦,٣,١) التركيب ..... ٤٣٣
(٦,٣,٢) التحضير الصناعي ..... ٤٣٦
(٦,٣,٣) الخصائص الإلكترونية ..... ٤٣٧
(٦,٣,٤) الخصائص الاهتزازية ..... ٤٤١
(٦,٣,٥) الخواص الميكانيكية ..... ٤٤٢
(٦,٣,٦) التطبيقات ..... ٤٤٣

**الفصل السابع: التجمع الذاتي النانوي للمواد والآلات** ..... ٤٥٩
(٧,١) المقدمة ..... ٤٥٩
(٧,٢) لبنات البناء ..... ٤٦٠
(٧,٢,١) التحضير ..... ٤٦١
(٧,٢,٢) علم الأحياء ..... ٤٦٢
(٧,٣) مبادئ التجمع الذاتي ..... ٤٦٦
(٧,٣,١) التفاعلات غير التساهمية ..... ٤٦٧
(٧,٣,٢) الرص البين جزيئي ..... ٤٦٩
(٧,٣,٣) التجمع الذاتي الحيوي ..... ٤٧٣
(٧,٣,٤) المحركات النانوية ..... ٤٧٦
(٧,٤) طرق التجميع الذاتي لتحضير وتنميط الجسيمات النانوية ..... ٤٧٧
(٧,٤,١) الجسيمات النانوية من البلمرة الحويصلية والمذيلية ..... ٤٧٧
(٧,٤,٢) الجسيمات النانوية المعدلة وظيفياً ..... ٤٧٩
(٧,٤,٣) بلورات الجسيم النانوي الغروية ..... ٤٨٠

(٤ , ٤ , ٧) الجسيمات النانوية غير العضوية ذاتية التنظيم ..... ٤٨٣
(٥ , ٤ , ٧) القطيرات النانوية البلورية السائلة ..... ٤٨٧
(٦ , ٤ , ٧) الجسيمات النانوية الحيوية ..... ٤٨٧
(٧ , ٤ , ٧) أجسام نانوية ..... ٤٨٩
(٥ , ٧) قولبة التراكيب النانوية ..... ٤٩٠
(١ , ٥ , ٧) سليكا متوسطة المسامية ..... ٤٩٠
(٢ , ٥ , ٧) التعدين الحيوي ..... ٤٩١
(٣ , ٥ , ٧) تراكيب نانوية مقولبة بواسطة تجمع ذاتي للبوليمر تساهمي الكتلة ..... ٤٩٢
(٦ , ٧) الأطوار المتوسطة للبلورة السائلة ..... ٤٩٣
(١ , ٦ , ٧) المذيلات و الحويصلات ..... ٤٩٣
(٢ , ٦ , ٧) الطور الرقائقي ..... ٤٩٤
(٣ , ٦ , ٧) تراكيب ثلاثية الكتلة ..... ٤٩٦
(٤ , ٦ , ٧) البلورات السائلة الخيطية والطبقية ..... ٤٩٦
(٥ , ٦ , ٧) البلورات السائلة قرصية الشكل ..... ٥٠٠
(٧ , ٧) خلاصة ونظرة مستقبلية ..... ٥٠٠
قائمة المراجع ..... ٥٠١

**الفصل الثامن: الجزيئات الكبيرة عند الأسطح البينية و الأفلام العضوية المركبة** ..... ٥٠٥
(١ , ٨) الجزيئات الضخمة عند الأسطح البينية ..... ٥٠٥
(٢ , ٨) مبادئ علم السطح البيني ..... ٥٠٧
(١ , ٢ , ٨) طاقات السطح والسطح البيني ..... ٥٠٧
(٣ , ٨) تحليل الأسطح البينية المبتلة ..... ٥١٠
(٤ , ٨) السطوح البينية المُعدلة ..... ٥١١
(١ , ٤ , ٨) الامتزاز والنشاط السطحي ..... ٥١٢
(٢ , ٤ , ٨) امتزاز البوليمر ..... ٥١٢
(٣ , ٤ , ٨) كيمياء التطعيم ..... ٥١٣

(٤ ,٤ ,٨) الخواص الفيزيائية لطبقات البوليمر المُطعمة ..... ٥١٨
(٥ ,٤ ,٨) الأغطية العضوية المبنية نانوياً بالطباعة النحتية الناعمة وطرق أخرى ..... ٥٢٢
(٥ ,٨) صنع أفلام عضوية رقيقة ..... ٥٢٤
(١ ,٥ ,٨) التغطية اللولبية للبوليمرات والغرويات ..... ٥٢٤
(٢ ,٥ ,٨) صنع طبقات متعددة عضوية ..... ٥٢٦
(٦ ,٨) تأثيرات السطح على انفصال الطور ..... ٥٣١
(١ ,٦ ,٨) أمزجة البوليمر ..... ٥٣٢
(٢ ,٦ ,٨) بوليمرات تساهمية الكتلة ..... ٥٣٣
(٧ ,٨) أسطح نانوية مُنمطة بالتجميع الذاتي ..... ٥٣٩
(١ ,٧ ,٨) الأنماط المُنتجة على ركائز غير متجانسة ..... ٥٤١
(٢ ,٧ ,٨) الأسطح المُنمطة طبوغرافياً ..... ٥٤٥
(٢ ,٧ ,٨) أنماط مُنتجة بإزالة تبليل فيلم رقيق ..... ٥٤٧
(٨ ,٨) آلات عملية ذات مقياس نانوي تستفيد من الجزيئات الكبيرة عند الأسطح ..... ٥٥٠
(١ ,٨ ,٨) الإلكترونيات الجزيئية والجزيئية الكبيرة ..... ٥٥٠
(٢ ,٨ ,٨) الموائع النانوية ..... ٥٥٢
(٣ ,٨ ,٨) الفلترة والتصنيف ..... ٥٥٥
قائمة المراجع ..... ٥٥٨

**الفصل التاسع: تقنية النانو الحيوية** ..... ٥٦١
(١ ,٩) أدوات جديدة لفحص الأنظمة الحيوية ..... ٥٦١
(١ ,١ ,٩) مجهرية المجس الماسح للتصوير الجزيئي الحيوي ..... ٥٦١
(٢ ,١ ,٩) قياسات القوة في الأنظمة الحيوية ..... ٥٦٦
(٣ ,١ ,٩) التصغير والتحليل ..... ٥٧٣
(٤ ,١ ,٩) تنظيم التركيب الحيوي الجزيئي عند المقياس النانومتري ..... ٥٧٨
(٢ ,٩) تقنية النانو المتعلقة بالمحاكاة الحيوية ..... ٥٨٣
(١ ,٢ ,٩) DNA كلبنة بناء في تقنية النانو ..... ٥٨٣

(٩,٢,٢) المحركات الجزيئية ..... ٥٨٦
(٩,٢,٣) التمثيل الضوئي المصطنع ..... ٥٩١
(٩,٣) الخاتمة ..... ٥٩٥
قائمة المراجع ..... ٥٩٦
ثبت المصطلحات ..... ٥٩٧
أولاً: عربي – إنجليزي ..... ٥٩٧
ثانياً: إنجليزي – عربي ..... ٦٢٠
كشاف الموضوعات ..... ٦٤٥