



جامعة حلب في المناطق المحررة

كلية الهندسة المعلوماتية- سنة خامسة

مادة الجودة والوثوقية

# حلقة بحث

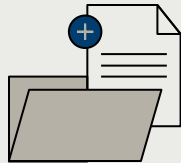
## تطبيقات تقنيات النانو في تصنيع المعالجات الدقيقة وتحسين موثوقيتها

إعداد الطالبات:

وصال الحاج علي - هبة زكريا - زليخة البري

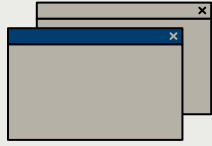
إشراف:

م. حمادة حمادة



تقنية النانو... بداية التحول في عالم المعالجات





## الملخص

شهد مجال تكنولوجيا المعلومات تطورًا هائلًا في تصميم وتصنيع المعالجات الدقيقة، لكن مع استمرار تصغير حجم الترانزستورات وفقًا لقانون مور، ظهرت تحديات كبيرة في:

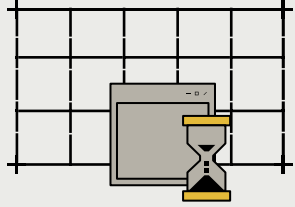
- الأداء
- استهلاك الطاقة
- موثوقية الأجهزة

تعد تقنية النانو من أبرز الحلول المبتكرة التي تعزز من كفاءة وموثوقية المعالجات الدقيقة. يركز البحث على أهم تطبيقات تقنية النانو، مثل:

- استخدام أنابيب الكربون النانوية والجرافين.
- تقنيات التصنيع المتقدمة كالنقش النانوي والطباعة الجزيئية.

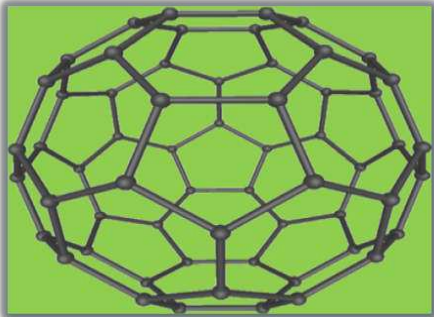
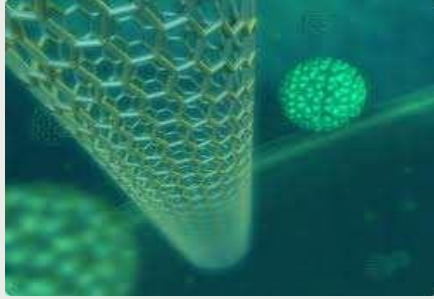
بالإضافة إلى استعراض التحديات والفرص المستقبلية في ظل التطور المتسارع في مجالات الحوسبة والذكاء الاصطناعي.

# المقدمة



+

من السيليكون إلى الذرة: كيف تُحدث النانو ثورة في عالم المعالجات؟



أصبحت **المعالجات الدقيقة** حجر الأساس في جميع الأجهزة الإلكترونية الحديثة، مثل الهواتف الذكية والحواسيب وأنظمة التحكم. ورغم التطور المستمر، أدى **تقليص أبعاد الترانزستورات** إلى الوصول إلى حدود حرجية من حيث الأداء، استهلاك الطاقة، وكثافة التصغير.

♦ وهنا برزت **تقنية النانو** كابتكار واعد، يتيح تصميم المواد والأجهزة على مستوى الذرات والجزيئات.

بفضل هذه التقنية، يمكن:

- تحسين أداء المعالجات
- تقليل الأعطال
- إعادة تصميم الترانزستورات بمواد وتراكيب جديدة

🎯 تهدف هذه الحلقة البحثية إلى استكشاف هذه التطبيقات وتحليل أثرها على **موثوقية المعالجات الدقيقة**، مع مناقشة الفوائد والتحديات المستقبلية.

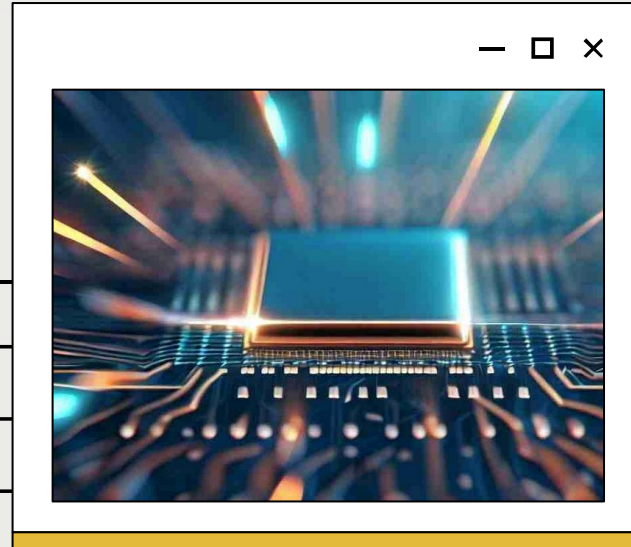
# إشكالية البحث وأهدافه



التقنيات النانوية: حل استراتيجي لمعضلات الترانزستورات الحديثة



## إشكالية البحث



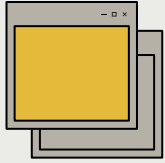
رغم التقدم الكبير في تقنيات تصنيع المعالجات الدقيقة، إلا أن تقليص أبعاد الترانزستورات بلغ حدودًا نانومترية حرجية، مما أدى إلى ظهور مشكلات في موثوقية الأجهزة مثل:

- التسرب الكهربائي
- التداخل الكهرومغناطيسي
- ارتفاع درجة الحرارة
- تراجع الأداء تحت الضغط

تتبع إشكالية هذا البحث من الحاجة إلى استغلال خصائص تقنية النانو لتحسين جودة تصنيع المعالجات الدقيقة، وتعزيز موثوقيتها التشغيلية على المدى الطويل.



## أهداف البحث



**01** استكشاف الأسس العلمية لتقنية النانو ودورها في صناعة الإلكترونيات الدقيقة.

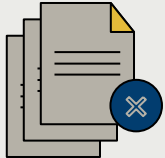
**02** تحليل تطبيقات تقنية النانو في تصميم وتصنيع المعالجات الدقيقة.

**03** توضيح كيف تساهم المواد النانوية في تحسين الأداء الحراري والكهربائي للمعالجات.

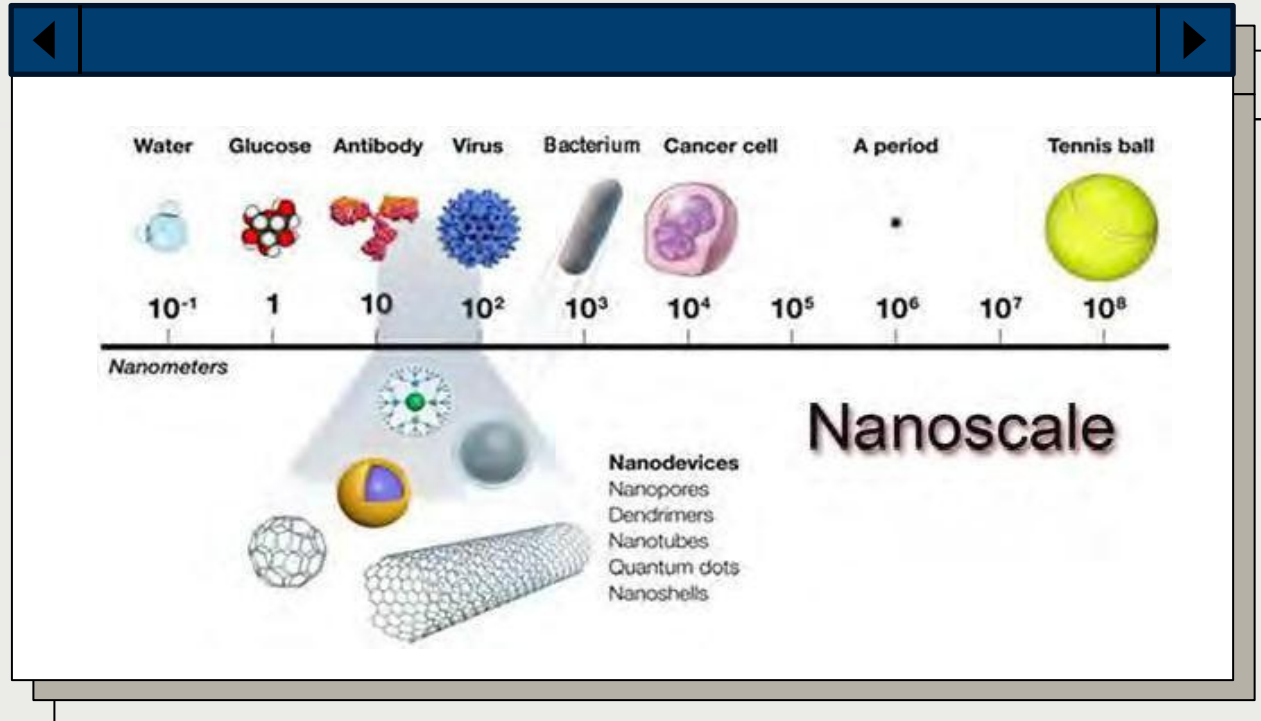
**04** دراسة أثر تقنية النانو على موثوقية المعالجات الدقيقة وتقليل الأعطال.

**05** رصد التحديات والقيود التقنية المتعلقة بتطبيق تقنية النانو في الصناعة.

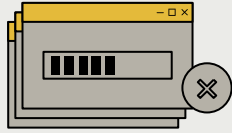
**06** استعراض الاتجاهات المستقبلية المتوقعة في دمج النانو مع تقنيات الحوسبة المتقدمة.



# مدخل إلى تقنية النانو

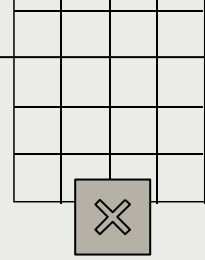


<https://www.youtube.com/watch?v=5AAR7bNSMs> go to 55 sec



+

# تعريف تقنية النانو



## ما هي تقنية النانو؟

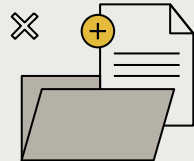
هي فرع من فروع العلم يختص بتصميم وتصنيع المواد والأجهزة على مستوى النانومتر، أي جزء من المليار من المتر. في هذا النطاق الدقيق، تبدأ المواد بإظهار خصائص كهربائية وحرارية وميكانيكية مختلفة جذريًا عن خصائصها في الحالة التقليدية



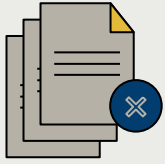
## استخداماتها

تستخدم في:

الطب – الطاقة – البيئة – الإلكترونيات الدقيقة بشكل خاص







# خصائص المادة النانوية

03

تحمل حراري وكهربائي عالٍ

ما يجعلها مناسبة لتحمل تيارات  
وجهد عالية في المعالجات.

02

تحكم كمومي

تظهر بعض المواد خصائص كمومية  
مثل الموصلية الفائقة عند أبعاد نانوية.

01

نسبة سطح إلى حجم عالية

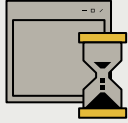
تزيد من الفعالية الكيميائية وتسمح  
بتحكم أفضل في التفاعلات.



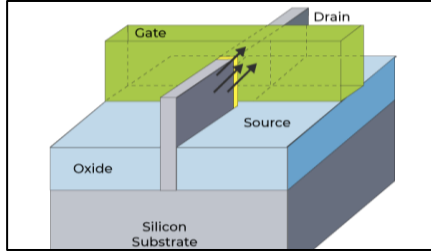
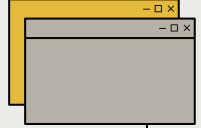
# تكنولوجيا التصنيع النانوي

التقنية التصاعدية Bottom-up	التقنية التنازلية Top-Down
<p>بناء المواد من الذرات والجزيئات باستخدام:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• التجميع الذاتي</li> <li>• التفاعلات الكيميائية</li> </ul>	<p>نقش الهياكل الدقيقة باستخدام أدوات مثل:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• الليثوغرافيا الضوئية</li> <li>• الليثوغرافيا الإلكترونية</li> </ul>

وقد ظهرت العلاقة بين النانو والمعالجات الدقيقة مع تطور تقنيات كـ **FinFET** و **GAAFET**، التي تعتمد على دقة نانوية لتحسين التحكم بالتوصيل وتقليل التسرب الكهربائي.



# علاقة تقنية النانو بصناعة المعالجات الدقيقة



بدأ ارتباط تقنية النانو بالإلكترونيات الدقيقة مع تصغير الترانزستورات. تقنيات مثل **FinFET** و **GAAFET** مكّنت من تحسين التحكم بالبوابة وتقليل التسرب، وهي تتطلب دقة نانوية فائقة

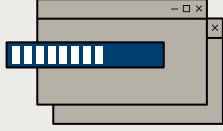


## السبعينات: البدايات الأولى

**Intel 4004 (1971) أول معالج دقيق:**

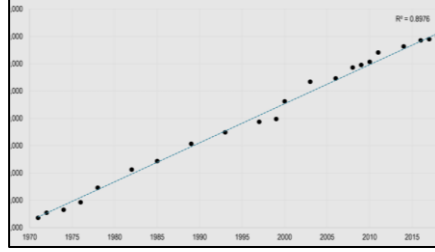
يحتوي على 2,300 ترانزستور ويعمل بتردد 740 كيلوهرتز. مثل انطلاقة الحوسبة المصغرة.





# علاقة تقنية النانو بصناعة المعالجات الدقيقة

## قانون مور وتقلص الأبعاد



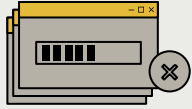
عام 1965، لاحظ غوردون مور أن عدد الترانزستورات يتضاعف كل 18-24 شهراً. أدى ذلك إلى تصغير مستمر وتحسين في الأداء واستهلاك الطاقة.

## الألفية الجديدة: المعالجات متعددة النوى

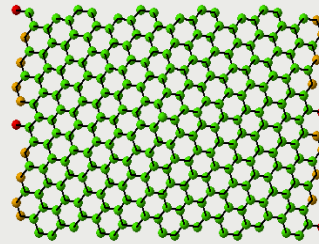
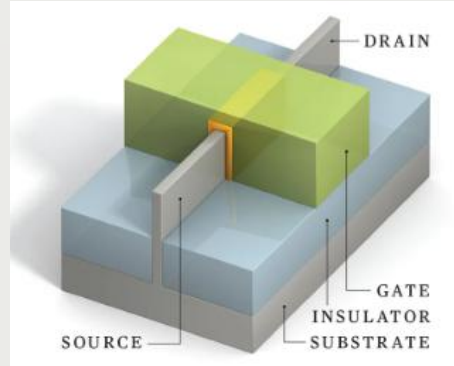
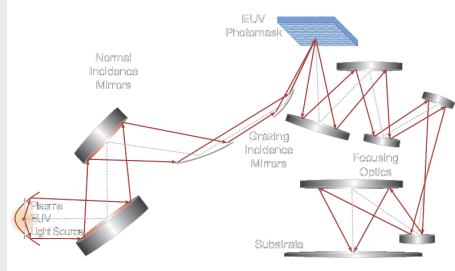


تم دمج أكثر من نواة في شريحة واحدة لمواجهة مشاكل الحرارة والطاقة الناتجة عن رفع التردد. أدى إلى تحسين الأداء دون زيادة الاستهلاك.





# علاقة تقنية النانو بصناعة المعالجات الدقيقة

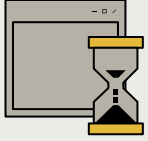


من 2010 وما بعد: تقنيات متقدمة

FinFETs: ترانزستورات ثلاثية الأبعاد

EUV Lithography: طباعة ضوئية دقيقة جدًا

مواد نانوية : مثل الجرافين و  $\text{MoS}_2$



# علاقة تقنية النانو بصناعة المعالجات الدقيقة

الذكاء الاصطناعي والحوسبة المتقدمة

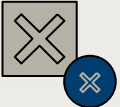
ظهرت معالجات مخصصة لتطبيقات الذكاء الاصطناعي مثل:

❑ وحدات المعالجة العصبية (NPUs)

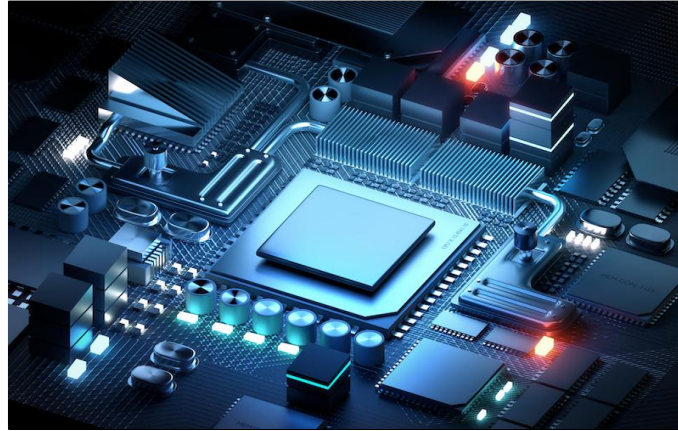
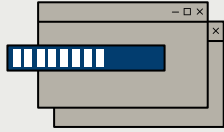
❑ Google TPU

❑ معالجات هجينة تجمع بين الكفاءة والأداء

كل هذه المراحل والتقنيات لم تكن لتتحقق لولا التقدم في تقنيات التصنيع النانوي، مما يؤكد دور تقنية النانو كمحرك رئيسي لتطور المعالجات الدقيقة.



# التكامل بين تقنية النانو والمعالجات الدقيقة



يشير التكامل إلى دمج المفاهيم والأدوات النانوية في تصميم وتصنيع المعالجات الدقيقة، وأصبح ضروريًا مع وصول أبعاد الترانزستورات لأقل من 10 نانومتر.



# التكامل بين تقنية النانو والمعالجات الدقيقة

الدوافع نحو التكامل

## لماذا أصبح التكامل ضرورة؟

تُعزى الحاجة لهذا التكامل إلى تحديات مثل:

تسرب التيار الكهربائي من البوابة (Gate Leakage)



الارتفاع السريع في درجات الحرارة



تأثيرات الكم (Quantum Effects) في السلوك الكهربائي



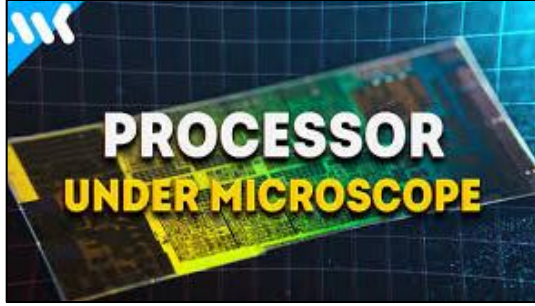
ضعف أداء المواد التقليدية عند الأبعاد النانوية





# التكامل بين تقنية النانو والمعالجات الدقيقة

العناصر النانوية ضمن بنية المعالج



<https://youtu.be/yvepmXmoZJA?si=s9i5HGIHyeQJltl>



الترانزستورات النانوية:

بأبعاد تتراوح بين 5-10 نانومتر، وتتطلب تصنيعًا فائق الدقة

الأسلاك النانوية (CNTs):

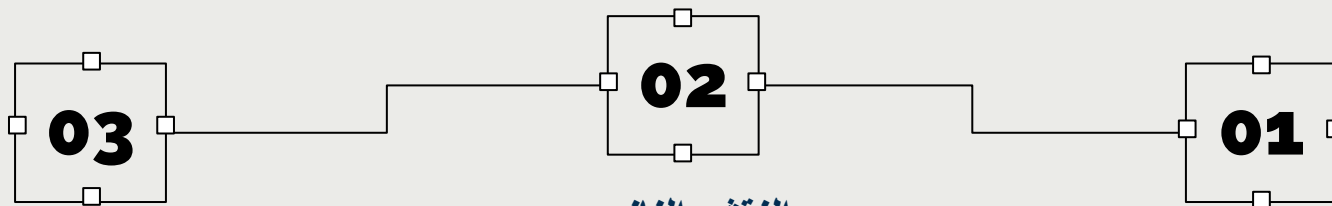
مصنوعة من أنابيب الكربون النانوية لنقل الإشارات بكفاءة عالية

المواد العازلة النانوية (Low-k Dielectrics):

لتقليل السعة المتبادلة وخفض استهلاك الطاقة

# تقنيات التصنيع المعتمدة على النانو

أهم تقنيات التصنيع النانوي في المعالجات الدقيقة



الترسيب النانوي الكيميائي  
(CVD/ALD):

تكوين طبقات ذرية متجانسة  
لصناعة الترانزستورات

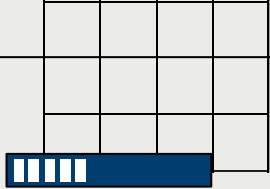
النقش النانوي  
(Nanoimprint Lithography)

طريقة دقيقة وسريعة واقتصادية  
لنقش الأنماط على سطح الرقاقة

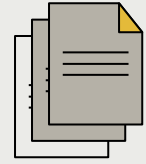
الطباعة الضوئية بالنطاق  
فوق البنفسجي (EUV):

أطوال موجية 13.5 نانومتر  
لإنتاج هياكل دقيقة جدًا





# أثر التكامل على الأداء والموثوقية



ساهم تطبيق تقنيات النانو في تحسين أداء وموثوقية المعالجات الدقيقة من خلال:

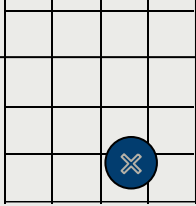
تحسين كثافة الترانزستورات، مما زاد من كفاءة المعالجات.

تقليل استهلاك الطاقة الحرارية، وهو مهم للأجهزة المحمولة والخوادم.

زيادة عمر المعالج بفضل مقاومة أفضل للتآكل والتغيرات البيئية.

تعزيز الموثوقية عبر تصنيع طبقات وتوصيلات أكثر دقة واتساقًا.





# التكامل في الصناعة

أبرز الشركات الرائدة في تطبيق تقنيات النانو في تصنيع المعالجات:



**:IBM**

أول شريحة 2 نانومتر تجريبية  
باستخدام تقنيات نانوية



**TSMC & Samsung**

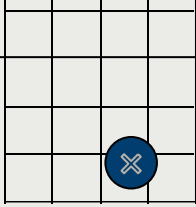
في تقنيات 3 نانومتر  
وما دون



**:Intel**

عبر معالجات FinFET  
وRibbonFET





## أنواع المواد النانوية

# المستخدمة في صناعة المعالجات الدقيقة

تعتبر تُعد المواد النانوية عنصراً أساسياً في تقنيات التصنيع الحديثة للمعالجات الدقيقة، لما تتميز به من خصائص فيزيائية وكيميائية فريدة تُحسّن الكفاءة والأداء.





الرقم	المادة النانوية	التعريف	الاستخدامات	الفوائد	التحديات
1	أنابيب الكربون النانوية ((CNTs	هيكل أسطوانية دقيقة من الكربون، ذات موصلية كهربائية وحرارية عالية	تصنيع الترانزستورات بدلاً من الأسلاك النحاسية	• تقليل استهلاك الطاقة • سرعة إشارة عالية • كفاءة حرارية	• صعوبة التحكم بتركيبها • تكلفة تصنيع مرتفعة
2	الجرافين ((Graphene	طبقة ثنائية الأبعاد من ذرات الكربون، بموصلية فائقة ومرونة عالية	في القنوات الإلكترونية للترانزستورات	• تقليل التسرب • سرعة التبديل • تحمل حرارة مرتفعة	• صعوبة التصنيع • صعوبة التكامل مع السيليكون
3	النقاط الكمومية ( Quantum Dots)	جسيمات نانوية شبه موصلة تتحكم في حركة الإلكترونات بتأثيرات كمومية	تطوير ذواكر وأجهزة منخفضة الطاقة	• تحكم دقيق بالإلكترونات • كفاءة تشغيل عالية	• عدم الاستقرار • صعوبة دمجها في التصنيع التقليدي
4	Low-k Dielectrics	مواد عازلة ذات ثابت عازل منخفض تستخدم لتقليل التداخل بين التوصيلات	عزل التوصيلات وتقليل السعة الكهربائية	• تقليل استهلاك الطاقة • تحسين سرعة الأداء	• الحفاظ على المتانة والاستقرار أثناء التشغيل
5	MoS <sub>2</sub> وفوسفورين (مواد ثنائية الأبعاد)	مواد ثنائية الأبعاد ذات خصائص إلكترونية وميكانيكية مميزة	تستخدم في الترانزستورات النانوية كبديل للسيليكون	• خصائص فريدة • إمكانية التصغير • أداء محسن في بيئات مرنة	• صعوبات في الإنتاج





أهم التطبيقات الحالية لتقنية النانو في

# تصنيع المعالجات الدقيقة

تشهد صناعة المعالجات تطورًا مستمرًا بفضل تقنيات النانو، التي تتيح تصنيع مكونات أكثر كفاءة ودقة، مع تحسين الأداء والموثوقية. ومن أبرز التطبيقات:



# أهم التطبيقات الحالية لتقنية النانو في تصنيع المعالجات الدقيقة

## أنابيب الكربون النانوية في الترانزستورات

تُستخدم CNTs كبديل للترانزستورات التقليدية لقدرتها على توصيل التيار بكفاءة عالية.

من أبرز تطبيقاتها ترانزستورات CNFETs، التي توفر أداءً عاليًا، واستهلاكًا منخفضًا للطاقة، وتتميز بحجم صغير مناسب للمعالجات الحديثة.

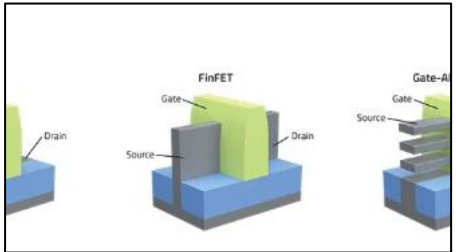
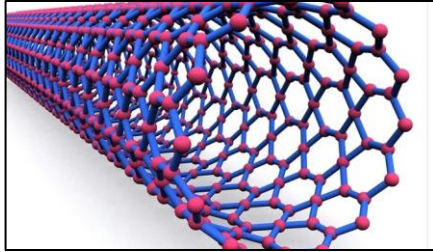
## الترانزستورات ثلاثية الأبعاد (3D Transistors)

تشمل تقنيتي FinFET وGAAFET:

**FinFET:** قناة ثلاثية الأبعاد لتحكم أفضل في التيار وتقليل التسرب.

**GAAFET:** تطور لـ FinFET، حيث تحيط البوابة بالقناة بالكامل، مما يعزز

التحكم والأداء. تستخدم هذه التقنيات في تصنيع معالجات بدقة 7 نانومتر وأقل.

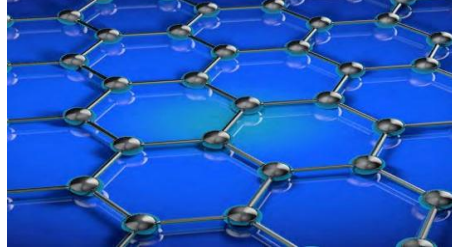






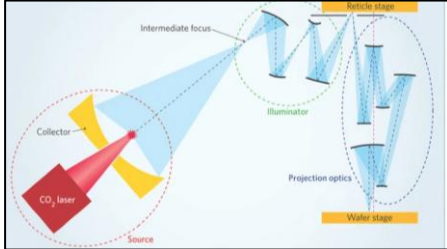
# أهم التطبيقات الحالية لتقنية النانو في تصنيع المعالجات الدقيقة

## الجرافين وأشباه الموصلات الجديدة



الجرافين يُستخدم في ترانزستورات فائقة السرعة، مع كفاءة طاقة محسنة.  
مواد ثنائية الأبعاد (2D Materials): مثل  $\text{MoS}_2$ ، كبديل واحدة للسيليكون في الجيل القادم من المعالجات

## الطباعة النانوية والنقش الضوئي



الطباعة النانوية (Nanoimprint Lithography): تقنية اقتصادية عالية الدقة لنسخ الأنماط النانوية.  
النقش الضوئي بالأشعة فوق البنفسجية القصوى (EUV): تعتمد أطوال موجية قصيرة (13.5 نانومتر) لتصنيع هياكل فائقة الدقة.



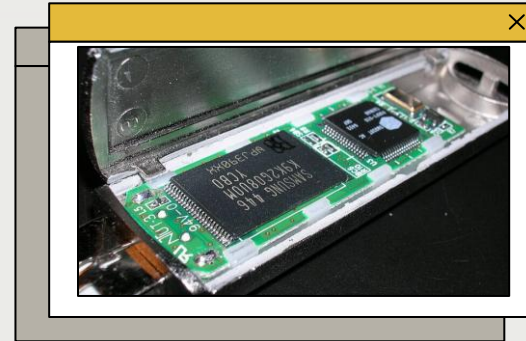
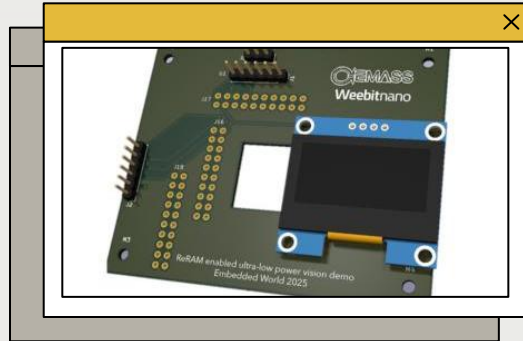
# أهم التطبيقات الحالية لتقنية النانو في تصنيع المعالجات الدقيقة

## أجهزة الذاكرة النانوية

تستخدم تقنية النانو في تطوير أنواع حديثة من الذاكرة مثل :

- ذاكرة فلاش نانوية
- **RRAM: ذاكرة مقاومة التبديل**

تتميز هذه الذاكرات بسعة تخزين أكبر وسرعة وموثوقية محسنة.



# تحسين الموثوقية عبر تقنيات النانو

تُعد الموثوقية من أهم معايير جودة المعالجات، وتسهم تقنيات النانو في تعزيزها عبر المحاور التالية:

## مقاومة الحرارة وتحسين التبريد

تساعد المواد النانوية على توزيع الحرارة بكفاءة داخل الشريحة وتقليل النقاط الساخنة، مما يعزز استقرار الأداء.

## مقاومة التآكل والتلف

تُستخدم طبقات نانوية واقية ومواد عازلة لتحسين متانة التوصيلات الداخلية، وتقليل حدوث الأعطال الناتجة عن الظروف البيئية.

## تقليل التسرب الكهربائي

تُمكن تقنية النانو من تصنيع ترانزستورات ذات بوابات محكمة مثل FinFET و GAAFET، إضافة إلى استخدام مواد Low-k، مما يحدّ من فقدان الطاقة.






## تحسين الموثوقية عبر تقنيات النانو

تُعد الموثوقية من أهم معايير جودة المعالجات، وتسهم تقنيات النانو في تعزيزها عبر المحاور التالية:

### تحسين استقرار الإشارات

يساهم التحكم الدقيق في البنى النانوية في تقليل التداخل والتشويش الكهرومغناطيسي، مما يرفع من جودة المعالجة وسرعة البيانات.

### الاختبار والتقييم الدقيق

تُستخدم أدوات متقدمة مثل المجاهر الإلكترونية وتقنيات التصوير النانوي لاكتشاف العيوب بدقة، وضمان موثوقية المعالجات في ظروف التشغيل المختلفة.

# التحديات التي تواجه تطبيقات النانو في المعالجات الدقيقة

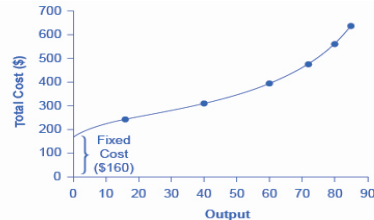
رغم الإمكانيات الهائلة لتقنيات النانو في تطوير المعالجات الدقيقة، إلا أن تطبيقها يواجه عددًا من التحديات التقنية، الاقتصادية، والبيئية.

## تعقيد عمليات التصنيع

- ❑ الحاجة إلى تقنيات دقيقة جدًا مثل الطباعة النانوية وEUV.
- ❑ الاعتماد على غرف تصنيع فائقة النقاء (Clean Rooms).

## تكلفة الإنتاج العالية

- ❑ غلاء المواد النانوية مثل CNTs والجرافين.
- ❑ الحاجة إلى معدات متقدمة.
- ❑ ارتفاع تكلفة البحث والتطوير.



# التحديات التي تواجه تطبيقات النانو في المعالجات الدقيقة

رغم الإمكانيات الهائلة لتقنيات النانو في تطوير المعالجات الدقيقة، إلا أن تطبيقها يواجه عددًا من التحديات التقنية، الاقتصادية، والبيئية.

## الاعتبارات البيئية والصحية

- ❑ قلة المعرفة حول التأثيرات الصحية للجسيمات النانوية.
- ❑ ضرورة تطوير معايير أمان دقيقة.

## تحديات قياس الجودة والاختبار

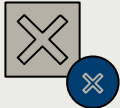
- ❑ الحاجة لأدوات دقيقة لاكتشاف العيوب.
- ❑ صعوبة تقييم الموثوقية على المدى البعيد.

## تحديات التكامل مع تقنيات السيليكون

- ❑ مشاكل دمج المواد النانوية مع البنية التقليدية.
- ❑ عدم التوافق في الخواص الفيزيائية والكيميائية.

## مشكلات الاستقرار والتحكم

- ❑ النقاط الكمية والجرافين قد تفتقر للاستقرار طويل الأمد.
- ❑ صعوبة التحكم في الخصائص أثناء التصنيع.



# آفاق مستقبلية لتقنيات النانو في صناعة المعالجات الدقيقة

مع استمرار التقدم في تقنيات النانو، وازدياد الحاجة إلى معالجات أكثر كفاءة وأداء، تبرز عدة اتجاهات واعدة لمستقبل هذه التقنيات في الصناعة:

## الجيل القادم من الترانزستورات النانوية

### الترانزستورات النانوية المتقدمة

استخدام مواد مثل الجرافين و  $\text{MoS}_2$  كبدايل للسيليكون، لتحقيق أداء أعلى واستهلاك طاقة أقل.

### الترانزستورات الكمومية

اعتماد الظواهر الكمومية للتحكم الدقيق بالإلكترونات، مما يتيح تطوير معالجات فائقة السرعة والدقة.



# آفاق مستقبلية لتقنيات النانو في صناعة المعالجات الدقيقة

مع استمرار التقدم في تقنيات النانو، وازدياد الحاجة إلى معالجات أكثر كفاءة وأداء، تبرز عدة اتجاهات واعدة لمستقبل هذه التقنيات في الصناعة:

المعالجات القائمة على الحوسبة الكمومية

المعالجات الكمومية

تصنيع البتات الكمومية (qubits) باستخدام تقنيات النانو، ما يفتح آفاقاً لقدرات حوسبة غير مسبوقة.





## آفاق إضافية لتقنيات النانو في المعالجات الدقيقة

مع استمرار التقدم في تقنيات النانو، وازدياد الحاجة إلى معالجات أكثر كفاءة وأداء، تبرز عدة اتجاهات واعدة لمستقبل هذه التقنيات في الصناعة:

### الذكاء الاصطناعي والمعالجات المتخصصة

تُستخدم تقنيات النانو لتطوير وحدات معالجة عصبية (NPUs) بكثافة ترانزستورات عالية وأداء حراري مُحسّن لتطبيقات الذكاء الاصطناعي.

### الطباعة النانوية والأنظمة المرنة

إنتاج رقائق إلكترونية مرنة وخفيفة عبر الطباعة النانوية، تدعم الأجهزة القابلة للارتداء والتطبيقات الطبية الحيوية.



## آفاق إضافية لتقنيات النانو في المعالجات الدقيقة

مع استمرار التقدم في تقنيات النانو، وازدياد الحاجة إلى معالجات أكثر كفاءة وأداء، تبرز عدة اتجاهات واعدة لمستقبل هذه التقنيات في الصناعة:

### الاستدامة والنانو الأخضر

التركيز على تطوير مواد نانوية صديقة للبيئة، مع تقنيات تصنيع منخفضة الانبعاثات لتحقيق إلكترونيات مستدامة.

### التكامل مع النانو الحيوي

دمج النانو مع الأنظمة الحيوية لصناعة معالجات دقيقة قابلة للزرع وأجهزة استشعار ذكية في التطبيقات الطبية.





# دراسة حالة تجريبية تطبيقية

## دراسة حالة: تطبيق تقنيات النانو في معالجات 5 – TSMC نانومتر

مع تزايد الطلب على معالجات أكثر سرعة وكفاءة، اعتمدت شركة TSMC على تقنيات النانو لتطوير معالجات بدقة 5 نانومتر. توضح هذه الحالة كيف ساهمت هذه التقنيات في تحسين الأداء والموثوقية ضمن مشاريع بحثية وصناعية متقدمة.

### أولاً: تقنيات النانو المستخدمة

#### 1. ترانزستورات FinFET (الزعرنية):

- ☐ تعتمد على تصنيع ترانزستورات ثلاثية الأبعاد باستخدام مواد نانوية.
- ☐ يقلل من تسرب التيار ويزيد من كفاءة التشغيل عند أبعاد نانوية.





# دراسة حالة تجريبية تطبيقية

أولاً: تقنيات النانو المستخدمة

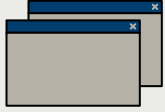
## 2. المواد النانوية البديلة للسيليكون:

- ☐ استخدام مواد مثل الغرافين ومركبات III-V مثل GaAs لتحسين التوصيل.
- ☐ توفير استقرار حراري أعلى وعمر أطول.

## 3. الليثوغرافيا بالأشعة فوق البنفسجية القصوى (EUV)

- ☐ تستخدم شعاعاً ضوئياً نانوي الطول الموجي لطباعة دوائر بدقة أقل من 7 نانومتر..





# دراسة حالة تجريبية تطبيقية

## ثانياً: التطبيق العملي للنظام

### الخطوات العملية للتنفيذ

الخطوة	التوضيح
التصميم البنيوي للنواة	استخدام برامج CAD مثل Cadence أو Synopsys لتصميم الترانزستورات بأبعاد نانوية.
المحاكاة الكهربائية والحرارية	استخدام نماذج SPICE لمحاكاة الأداء في بيئة إلكترونية دقيقة.
التصنيع باستخدام EUV	الطباعة الضوئية باستخدام جهاز EUV بحجرة نظيفة فائقة الدقة.
اختبار الموثوقية	تعريض المعالج لاختبارات الإجهاد الحراري، والإشعاع، والجهد العالي، لتقييم الثبات.
التغليف والتبريد النانوي	استخدام مواد نانوية في تبريد المعالج (مثل سوائل نانوية أو هياكل كربونية دقيقة).





## دراسة حالة تجريبية تطبيقية

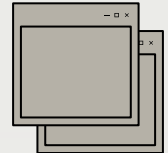
### ثالثاً: نتائج التحليل

تحسن الأداء بنسبة 15% مقارنة بمعالجات 7 نانومتر. ✓

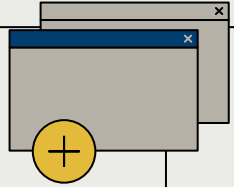
خفض استهلاك الطاقة بنسبة 30%. ✓

زيادة الموثوقية في البيئات الحرارية العالية بفضل المواد النانوية. ✓

تقليل نسبة فشل الترانزستورات بفضل زيادة العزل وجودة التصنيع. ✓



# دراسة حالة تجريبية تطبيقية



## رابعاً: التحديات والحلول

التحدي	الحل باستخدام تقنيات النانو
تداخل الإشارات (Crosstalk)	عوازل نانوية ثلاثية الأبعاد بين الأسلاك
تسرب الطاقة	مواد ذات فجوة نطاق أوسع وأكسيد نانوي
تبديد الحرارة	استخدام موصلات حرارية نانوية كأنايب الكربون





## دراسة حالة تجريبية تطبيقية

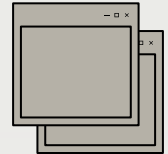
### خامساً: التوصيات لتطبيق النظام في بيئات محلية

✓ إنشاء مراكز أبحاث نانوية بالتعاون مع الجامعات.

✓ استيراد أو تطوير معدات EUV ضمن برامج توطين التقنية.

✓ تدريب مهندسين على تصميم المعالجات الدقيقة بدقة دون 10 نانومتر.

✓ دعم الحكومات والمستثمرين لتقليل تكاليف الإنتاج الأولية.





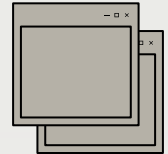


# دراسة حالة تجريبية تطبيقية

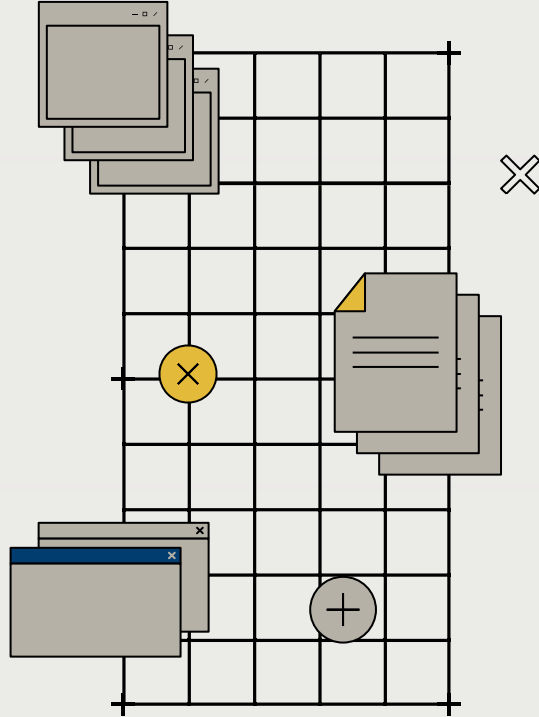


## خلاصة الدراسة

تعد تقنيات النانو عاملاً جوهرياً في تصنيع المعالجات الحديثة، ليس فقط لزيادة الأداء، بل لتحسين الموثوقية والطاقة والاستقرار الحراري. الدراسة التجريبية على TSMC توضح إمكانية التطبيق العملي إذا توافرت بيئة تكنولوجية ومؤسسية داعمة.



شهدت صناعة المعالجات الدقيقة تطورًا جذريًا بفضل تقنيات النانو، التي أسهمت في تقليص حجم الترانزستورات وزيادة كثافتها باستخدام تقنيات متقدمة مثل FinFET، GAAFET، وEUV، مما انعكس بشكل إيجابي على الأداء وكفاءة استهلاك الطاقة. كما أدت هذه التقنيات إلى تعزيز موثوقية المعالجات من خلال تقليل التسرب الكهربائي، وتحسين التبريد، وزيادة المتانة الميكانيكية، بما يلبي متطلبات الأجهزة الحديثة. وعلى الرغم من استمرار وجود تحديات تقنية واقتصادية، فإن مستقبل المعالجات الدقيقة بات وثيق الارتباط بتطور تقنيات النانو، خاصة في مجالات الحوسبة الكمومية، والمعالجات العصبية، والإلكترونيات المستدامة، مما يستدعي مواصلة البحث والتطوير لمواكبة الطلب المتزايد على الأداء العالي والموثوقية المتقدمة.

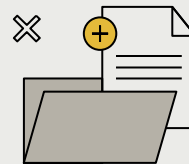


شكراً لكم!





## المراجع



- ☐ <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2019.03.007>
- ☐
- ☐ A comparative study of lifetime reliability of planar MOSFET and FinFET technologies, ScienceDirect.
- ☐
- ☐ Statistical variability and reliability in nanoscale FinFETs , ResearchGate.
- ☐
- ☐ Comprehensive Review of FinFET Technology, MDPI.
- ☐
- ☐ Effect of NBTI/PBTI Aging on FinFET vs MOSFET Flip-Flops, arXiv.
- ☐
- ☐ A Review of Reliability in Gate-All-Around Devices, PMC.
- ☐ FinFET vs MOSFET: What are the Differences, LisleApex.

