



جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل - كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

الخصائص المغناطيسية البلازمية لتراكيب نانوية هجينة المحضرة بطريقة الأستئصال بالليزر في الأوساط السائلة

بحث مقدم

إلى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة في جامعة بابل وهي جزء من متطلبات

الحصول على درجة الدبلوم العالي تربية / فيزياء المواد وتطبيقاتها

من قبل

ميس حسين حافظ حامد

بكالوريوس علوم فيزياء الليزر

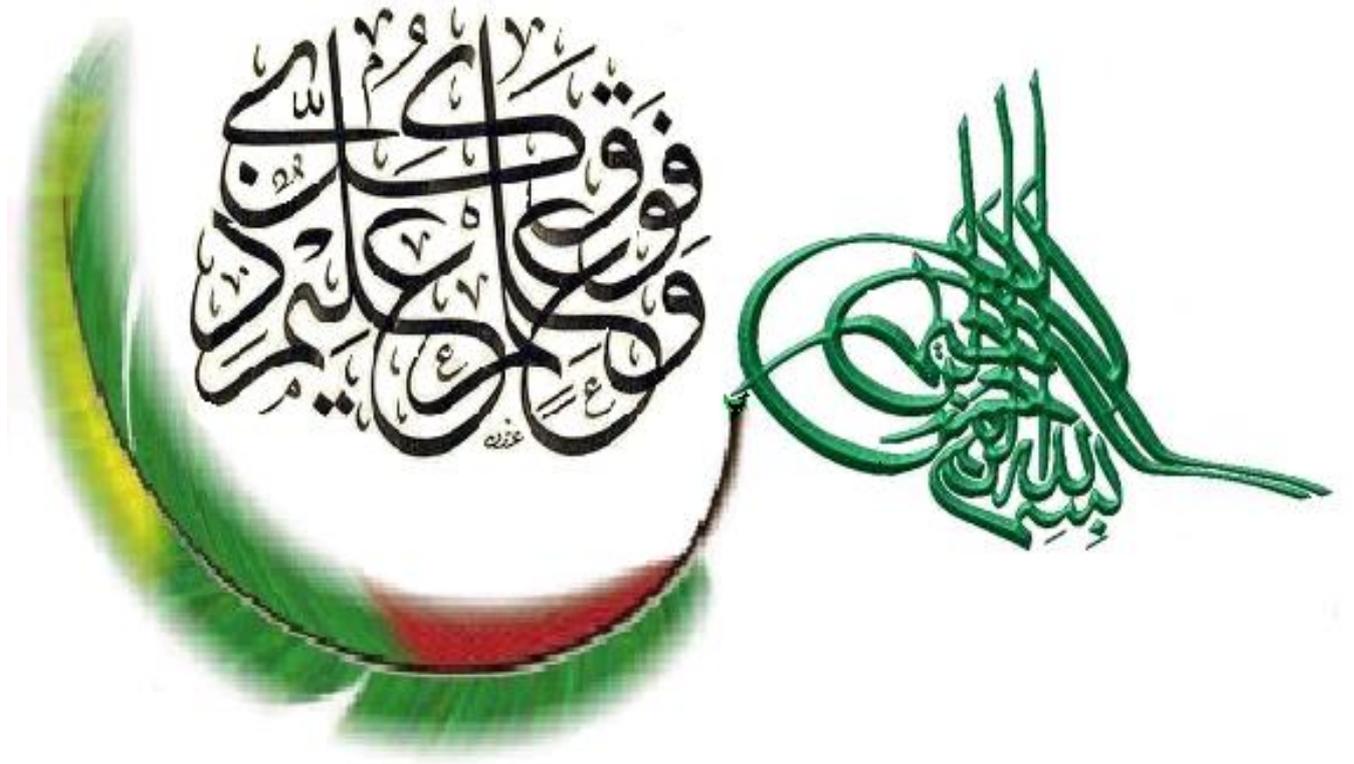
(جامعة بابل - ٢٠١٦)

بأشراف

أ.د. طالب محسن عباس

٢٠٢١م

محرم ١٤٤٣ هـ



سورة يوسف الاية ٧٦

شكر وتقدير

أحمدُ الله وأشكره تعالى على ما أنعم به عليَّ من فضل وتوفيق فمحنني العلم
والمعرفة والقدرة على إتمام هذا الجهد المتواضع

ويسرني أن أتقدم بجزيل الشكر والتقدير لأستاذي ومشرفي على هذا البحث

(أ.د طالب محسن عباس الشافعي) لدعمه المتواصل في النصح والارشاد طيلة
فترة إعدادة...

والشكر موصول الى الاساتذة الافاضل الدكتور احمد كاظم خضيرى والاستاذ
رافع من كلية العلوم للبنات- قسم فيزياء الليزر لما قدماه لي من مساعدة علمية
كبير...

ويسرني أن أتقدم ايضاً بالشكر الى رئاسة قسم الفيزياء ولكافة أعضاء الهيئة
التدريسية في كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم الفيزياء...

كما وأتقدم بالشكر الجزيل لزملائي في مرحلة الدبلوم العالي على ما قدموه من
مساعدة وتذليل للعقبات فلهم كل الشكر والتقدير ...

ميس الدهان

الخلاصة

تهدف الدراسة التجريبية الحالية إلى توليف وتقييم الخصائص البلازمونية/المغناطيسية للجسيمات النانوية المعدنية لإدخال نوع هجين من الجسيمات النانوية اللب/ القشرة التي يمكن استخدامها في الطب الحيوي والتطبيقات البصرية. بالنسبة لهذه الجسيمات النانوية اللب/القشرة، تم استخدام الذهب (Au) كمادة بلازمونية والحديد (Fe) كشريك في الأجزاء المغناطيسية. حضرت الجسيمات النانوية والجسيمات النانوية اللب/ القشرة عن طريق الاستئصال بالليزر النبضي في الأوساط السائلة باستخدام نبضة ليزر انديوم ياك (Nd: YAG) في الماء منزوع الأيونات ، وكذلك محلول مائي بولي فينيل بيروليديون (PVP) وللمقارنة محلول مائي من بولي (كحول فينيل) (PVA) مذابان في الماء المقطر منزوع الأيونات بنسبة (1%)، تمت دراسة الخواص البصرية البلازمونية للجسيمات النانوية المقترحة بواسطة التحليل الطيفي البصري للتحقق من التأثير الفوتوني. علاوة على ذلك ، درست الخواص المغناطيسية للجسيمات النانوية اللب/القشرة المحضرة تجريبيا باستخدام طريقة هز العينات داخل مجال مغناطيسي متغير تصل قيمته حتى 1 تسلا. كشفت النتائج عن سلوك خطي بصري قابل للضبط وقابل للتعديل وخواص بلازمونية واضحة من خلال تتبع معامل الانكسار تحت وسائط مادية مختلفة. وأظهرت النتائج أيضاً أنه تم تحقيق خواص مغناطيسية فائقة في الجسيمات النانوية اللب/القشرة عن طريق التغيير في الوسط المحيط. وفقاً لذلك ، يمكن أن تفتح النتائج رؤية جديدة في المنطقة البلازمونية المغناطيسية للتطبيقات الطبية الحيوية المفيدة.

قائمة المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع	الفقرة
الفصل الاول / المبادئ الاساسية		
١	المقدمة	١.١
٢	البنية النانوية	٢.١
٣	الجسيمات نانوية اللب/القشرة	١.٣
٣	طرق توليف المواد نانوية	١.٤
٥	طريقة الاستئصال بالليزر النبضي (الاجتثاث بالليزر)	٥.١
٦	ألية الاستئصال بالليزر النبضي في الطور السائل	٦.١
٨	مميزات وعيوب الأجتثاث بالليزر النبضي في سوائل	٧.١
٩	البلازموك	٨.١
١٠	البلازمون السطحي الأنتشاري	١.٨.١
١٠	رنين البلازمون السطحي الموضوعي	٢.٨.١
١٣	الخصائص المغناطيسية للمواد	٩.١
١٤	المواد الدايا مغناطيسية	١.٩.١
١٥	المواد البارامغناطيسية	٢.٩.١
١٦	المواد الفيرومغناطيسية	٣.٩.١
١٧	المواد ضدديه المغناطيسية	٤.٩.١
١٧	المواد الفيرومغناطيسية	٥.٩.١
١٧	المواد السوبربارامغناطيسية	٦.٩.١
١٨	حلقة الهسترة المغناطيسية	١٠.١
٢٠	الخواص المغناطيسية البلازمونية في المواد نانوية	١١.١
٢١	الحد الفاصل بين مادتين	١٢.١
٢٣	الدراسات السابقة	١٣.١
٢٦	الأهداف والدوافع البحثية	١٤.١
الفصل الثاني		
الجزء العملي/ توليف ووصف العينات		
٢٧	المقدمة	١.٢
٢٧	تحضير العينات السائلة	٢.٢
٣٠	الاجهزة المستخدمة	٢.٣

٣٠	مطياف الأشعة فوق البنفسجية - المرئية	٢.١.٣
٣٠	المجهر الإلكتروني الماسح (SEM-FE)	٢.٣.٢
٣١	الاهتزاز المغناطيسي للعينات	٢.٣.٣
	الفصل الثالث/النتائج والمناقشة	
٣٢	المقدمة	١.٣
٣٢	النتائج التجريبية	٢.٣
٣٢	نتائج قياسات الخواص البصرية	١.٢.٣
٣٥	نتائج صور المجهر الإلكتروني الماسح	٣.٢.٢
٣٦	نتائج خصائص العزل الكهربائي	٣.٣.٢
٤٠	نتائج قياسات VSM	٤.٢.٣
٤٤	الاستنتاجات	٣.٣
٤٥	اقتراحات للعمل في المستقبل	٤.٣
٤٦	المصادر	

قائمة الرموز

Au	الذهب	1
Ag	الفضة	٢
Cu	النحاس	٣
Pt	البلاتين	٤
MP	جسيمات نانوية المغناطيسية	٥
CO	كوبلت	٦
Fe	الحديد	٧
Ni	نيكل	٨
LAL	الأجتثاث بالليزر نبضي	٩
SPP	البلازمون السطحي الانتشاري	١٠
LSPR	رنين بلازمون السطحي الموضعي	١١
E	شدة المجال الكهربائي	١٢
D	الازاحة	١٣
H	شدة المجال المغناطيسي	١٤
B	كثافة التدفق	١٥
ϵ_0	سماحية الكهربائية	١٦
μ_0	نفاذية المغناطيسية للفراغ	١٧
ρ_e	كثافة الشحنة الكلية	١٨
\vec{J}	كثافة التيار الكلية	١٩
m_e	كثافة الالكترون الحر	٢٠
X	ازاحة الالكترون	٢١
q_e	شحنة الالكترون	٢٢
γ	عامل التخميد الالكتروني	٢٣
W	التردد الزاوي	٢٤
n	عدد الالكترونات للالكترون الحر	٢٥
$\rho^{\omega}W$	تردد البلازما للالكترون الحر	٢٦
ϵ_w	داله العزل للالكترون الحر	٢٧
Pa	قابليه استقطاب الجسيمات النانوية	٢٨
R	نصف قطر الجسيمات نانوية	٢٩

(w)ε	ثابت العزل الكهربائي للمعدن	٣٠
ε _d	داله العزل الكهربائي للوسط المحيط	٣١
scσ	المقطع العرضي للتشتت	٣٢
acσ	المقطع العرضي للامتصاص	٣٣
M	التمغنت	٣٤
X	تأثيرية المغناطيسية	٣٥
Cr	الكروم	٣٦
Mno	أوكسيد المنغنيز	٣٧
Feo	أوكسيد الحديد	٣٨
Nio	أوكسيد النيكل	٣٩
ε _o Fe	المغنتيت	٤٠
iron-α	الفريت	٤١
Zn	الزنك	٤٢
Mg	المغنسيوم	٤٣
MRI	تصوير بواسطه الرنين النووي المغناطيسي	٤٤
maxH	مجال المغناطيسي المسلط	٤٥
cH	المجال القسري	٤٦
oM	نشاط المغناطيسي البصري	٤٧
SPR-MO	متحسسات الرنين المغناطيسي السطحي للبلازمون	٤٨
∅	داله الشغل	٤٩
∅ _M	داله الشغل للمعدن	٥٠
μ	الطاقة الكامنة الكيميائية الذرية	٥١
PVP	بولمر بولي فينيل بيروليدون	٥٢
PVA	بولمر بولي كحول فينيل	٥٣
SEM-FE	المجهر الألكتروني الماسح	٥٤
K	متجه الموجة للضوء الساقط	٥٥
A	الامتصاص	٥٦

Introduction

في الآونة الأخيرة ، أدرك الباحثون أن خلط المواد النانوية له خصائص مختلفة مما يفتح مجالاً جديداً من التطبيقات في مجال تكنولوجيا النانو ، وقد حصر الباحثون انتباههم في العثور على مركبات نانوية جديدة بحيث يمكنهم تحقيق خصائص فيزيائية وكيميائية جديدة. واحدة من هذه الهياكل النانوية التي يمكن أن تعطي خصائص جديدة ورائعة هي الجسيمات النانوية اللب/القشرة (Core/Shell NPs) كمزيج من مادتين مختلفتين في هيكل نانوي واحد [١,٢]. علاوة على ذلك ، تم إحراز تقدم هائل خلال العقود القليلة الماضية في تصنيع وتوصيف الجسيمات النانوية اللب / القشرة [٣]. في الوقت نفسه ، ساعد تقدم تقنيات التوصيف بشكل كبير أيضاً في إنشاء هذه الهياكل النانوية المختلفة، وقد جذبت الجسيمات النانوية المكونة من أكثر من مركب اهتماماً كبيراً بسبب وظائفها الإضافية الناتجة عن دمج المواد ذات الخصائص المختلفة [٤].

وفقاً لذلك ، ركز عدد كبير من الدراسات على الجسيمات النانوية المعدنية النبيلة (NPs) مثل الذهب (Au) والفضة (Ag) والنحاس (Cu) والبلاتين (Pt) نظراً لخصائص البلازمونك (Plasmonic) التي تتميز بها [٦,٥]. علاوة على ذلك ، تم تصنيع جسيمات نانوية مغناطيسية / بلازمونية (MP) جديدة من خلال الجمع بين الجسيمات النانوية البلازمونية المعدنية مع جسيمات نانوية مغناطيسية مثل الكوبلت (Co) والحديد (Fe) والنيكل (iN) [٨]. علاوة على ذلك ، يمكن أن يؤدي التفاعل بين هاتين المادتين في هياكل MP إلى تغيير الحالات الإلكترونية المعدنية التي تختلف عن حالات المعادن المكونة الفردية. هذه الحالات الإلكترونية الجديدة مفيدة في تحديد الخصائص المغناطيسية البلازمونية الجديدة ، أو ضبطها من حالة مغناطيسية إلى أخرى. في الواقع ، تعد خصائص الضبط والسيطرة هذه ضرورية للحصول على تطبيقات واسعة في الاستشعار البيولوجي والتشخيص والعلاجات الطبية، والتصوير عالي التباين [٨]، بالإضافة إلى المساهمة في تطوير الأجهزة الفوتونية النانوية وكذلك تعتبر نقلة نوعية للعلاج الطبي الحيوي، وما إلى ذلك [٩].

في البحوث السابقة ، يتوفر عدد قليل من التقارير الحديثة حول التراكيب النانوية الهجينة، ولا تزال هناك حاجة إلى بذل جهود كبيرة لتطوير المزيد من الأعمال حول الهياكل النانوية المغناطيسية البلازمونية ، على هذا الأساس، تم اختيار موضوع بحثنا.

في السنوات الماضية ظهرت تقنية النانو (logyNano techno) و أصبحت محط اهتمام العالم بشكل كبير، حيث نتج عن هذه التقنية طفرة هائلة في جميع فروع العلوم و الهندسة، بالإضافة الى تطبيقات عديدة في المجالات الطبية و الحيوية، الزراعية، الصناعية، الإلكترونية، البتروكيميائية، والعسكرية [١٠،١١]. بدأ مجال تكنولوجيا النانو في عام ١٩٥٩ عندما قدم ريتشارد بي فاينمان محاضراته الشهيرة "هناك الكثير من الغرف في القاع" [١٢]. المصطلح اليوناني (نانو) يعني "قزم" يشير إلى "صغير جدًا" ويُشار إليه على أنه وحدة عالمية (وحدة SI) للعينة "n" كعامل 10^{-9} [١٣]. يرتبط النمو السريع لتكنولوجيا النانو بالتطبيقات اللانهائية للأجهزة والأنظمة والهياكل، من خلال التحكم في الحجم والشكل والهيكل بمقياس نانومتر [١٤]. توفر المواد في هذا المقياس العديد من المزايا، اعتمادًا على الحجم والشكل والبنية وطريقة التحضير [١٥].

يقصد بعلم النانو هو العلم الذي يهتم بدراسة و توصيف المواد النانوية و تحديد صفاتها الفيزيائية و الكيميائية مع دراسة الظواهر المرتبطة الناشئة عن تصغير أحجامها. يهدف تصغير أحجام و مقاييس المواد الى مستوى النانومتر الى إنتاج صنف جديد من المادة يدعى باسم المادة النانوية حتى تتناسب صفاتها المتميزة مع متطلبات التطبيقات التكنولوجية المتطورة، حيث تنفرد المواد النانوية على اختلاف أنواعها بخواص فيزيائية، كيميائية و ميكانيكية استثنائية تميزها عن المواد التقليدية ذات الحبيبات الكبيرة، و يقصد بالمواد النانوية بأنها الصنف المميز من المواد المتطورة و التي يمكن إنتاجها حيث تتراوح قياسات ابعادها بين (١-١٠٠ nm). و تعد المواد النانوية بمكانة أحجار بناء و تصنيع المنتجات الجديدة فأن تمتع تلك المواد المصنعة بصفات متطورة يعكس على كفاءة و أداء المنتج النهائي و الذي يتم إنتاجه بحيث تتوفر فيه صفات لا يمكن توفرها بالمنتجات التقليدية [١٦]. يمكن تصنيف الجسيمات من أنواع و مواد مختلفة في النطاق النانومتر وفقًا لتكثرت الذرات و الجزيئات كما هو موضح في الشكل (١-١) إلى [١٦]:

١. الجسيمات النانوية الصفرية الأبعاد Zero dimensional nanoparticles

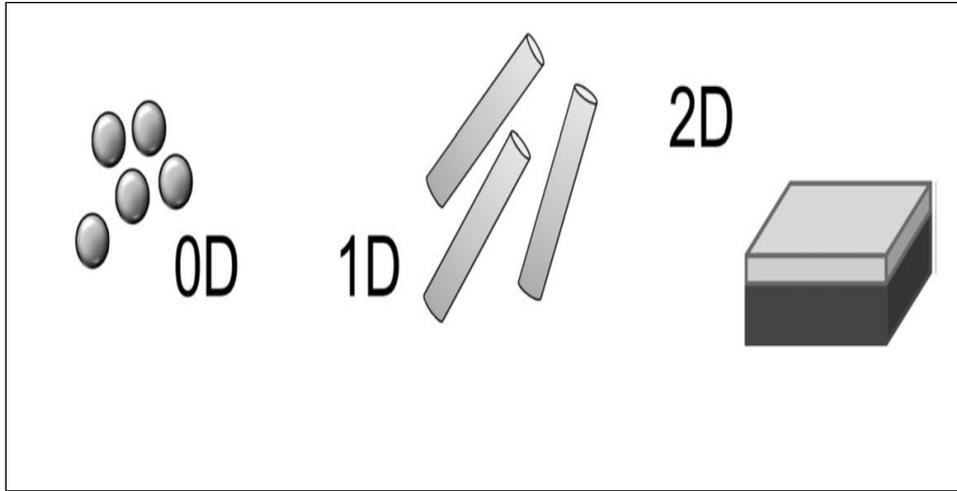
هذه الجسيمات النانوية لها جميع الاتجاهات الثلاثة في مقياس النانومتر. يتم عزل الجسيمات النانوية ذات الأبعاد الصفرية عن بعضها البعض مثل مواد الكتلة النانوية أو الجسيمات المعدنية أو جزيئات أشباه الموصلات (النقاط الكمومية) [١٧].

٢. الجسيمات النانوية أحادية الأبعاد One dimensional nanoparticle

هذه الجسيمات النانوية لها طول اتجاه واحد فقط خارج نطاق النانومتر بما في ذلك العصي النانوية والأسلاك النانوية والأنابيب النانوية. يقع تحت هذا الصنف جميع المواد التي يقل أحد قياسات أبعادها عن ١٠٠ nm، و سمي هذا الصنف بـ مواد النانو ذات البعد الواحد (تمتلك بعد نانوي واحد فقط)، و من

الأمثلة على مواد النانو ذات البعد الأحادي، مواد النانو الموظفة في أعمال طلاء الأسطح (Surface Nano Coating) و التي تستخدم في طلاء أسطح المنتجات الفلزية بهدف حمايتها من التآكل بالصدأ أو تلك الأفلام رقيقة السمك (Thin Films) المستخدمة في تغليف المنتجات الغذائية بهدف حمايتها من التلوث و التلف [١٨].

٣. الجسيمات النانوية ثنائية الأبعاد **Two dimensional nanoparticles** هذه الجسيمات النانوية لها اتجاهان خارج نطاق النانومتر ، بما في ذلك الأغشية النانوية ، و سطح الطلاء، والصفائح النانوية. يشترط في مجموعة هذا الصنف من مواد النانو أن يقل مقياس بعدين من أبعادها عن ١٠٠ nm، و تعد أنابيب النانو (Nano Tubes) و منها أنابيب الكربون النانوية ، و ألياف النانو و كذلك أسلاك النانو (Nano Wires) أمثلة مهمة لتلك الفئة من المواد [١٩] .



الشكل (١-١) الجسيمات النانوية مصنفة حسب اتجاهاتها [٢٠].

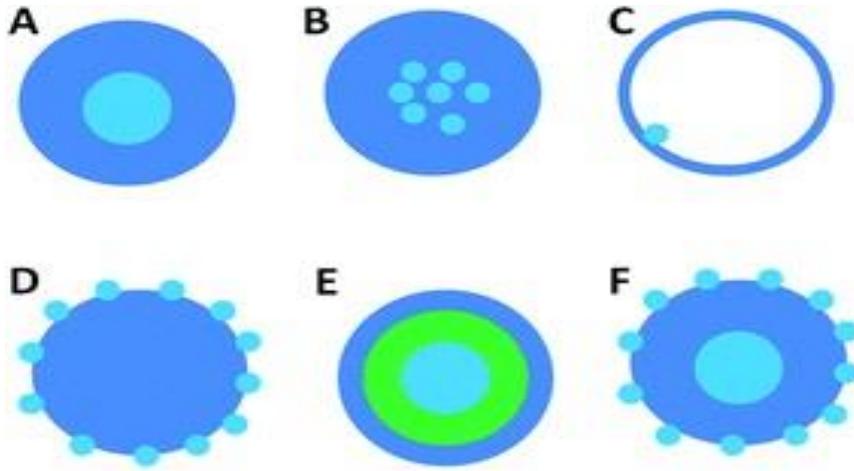
sCore shell Nanoparticle

١. الجسيمات النانوية اللب / القشرة

في الوقت الحاضر، ركز الباحثون اهتمامهم في مجال تكنولوجيا النانو على إيجاد مركبات نانوية جديدة وبنى نانوية من أجل تحقيق خصائص فيزيائية وكيميائية جديدة. تعتبر الجسيمات النانوية اللب/القشرة كمزيج من مادتين مختلفتين في نظام نانومتر وحده واحدة من هذه الهياكل النانوية التي يمكن أن تعطي خصائص جديدة ورائعة. يمكن تصنيف الهياكل النانوية بناءً على مواد مفردة أو متعددة إلى جسيمات نانوية بسيطة ومركبة. تتكون الهياكل النانوية البسيطة من مادة واحدة.

في حين أن الهياكل النانوية المركبة تتكون من مادتين أو أكثر مثل الجسيمات النانوية اللب / القشرة [٢١]. يتم تعريف الجسيمات النانوية من نوع اللب/القشرة على أنها لب متحدة المركز (مادة

داخلية) وقشرة طلاء (مادة الطبقة الخارجية). يمكن تصنيف الجسيمات النانوية اللب/القشرة بناءً على المواد الداخلية والخارجية إلى مواد عضوية - عضوية ، لاعضوية - لاعضوية ، عضوية - لاعضوية - لاعضوية ، لاعضوية - مواد عضوية. اعتمادًا على التطبيق ، يمكن اختيار مادة الغلاف وكذلك شكل و / أو هيكل الجسيمات النانوية ؛ يوضح الشكل (٢-١) أنواع بنية مختلفة من الجسيمات النانوية اللب / القشرة [٢٢]. يمكن الحصول على الخصائص المعدلة للجسيمات النانوية اللب / القشرة إما عن طريق تغيير نسبة حجم الجزء اللب الأساسي إلى جزء الغلاف أو تغيير المواد المركبة ، مثل الاستقرار الحراري والتفاعلية والتشتت للنواة. الغرض الرئيسي من طلاء الجزء الأساسي هو تعديلات السطح والاستقرار والتشتت للتحكم في وظائف اللب [٢٣]. تُستخدم الجسيمات النانوية ذات اللب / القشرة على نطاق واسع في العديد من التطبيقات مثل التحكم في توصيل الأدوية ، وعلاج السرطان الحراري الضوئي [٢٤] ، والإلكترونيات الضوئية [٢٥] ، والحفز [٢٦] ، والتألق الضوئي scatalysi [٢٧] ، والتصوير الحراري الحيوي [٢٨].



الشكل (١-٢) رسم تخطيطي يصف اشكالا مختلفة من جسيمات اللب / القشرة [٢٩].

٤.١ طرق توليف المواد النانوية

Methods of Synthesizing Nanomaterials

تعتمد خصائص الجسيمات النانوية (الخواص الفيزيائية والكيميائية) على الحجم والشكل والبنية والاستقرار الفيزيائي وتوزيع الجسيمات النانوية ، والتي يمكن فحصها باستخدام تقنيات مجهرية مختلفة مثل المسح المجهر الإلكتروني ، المجهر الإلكتروني النافذ ، الخ. تعتبر طرق توليد المواد النانوية مهمة لتحديد الخواص للمادة يتم استخدام التقنيات أو الطرق المختلفة لإعداد المواد ذات البنية النانوية مثل: التكتيف من المرحلة الغازية الخاملة، طريقة صناعة السبائك الميكانيكية والطحن بالكرات، طريقة تشويه اللدائن، طريقة الترسيب الكهربائي، طريقة ترسيب البخار للمعادن ، طريقة الطباعة الحجرية مثل الطباعة الحجرية النانوية والطباعة الحجرية بالأشعة فوق البنفسجية الشديدة والطباعة الحجرية بالأشعة السينية والطباعة الحجرية بإسقاط الإلكترون والأيونات ، طريقة التفاعلات الكيميائية ، طريقة الهلام - الغرواني (gel-Sol) ، ترسيب جزيئات البلازما فوق الصوتية ، طريقة الانحلال الحراري المائي، طريقة التوليف بالموجات فوق الصوتية، طريقة التجميع الذاتي، طريقة التريذيد، طريقة الترسيب الكهربائي، طريقة الطلاء بالبرم، طريقة التحلل الحراري المائي، طريقة التحليل الكيميائي الحراري، طريقة الاجتثاث بالليزر (الفراغ ، الغاز ، الطور السائل) . وسوف يتم توضيح طريقة الاجتثاث بالليزر باعتبارها من اهم الطرق الفيزيائية [٣٠-٣٣].

١.٥ طريقة الاستئصال بالليزر النبضي (الاجتثاث بالليزر)

Pulse Laser Ablation

Method

تسمى عملية إزالة المواد من سطح هدف صلب (موضوعة في فراغ أو غاز أو سائل) عن طريق التشعيع بإشعاع الليزر ، الاستئصال بالليزر. يعتمد تفاعل إشعاع الليزر مع المادة على الطول الموجي لليزر ، ومدة النبض، وشدة نبضة الليزر والخصائص البصرية للهدف وما يحيط به. يتم تكوين ونمو الجسيمات النانوية من خلال العديد من العمليات الفيزيائية مثل تكوين عمود البلازما ، والتكتيف ، والتكتل ، والتفتت [٣٤-٣٦]. عندما يقوم الليزر بتشعيع الطاقة الضوئية على سطح المادة ، قد يحدث انعكاس ، ونقل الطاقة، وامتصاص الضوء. تتناقص شدة الليزر الساقط بشكل كبير أثناء انتقاله داخل المادة بسبب معامل امتصاصه للمادة [٣٧]. يعتمد اختيار نظام الليزر على التطبيق في متناول اليد. فإن هيكله المعادن وأشبه الموصلات والعوازل الكهربائية شديدة التنوع. نظرًا لأن الليزر النبضي مدة النبضة قصيرة ويعمل بشدة عالية جدا ، فإنه يستخدم الامتصاص غير الخطي وبالتالي فهو خيار واضح للمعالجة بالليزر للمواد ولكن كل هذا يتوقف على مواصفات التطبيق [٣٨]. إذا كانت الهياكل النانوية المطلوب انتاجها على مقياس مئات النانو متر او المايكرومتر من التطبيق ، فغالبًا ما يوفر ليزر النانو

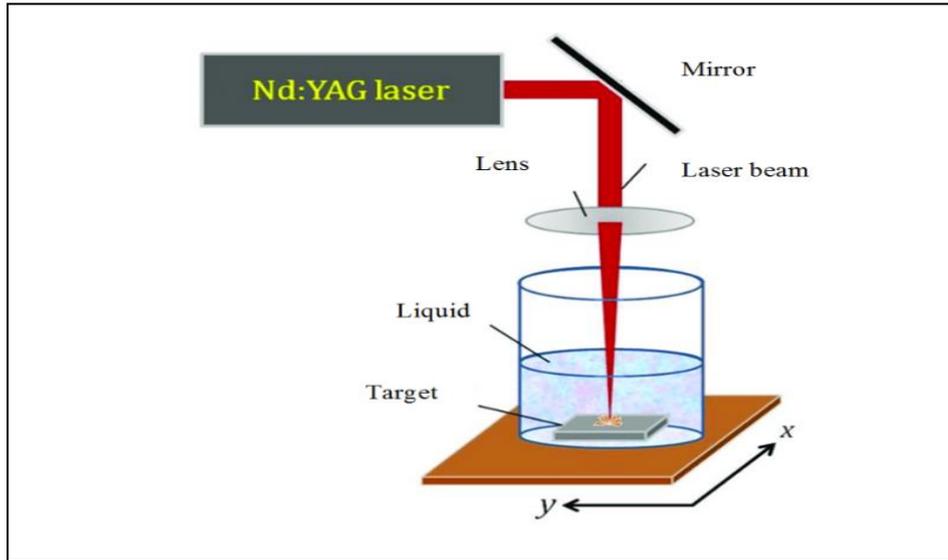
ثانية دقة كافية ، وعادة ما يكون له إنتاجية أكبر ، مما يجعله الحل المفضل. ومع ذلك ، فإن الميزات الموجودة على مقياس النانومتر مطلوبة ، وسيكون نظام الليزر بيكو أو فيمتو ثانية خيارًا أفضل.

٦.١ آلية الاستئصال بالليزر النبضي في الطور السائل

Phase blation in liquidA Laser Pulse of echanismM

(PLAL) يعتبر استئصال المادة المستهدفة عند التشعيع بالليزر عملية معقدة للغاية. يخترق نبضة الليزر الساقطة سطح المادة بعمق اختراق معين. يعتمد هذا البعد على الطول الموجي لليزر معامل الانكسار للمادة المستهدفة وعادة ما يكون في نطاق ١٠ نانومتر. عندما يمتص الهدف الصلب نبضة الليزر ، بعد ذلك يتم إنتاج مجال كهربائي بكثافة عالية جدًا على سطح المنطقة المشععة ، يكون المجال الكهربائي القوي الناتج عن ضوء الليزر كافيًا لإزالة الإلكترونات من الجزء الأكبر من حجم اختراق في غضون ١٠ ميكروثانية لنبضة ليزر نانوثانية ، ينتج هذا المجال الكهربائي قوة تنافر قوية بين الأيونات. هذه القوة الطاردة أكبر من قوة الرابطة ، والتي تتسبب في تجريد سطح المادة الصلبة وتشير هذه العملية إلى انفجار كولوم [٣٩-٤٠].

تتذبذب الإلكترونات الحرة داخل المجال الكهرومغناطيسي ويمكن أن تتصادم مع ذرات المادة السائبة ، وبالتالي تنتقل الطاقة إلى السائل المحيط [٤١]. عند تدفق ليزر الطاقة عالي بما يكفي ، يتم تحويل المادة عادةً إلى بلازما ، والذي يحتوي على أنواع مختلفة من الطاقة بما في ذلك الذرات والجزئيات والإلكترونات والأيونات والعناقيد والجسيمات والكريات المنصهرة. بعد ذلك ، يؤدي الاختلاف الكبير في الضغط بين بلازما البذور الأولية المنتجة بالليزر والجو المحيط إلى توسع سريع في عمود البلازما ثم يبرد. بعد انهيار فقاعة التجويف ، يؤدي الضغط ودرجة الحرارة إلى تبريد عمود البلازما وإطلاق الجسيمات النانوية الصغيرة [٤٢]. يمكن تصميم تفاعل الليزر مع الهدف في بيئات مختلفة لتصنيع مواد مختلفة [٤٣] يوجد عدة عوامل تؤثر على عملية الاستئصال بالليزر منها: الطول الموجي لليزر، طاقة الليزر، نوع الوسط السائل، عمق المسار البصري لحزمة الليزر داخل السائل، و نوع مادة الهدف. يبين الشكل (٣-١) طريقة الاستئصال بالليزر في السوائل .



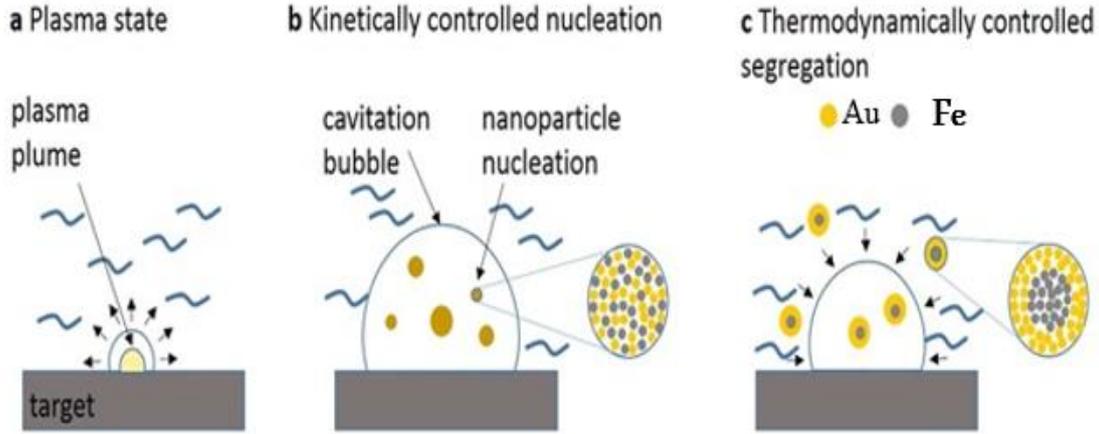
الشكل (١-٣) : رسم تخطيطي لطريقة الاستئصال بالليزر في السوائل [٤٤].

إن آلية هندسة الجسيمات النانوية اللب/القشرة (Core/ Shell) هي نتيجة نهج من خطوتين ، يتم في الخطوة الاولى انتاج جسيمات نانوية بطريقة PLAL، حيث تمثل مادة القلب (Core) ، ثم تتبعها الخطوة الثانية لتوليد مادة القشرة (Shell) . مثلا لتشكيل الجسيمات النانوية Fe@Au، عندما يتم استئصال صفيحة Au في محلول غرواني Fe ، تمتص لوحة Au معظم طاقة الليزر المسلطة . نتيجة لذلك ، يمكن أن تترسب ذرات Au الهاربة من سطح Au على السطح الكروي لجزيئات Fe لتشكيل غلاف Au في بيئة غنية بذرات، Fe كما هو موضح في الشكل (١-٤) مع زيادة وقت الاجتثاث، يمكن تكوين غلاف Au بسبب بيئة ذرات Au الغنية ويزيد سمك غلاف Au تدريجياً أيضاً. يمكن أن يؤدي الاقتران بين اللب والقشرة إلى خصائص رنين البلازمون السطحي (SPR) تختلف عن الجسيمات النانوية المصنوعة من كل مكون فردي [٤٥،٤٦].

يجب أن تكون قابلية الامتزاج بين مادتين عالية وأن تكون الطاقة البينية صغيرة قدر الإمكان لتشكيل الجسيمات النانوية اللب/القشرة بحيث لا تختلف المادة التي تختارها بشكل كبير في ثابت الشبكة (عدم تطابق الشبكة في حدود ١-٣٪) [٥٠-٤٧]. لتحقيق قشرة أساسية موحدة عن طريق الاجتثاث بالليزر في السائل:

- ١ - يجب اختيار تسلسل الخلط بعناية.
- ٢ - التحكم في تغير درجة الحرارة.
- ٣ - يجب اختيار وقت الاجتثاث بشكل صحيح ، حيث يمكن التحكم في سمك الغلاف عن طريق وقت الاجتثاث.





الشكل (٤-١) خطوات آلية تشكيل اللب / القشرة النانوي بعد امتصاص نبضة الليزر. (a) تكوين وتشكيل فقاعة البلازما ، (b) توسع فقاعة البلازما في السائل والتبريد السريع للمادة المستأصلة ، و (c) انهيار فقاعة البلازما وإطلاق الجسيمات النانوية في السائل [٥١].

٧.١ مميزات وعيوب الاجتثاث بالليزر النبضي في السوائل

Advantages and disadvantages of pulsed laser ablation in liquids

تركز العديد من الأبحاث على تقنية النانو للجمع بين خصائص الجسيمات النانوية ، لتوليد مواد نانوية متعددة الوظائف. توجد العديد من الدراسات عن استخدام الطرق الفيزيائية لتخليق الجسيمات النانوية المعدنية ، لكن الاجتثاث بالليزر في السوائل (LAL) هو أحد أكثر الطرق الواعدة لتخليق الجسيمات النانوية ، مقارنة بالطرق الكيميائية ، لكون طريقة الاستئصال بالليزر لا تحتاج إلى إضافة مواد كيميائية إضافية ، بحيث يمكن الحصول على جسيمات نانوية أنقى. علاوة على ذلك ، يمكن إنتاج الجسيمات النانوية في أنواع عديدة من المحاليل ، والتي يمكن استخدامها في التصنيع النانوي والتحكم في تشتت الجسيمات النانوية. يمكن أن ينتج عن الاجتثاث بالليزر جسيمات نانوية من السبائك مع المزايا التالية [٥٢]:

- التحضير بسيط ومريح نسبياً.
- نظام الإنتاج رخيص ولا يتطلب غرف تفريغ مكلفة.
- الجسيمات النانوية التي تم الحصول عليها لها شكل كروي منتظم.
- عدم وجود الكواشف الكيميائية في التحضير النهائي.
- نظام الجسيمات النانوية نقي للغاية دون أي مخلفات أخرى من التفاعلات الكيميائية.
- يتم إنتاج الجسيمات النانوية بمعدل إنتاج ضخم وبتكلفة منخفضة.

- جسيمات النانوية المحضرة بطريقة PLAL كانت مستقرة لمدة شهرين.

على الرغم من هذه المزايا ، إلا أن هنالك بعض عيوب طريقة LALP خاصة تحت الماء منها ان بعض الضوء يمتص بواسطة الماء؛ قد يتشتت الضوء على سطح الماء ، والمعلقات ، والفقاعات ، وأيضًا أن السائل يمكن أن يتناثر من الحاوية في كل نبضة ليزر ، مما يتطلب السائل أن يتم ملؤه باستمرار. هذا يعني أنه كان لابد من إيقاف التجربة عدة مرات خلال عملية الاجتثاث لإعادة ملء السائل. كذلك توزيعات حجم الجسيمات النانوية الإجمالي المحضرة بهذه التقنية تميل إلى الاتساع بسبب التكتل وطرده الأجزاء الكبيرة أثناء الاستئصال بالليزر. لتحقيق تقليل حجم الجسيمات ، يمكن استخدام مواد مختلفة خافضة للتوتر السطحي مختلفة [٥٣].

The

٨.١ البلازمونيك

Plasmonic

البلازمونيك هو مجال دراسة الظواهر الضوئية التي تنتج عن تفاعل إلكترونات الحرة للجسيمات النانوية المعدنية النبيلة مثل الذهب والفضة والنحاس والبلاتين مع الموجات الكهرومغناطيسية (خاصة عند الترددات الضوئية المرئية) والتذبذب الجماعي الذي يُطلق عليه اسم البلازمون السطحي. تشكل البلازمونيك جزءًا مهمًا من المجال الضوئيات النانوية (Nanophotonics)، والتي يمكن أن يحصر مجال كهرومغناطيسي أصغر من الطول الموجي أصغر من حد الانعراج، المجال البصري القريب المعزز لأبعاد الطول الموجي الفرعي المعتمد على التفاعل بين (المجال الكهرومغناطيسي وإلكترونات التوصيل في الواجهات المعدنية) [٥٤]. عندما تصطدم المجالات الكهرومغناطيسية بسطح معدني نبيل ، فإنها تسرع الإلكترونات للمعدن وتؤدي إلى استقطاب ينتج عنه قوة استعادة تؤدي إلى تذبذب الإلكترون الحر للمعدن النبيل كما هو موضح في الشكل (٥-١).

هذا التذبذب مكمّم وتذبذب الإلكترونات الحرة هو تكميم لتذبذبات البلازما ويسمى البلازمون [٥٥]، [٥٦]. يمكن الوصول إلى التذبذب الجماعي الذي يُطلق عليه اسم البلازمون السطحي ، التردد أو الطول الموجي المحدد للضوء الساقط في هذه الظاهرة يعتمد بشدة على نوع وشكل وحجم وسطح الجسيمات النانوية المعدنية النبيلة [٥٧]، بواسطة هذه الأنواع من الجسيمات النانوية إلى امتصاص قوي بسبب التحولات بين المستويات الإلكترونية [٥٨]. يساعد تطوير تقنيات التصنيع النانوي على زيادة تطبيقات الهياكل النانوية البلازمية في مختلف مجالات البحث العلمي والاجهزة الفوتونية [٥٩]. ينقسم البلازمون السطحي إلى نوعين وفقًا لواجهتهما:

(Surface Plasmon Polariton (SPP

١.١.٨ البلازمون السطحي الانتشاري

هي موجات طولية ، تنتشر عند السطح البيني بين المعدن والعازل. تنتقل هذه الموجات بالتوازي مع اتجاه الانتشار ، بمعنى آخر لا يمكن أن تهيج الموجة المستعرضة. الطريقة الأكثر فاعلية لإثارة البلازمون هي استخدام الإلكترونات، أي عندما يثير الضوء الإلكترونات، فإنها ستمر عبر معدن رقيق وطبقة وتفقد بعض الطاقة وهذا الفقد في استخدام الطاقة لإثارة SPP ، واستخدامها لإثارة البلازمون [٦٠]. كما في الشكل (١-٥ a).

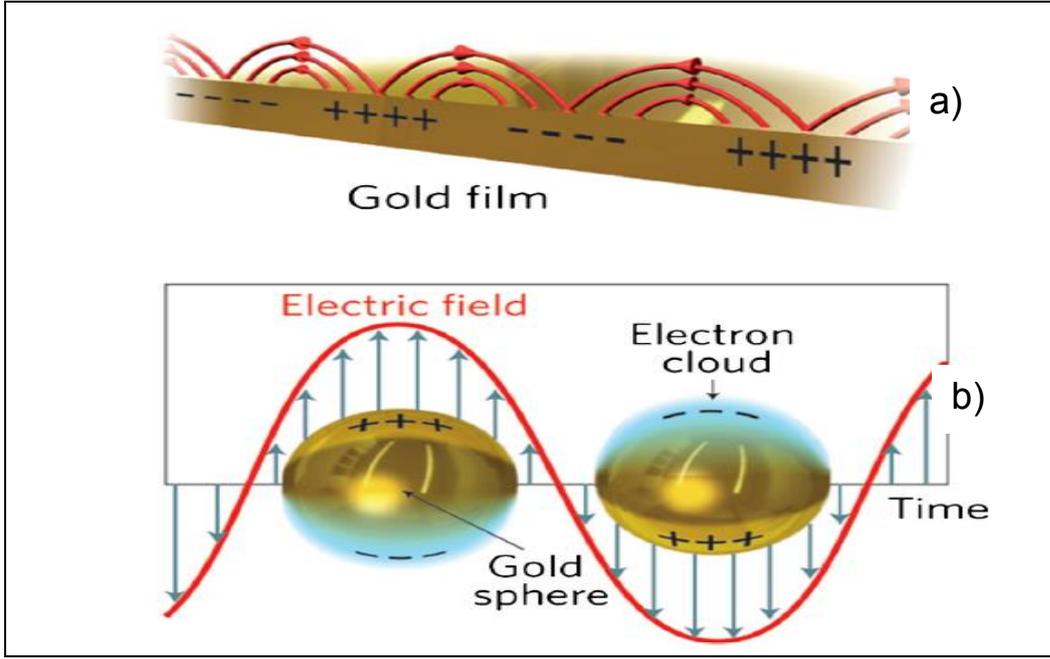
٨.١.٢ رنين البلازمون السطحي الموضعي

Localize surface Plasmon Resonance

(LSPR)

هي موجات غير منتشرة. في حالة الجسيمات النانوية الكروية للمعادن النبيلة من الجسيمات النانوية ، فإن السطح المنحني للمعدن النبيل للجسيمات النانوية يخلق قوة استعادة على الإلكترونات لينتج عنها رنين موضعي. يمكن إثارة هذا النوع من الرنين بواسطة المجال الكهرومغناطيسي الساقط مباشرة على السطح من خلال التشعيع المباشر للضوء [٦١].

رنين البلازمون السطحي الموضعي ((LSPR له تأثيران مهمان. أولاً ، تم تعزيز المجالات الكهربائية بالقرب من سطح الجسم بشكل كبير ، وهذا التعزيز يكون أعلى عند السطح ، ويسقط بسرعة مع المسافة. ثانيًا ، يكون التوهين البصري للجسيم حدًا أقصى ، وهو تردد الرنين البلازموني ، والذي يحدث في الأطوال الموجية المرئية للجسيمات النانوية المعدنية النبيلة. تعتمد ذروة الامتصاص هذه على معامل الانكسار للوسط المحيط [٦٢]. كما في الشكل (١-٥ b).



الشكل (١-٥) رسم تخطيطي يصف النوعين الرئيسيين للبلازمون السطحي للجسيمات النانوية المعدنية (تذبذب الإلكترون الحر)، الأعلى انتشار SPP على طول الحد الفاصل بين الواجهة المعدنية والعازلة في الأسفل LSPR على سطح الجسيمات النانوية المعدنية [٦٣].

يمكن وصف تفاعل الهياكل النانوية المعدنية مع المجالات الكهرومغناطيسية من خلال الشكل الكلاسيكي لمعادلات ماكسويل. تصف معادلات ماكسويل المجال الكهرومغناطيسي لنظام معين من خلال أربعة متجهات لشدة المجال الكهربائي (E)، والإزاحة (D)، شدة المجال المغناطيسي (H)، وكثافة التدفق (B) [٦٤].

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho_e}{\epsilon_0} \quad 1.1$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad 1.2$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad 1.3$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu_0 \vec{J} \quad 1.4$$

حيث ϵ_0 ، μ_0 هي السماحية الكهربائية ونفاذية المغناطيسية للفراغ، ρ_e هي كثافة الشحنة الكلية و \vec{J} هي الكثافة التيار الكلية.

يهيج المجال الكهربائي الخارجي الساقط الإلكترونات الحرة ويزيلها من مواقعها الطبيعية في الشبكة المعدنية. يمكن وصف حركة الإلكترون الحر المتذبذب بواسطة معادلة الحركة [٦٥].

$$m_e \ddot{x} + m_e \gamma \dot{x} = -q_e E \quad 1.5$$

حيث m_e كتلة الإلكترون الحرة ، و x هي إزاحة الإلكترون ، و q_e هي شحنة الإلكترون و E هي المجال الكهربائي الخارجي ، γ عامل التخميد الإلكتروني. الحل العام للمجال الكهربائي المتذبذب هو $E = E_0 e^{i\omega t}$ بحيث يكون حل معادلة ١.٥ لسعة معينة x_0 هي [٦٥].

$$x_0 = \frac{q_e}{m_e (\omega^2 + \gamma i \omega)} E_0 \quad 1.6$$

حيث ان ω هو التردد الزاوي. بينما في حالة (n) عدد الإلكترونات ، يكون الاستقطاب الظاهر يعطي بالعلاقة:

$$P = -nq_e x \quad \text{ويعطى بواسطة:}$$

$$P = -\frac{nq_e^2}{m_e (\omega^2 + \gamma i \omega)} E \quad 1.7$$

يعتمد الإزاحة الكهربائية D على معامل العزل للإلكترون الحر

$$D = \epsilon_0 E + P \quad 1.8$$

لذلك تصبح المعادلة:

$$D = \epsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + \gamma i \omega}\right) E \quad 1.9$$

تردد البلازما للإلكترون الحر هو [٦٦]:

$$\omega_p^2 = \frac{n q_e^2}{\epsilon_0 m_e} \quad 1.10$$

دالة العازلة للإلكترون الحر ϵ_w هي:

$$\epsilon_w = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + \gamma i \omega} \quad 1.11$$

تصف المعادلة سلوك البلازموك في معادن باستخدام نموذج درود.

بالنسبة للجسيمات النانوية المعدنية الكروية الصغيرة جدًا (مقارنة بطول موجة الضوء الساقط) ، فإن قابلية استقطاب الجسيمات النانوية (Pa) هي [٦٧]:

$$Pa = \pi 4R^3 \frac{\epsilon(w) - \epsilon_d}{\epsilon(w) + 2\epsilon_d} \quad 1.12$$

حيث R هو نصف قطر الجسيمات النانوية ، $\epsilon(w)$ هي ثابت العزل الكهربائي للمعدن ϵ_d هي دالة العزل الكهربائي للوسط المحيط

يحدث البلازمون LSP عندما تصل قابلية استقطاب الجسيمات النانوية إلى الحد الأقصى للقيمة أي $\epsilon(w) - \epsilon_d$ يصبح اقل ما يمكن.

يعزز المقطع العرضي البصري للجسيمات النانوية الكروية (خصائص التشتت والامتصاص القوية) في ظل ظروف البلازمونك وتعطى بواسطة [٦٨-٧١]:

$$\sigma_{scs} = \frac{k^4}{\pi 6} |Pa|^2 \quad 1.13$$

$$\sigma_{acs} = kIm[Pa] \quad 1.14$$

حيث σ_{scs} ، σ_{acs} هي المقاطع العرضية للتشتت والامتصاص ، و k هي متجه الموجة للضوء الساقط.

Optical Parameters

٩.١ العوامل البصرية

يمكننا تحديد العديد من العوامل البصرية من خلال مراقبة طيف التحول في الأمتصاص والنفذية وهي :-

(Absorbance (A

١.٩.١ الأمتصاص

يمكن تعريف الامتصاصية على انها النسبة بين شدة الضوء الممتص (A) بواسطة المادة وشدة الضوء الساقط (I₀) تعطى بالمعادلة التالية :-

$$A = \frac{I_A}{I_0} \quad 1.15$$

(Transmittance (T

٢.٩.١ النفذية

هو حاصل النسبة بين شدة الأشعة المنبعثة (T) والأشعة الساقطة عليه (I₀) تسمى النفذية ، وتعطى بالعلاقة التالية

$$I_0/T = I \quad 1.16$$

Refractive index (n)

٣.٩.١ معامل الانكسار

يمكن تعريف معامل الانكسار على انه النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ (C) الى سرعته داخل المادة ، يتم حساب معامل الانكسار من المعادلة التالية :-

$$n = \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}} \quad 1.17$$

من خلال العلاقات اعلاه فان الأنعكاسية من سطح المادة (R) تعطى بالعلاقة :-

$$-A \quad 1.18T$$

ويمكننا حساب قابلية الاستقطاب بناءً على معامل الانكسار :-

$$P = \frac{3}{4\pi} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \right) \quad 1.19$$

٤.٩.١ ثابت العزل الكهربائي Dielectric constant

قابلية الاستقطاب المستمر للمواد من اجل الاستقطاب ، يمكن للمادة ان تستجيب للترددات المختلفه بطريقة معقدة عند الترددات الضوئية التي تمثلها موجات الضوء ، تم تحديد الاجزاء الحقيقيه (r) ، والاجزاء التخيلية (i) ، من ثابت العزل الكهربائي (ε) .

$$\epsilon_1 - r\epsilon = i\epsilon_2$$

حيث ε تمثل ثابت العزل الكهربائي ، i الامتصاص المرتبط بالاشعاع بواسطة الناقل الحر ، ويتم التعبير عن علاقه بين (ε) و(N) في المعادلة التالية ويمكن التعبير عن ثابت العزل المركب الحقيقي والتخيلي بالمعادلة التالية :-

$$n^2 - k^2 = \epsilon_1 \quad 1.21$$

$$2nk = \epsilon_2 \quad 1.22$$

١٠.١ الخصائص المغناطيسية للمواد

Magnetic properties of materials

تمتلك جميع المواد عزوما مغناطيسية تنشأ في ذرات المادة، يرجع هذا السلوك المغناطيسي نتيجة حركة الشحنات كالحركة المدارية للالكترونون حول نواة الذرة كذلك الحركة البرمية للالكترونون حول نفسة وايضا حركة الالكترونات الحرة للمادة هذه الحركة الدورية للشحنات تسبب عزوما داخل المواد. عندما تتاثر المواد بالمجال المغناطيسي الخارجي عنداذ يقال بانها مواد ممغنطه [٧٢].

فالمغنط (Magnetization (M) هو استقطاب العزوم المغناطيسية الداخلية في اتجاه معين تحت تأثير مجال مغناطيسي خارجي بمعنى ترتيب العزوم المغناطيسية باتجاه معين داخل المادة [٧٣]. فجميع

المواد تتأثر بالمجال المغناطيسي ولكن بدرجات متفاوتة ، فمنها تتأثر بدرجة قوية ومنها متوسطة ومنها ضعيفة التأثير بطريقة ما. بطريقة أخرى ان التوزيع العشوائي للعزوم المغناطيسية لذرات وجزئيات المادة يجعل محصلة العزم المغناطيسي الكلي لعينة ما يساوي صفر مع كل ذرة وتمتلك عزماً مغناطيسياً حتى في حال انعدام التأثيرات الخارجية لكن الحال يختلف عندما تقع المادة تحت تأثير مجال مغناطيسي خارجي كاف لترتيب عزوم ذرات المادة فإنه يسبب نشوء عزم مغناطيسي للعينة وهذا ما يدعى بالتمغنت [٧٤].

$$M = \mu \quad V \quad ١.٢٣$$

حيث ان μ : العزم المغناطيسي لوحدة الحجم

عند وضع المادة في مجال مغناطيسي خارجي ينتج تأثيرية مغناطيسية (قابلية التمغنت) Magnetic Susceptibility(X) ، التأثيرية المغناطيسية هي نسبة المغناطيسية أو العزم المغناطيسي إلى المجال المغناطيسي المؤثر. وهي مقياس لسهولة مغنطة المادة . والتأثيرية المغناطيسية لا تعتمد على شدة المجال المغناطيسي المسلط فحسب بل تعتمد على عدة عوامل منها التركيب المغناطيسي للمادة ودرجة الحرارة [٧٤]. كذلك يعتمد تمغنت المادة على المجال الممغنت وعلى طبيعة المادة . والتمغنت يتناسب طردياً مع المجال الممغنت لمعظم المواد الفيرومغناطيسية ، اي ان قابلية التمغنت لاي وسط مادي تساوي النسبة بين التمغنت الحاصل في المادة الى المجال الممغنت المسلط علي المادة [٧٤].

$$M / H = \mu_m X \quad ١.٢٤$$

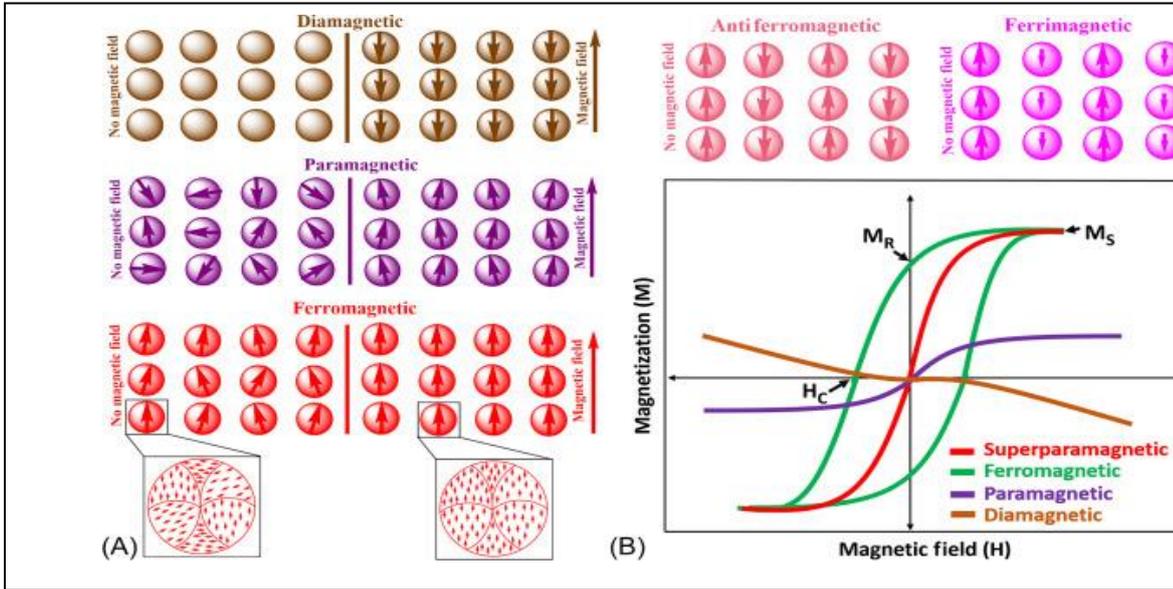
تصنف المواد حسب استجابتها للمجال المغناطيسي الخارجي المسلط الى خمس فئات رئيسية:-

Diamagnetic materials

١.١٠.١ المواد الدايا مغناطيسية

هي المواد التي تحتوي عزوم مغناطيسية لجميع الكتروناتها بصورة عشوائية غير مرتبة باتجاه معين بطريقة تلاشي بعضها البعض بحيث تكون محصلة العزوم الخارجية تساوي صفراً في حالة غياب المجال المغناطيسي الخارجي . عند وضع المواد الدايا مغناطيسية في مجال مغناطيسي خارجي فإن المجال يحث عزومها المغناطيسية بحيث تكتسب تمغنت معاكس للمجال الخارجي، كما في الشكل (1-6). وبالتالي يكون لها قوة طاردة، اي لها قابلية مغناطيسية سالبة اي تتنافر مع المجال المغناطيسي اذا وضعت

فية. وبذلك ينشئ عنه عزم مغناطيسي محتث للالكترون في الذره ويكون بعكس المجال المغناطيسي المسلط، اي ان نفاذيتها المغناطسية اقل من واحد [74].
المواد التي تمتلك صفة البارامغناطسية مثل الماء، الزئبق، الفضة، الذهب، النحاس، البزموت،الانتيومون،النيتروجين، ومعظم البلورات ذات الاواصر التساهمية وأيونية. كذلك تتصف المواد الدايمغناطسية بأن مغناطسيتها لاتتأثر بدرجة الحرارة [74].



الشكل (6-1) : (a) رسم تخطيطي لترتيب ثنائيات الأقطاب المغناطيسية لأنواع مختلفة من المواد المغناطيسية، واستجابتها في غياب وفي وجود مجال مغناطيسي خارجي ، (b) حلقات التباطؤ او التخلفية المغناطسية التي توضح السلوك المغناطيسي للمواد عند تطبيق مجال مغناطيسي [75].

Paramagnetic materials

٢.١٠.١ المواد البارامغناطيسية

هي المواد التي تمتلك ذراتها وجزئياتها عزوم مغناطسية دائمه حتى في حال غياب المجال المغناطيسي الخارجي ولكنها تتصف بالعشوائية فتكون محصلة العزم الكلي مساوية الى الصفر. لكن في حال تسليط مجال مغناطيسي خارجي فأن مغنطة المواد البارامغناطسية تكون ضعيفة بحيث ان القابلية المغناطيسية تكون موجبة وصغيرة لان الطاقة الحرارية اكبر من الطاقة المغناطيسية التي تعمل على ترتيب العزوم المغناطيسية في اتجاه المجال الخارجي لهذه المواد، بحيث تترتب العزوم المغناطسية باتجاه المجال المسلط ، لذلك يكتسبون صافي مغنطة اكبر من صفر، عندما يزال المجال المغناطيسي تنقطع محاذاة الإلكترونات وتفقد المادة خواصها المغناطيسية اي انها تمتلك مغنطة لحظية بوجود المجال المغناطيسي ، وبالتالي فإن المواد البارامغناطسية ليست مغناطيساً دائماً ، ومن امثلتها البلاتين والالمنيوم

والزنك والهواء والاكسجين والنيون والمعادن الانتقالية [٧٦]. كذلك تتصف المواد البارامغناطسية بكون نفاذيتها المغناطسية اكبر من واحد ولها تأثيرية مغناطسية موجبة جعلت هذه الصفات منها مواد ذات استخدام واسع في الاجهزة الالكترونية [٧٦].

Ferromagnetic materials

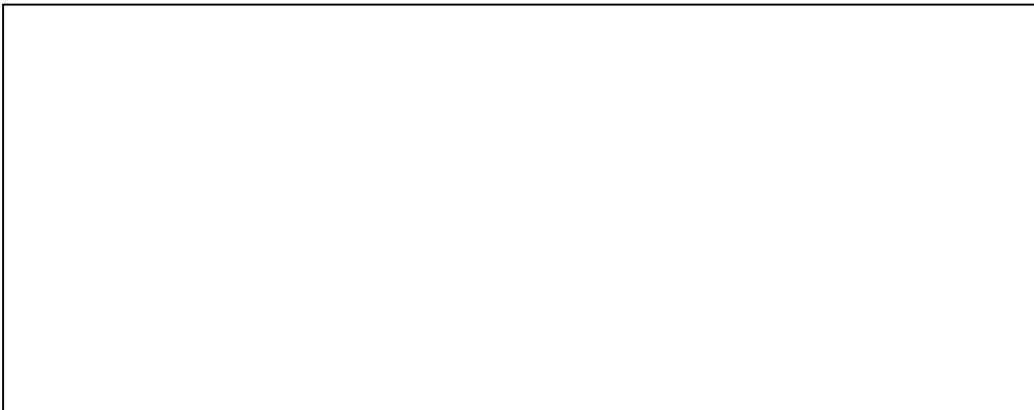
٣.١٠.١ المواد الفيرو مغناطيسية

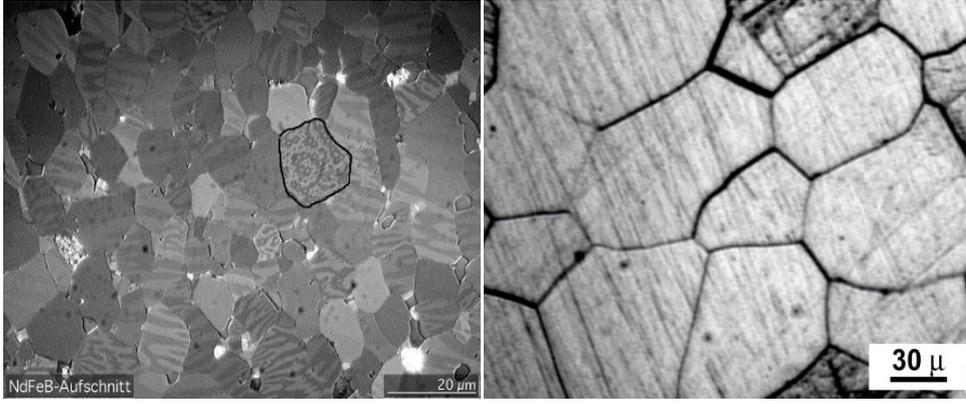
هي المواد التي تمتلك ذراتها وجزئياتها عزوم مغناطسية دائمه حتى في حال غياب المجال المغناطيسي الخارجي وتكون مرتبة باتجاه واحد داخل المنطقة الواحدة. تتميز المواد الفيرومغناطسية عن بقية المواد بوجود مناطق (domains) صغيرة مختلفة الى حد الاشباع تقع داخل البنية البلورية لها وتضم هذه المناطق اعداد هائلة جداً من العزوم المغناطيسية لذراتها تترتب جميع عزومها المغناطيسية بصورة متوازية سواء في حالة وجود مجال مغناطيسي او عدمه ، تكون هذه العزوم في اتجاهات مختلفة من منطقة الى اخرى داخل المادة بحيث تكون محصلة التمغنط فيها تساوي صفراً، كما في الشكل (٧-١) [٧٧].

اذا تعرضت المادة الى مجال مغناطيسي خارجي فأنها تكتسب تمغنطاً ينشأ من عاملين اما عن طريق دوران اتجاه العزوم المغناطيسية داخل المنطقة الواحدة او عن طريق تحريك حدود المنطقة المغناطيسية. تكون هذه المواد ممغنطة بشكل دائم، هذا يعني أنه حتى عند إزالة المجالات المغناطيسية الخارجية ، فإن المواد الفيرومغناطسية ستحتفظ بخصائصها المغناطيسية وهذا يسمى تاريخ التمغنط . من المواد الفيرومغناطيسية هي الحديد (Fe) والكوبلت (Co) والنيكل (Ni) وسبائكها وما إلى ذلك ، ولها استخدامات صناعية واسعة النطاق. تتميز هذه المواد بكون قابليتها المغناطيسية كبيره جداً، النفوذية المغناطيسية لها ليست مقداراً ثابتاً. كذلك تعتمد المواد الفيرومغناطيسية على التاريخ المغناطيسي للعينة، حيث أن قابلية تمغنط المادة ونفوذيتها يعتمدان على درجة حرارتها فلكل مادة درجة حرارة يطلق عليها بدرجة حرارة كوري (Tc) تتحول المادة فوق تلك الدرجة الى الطور البارامغناطيسية طبقاً لمعادلة كوري فايز [٧٧].

$$Tc - X_m = C/T$$

١.٢٥





الشكل (١.٧) المناطق الحدودية للمواد الفيرومغناطيسية [٧٨].

Antiferro Magnetic Material

٤.١٠.١ المواد ضديدة المغناطيس

هي المواد التي تمتلك عزوم مغناطيسية بصورة دائمة في حالتها الطبيعية، لكن تمتلك هذه المواد عزوماً متساوية في القيمة والعدد بحيث تترتب بصورة يعاكس بعضها البعض أي ان عزومها باتجاهين متعاكسين، هذا يعني أنهم يلغون مغناطيسية بعضهم البعض وبالنتيجة فأن محصلة العزوم الكلية تساوي صفر [79]. عند تسليط مجال مغناطيسي خارجي يتم توجيهها بشكل معاكس، أي اتجاه عزومها يصبح معاكس الاتجاه المجال المغناطيسي المسلط. هيكل المجال من المواد الصلبة تشبه إلى حد بعيد تلك الموجودة في المواد الصلبة المغناطيسية. الاخر ومن اشهرها الكروم (Cr) اوكسيد المنغنيز (MnO) واوكسيد الحديد (FeO) واوكسيد النيكل (NiO) [79].

٥.١٠.١ المواد الفيرومغناطيسية Ferrimagnetic Material

المواد الفيرومغناطيسية هي المواد التي تترتب عزومها المغناطيسية باتجاهات متوازية وكذلك اتجاهات متعاكسة بنفس الوقت بواسطة قوى تبادل المجال الجزيئي ولكن لا تلغي بعضها البعض كما في حالة المواد ضديدة المغناطيس يعني ان محصلة التمغنت للمواد الفيرومغناطيسية لا تساوي صفر وعليه يمكن اعتبار هذه المواد مكونة من شبكيتين متداخلتين ذات عزوم مغناطيسية اما متعاكسة باتجاه ولكن ذات قيم غير متساوية او متساوية القيم ولكن تختلف في عددها [٧٩]. أيضاً عند التسخين ، ستفقد هذه المواد مغناطيسيتها المغناطيسية تماماً. ومن الأمثلة المغنتيت (FeO₂) والفريت (α-iron والزنك Zn) والمغنيسيوم Mg) [٨٠,٨١].

٦.١٠.١ المواد السوبربارامغناطيسية Super paramagnetic Material

توجد حاله خاصة للمواد الفيرومغناطيسية تسمى المغناطيسية الفائقة (السوبربارامغناطيسية)، وتحدث عندما تصغر المواد المغناطيسية مثل (Ni,Co,Fe₂O₃,Fe₃O₄) بطريقة ما على المقياس

النانوي اي ان احجام جسيماتها اقل من 100 nm بأملاكها سلوك فريد مختلف عن سلوك نفس المواد في الحالة الطبيعية الكبيرة فتتغير جميع خواصها المغناطيسية والخواص المغناطيسية الذاتية مثل التمغنط وخاصة الاتجاهية تتغير نتيجة الحصر الكمي للاكترونات الجسيمات الصغيرة جداً. كذلك نتيجة لتأثيرات السطح حيث تزداد نسبة مساحة السطح مقارنة بالحجم مسببة تكسر الروابط وتغير التماثل التركيبي وزيادة الاكترونات على السطح مما يسبب تغير الخواص المغناطيسية وظهور خواص جديدة للمادة الفيرومغناطيسية سميت الخواص فائقة المغناطيسية [٨٢].

يتغير المجال القهري (القسري) H_C مع تغير حجم الجسيمات بصورة ملفته حيث انه مع نقصان حجم الجسيمات فإن H_C يقل الى ان يصل الى الصفر. يرتبط تغيير المجال القهري مع حجم الجسيمات بالتركيب المجهري الذي يتحول فيه الجسم من مناطق مغناطيسية متعددة الى جسيمات كل جسم عبارة عن منطقة مفردة ثم بارامغناطيسية فائقة [٨٢]. تستخدم هذه المواد في تطبيقات مهمة في التطبيقات الطبية التشخيصية والعلاجية مثل التصوير بواسطة الرنين المغناطيسي (MRI) وفي علاج السرطان والاورام وكذلك تستخدم في تطبيقات طبية حيوية وايضا في الاجهزة الالكترونية والفوتونية [٨٢].

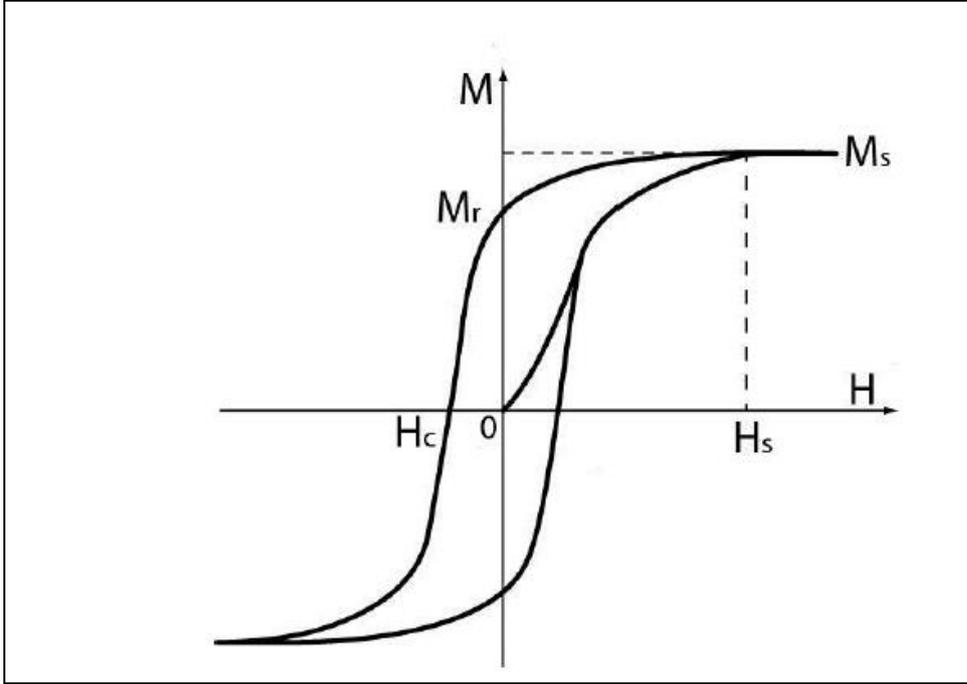
Hysteresis Loop Magnetic

١.١ حلقة الهسترة المغناطيسية

منحنى الهسترة المغناطيسية هو منحنى العلاقة بين المغنطة (M) والمجال المغناطيسي الخارجي المسلط (H) على المواد الفيرومغناطيسية وتكون نتيجة تخلف المغناطيسية في المادة عن المجال الممغنط. بصورة اخرى في الحالة الطبيعية أن كثافة الفيض المغناطيسي في المادة تنعدم عندما ينعدم المجال الممغنط حيث يساوي صفراً اي المجال الممغنط أختفى عند غياب المجال المغناطيسي الخارجي لكن في حالة المواد الفيرومغناطيسية، عند مغنطة معدن الحديد مثلاً بواسطة تسليط مجالاً مغناطيسياً خارجياً متزايد الشدة ، فتنزاد كثافة التدفق المغناطيسي (المغنطة) في قطعة الحديد بتزايد شدة المجال المغناطيسي الخارجي [82].

عند خفض شدة المجال المغناطيسي الخارجي بعد ذلك تنخفض كثافة التدفق المغناطيسي في قطعة الحديد، إلا أنها لا تعود إلى الصفر عند عودة المجال المغناطيسي الخارجي إلى الصفر، بل تبقى بقية مغنطة في قطعة الحديد (هذا مانسمية بتاريخ المغنطة)، ويلزم تسليط المجال المغناطيسي في اتجاه عكسي لكي تفقد قطعة الحديد مغناطيسيتها. تسمى شدة المجال المغناطيسي الخارجي اللازم لإعادة كثافة التدفق المغناطيسي في قطعة الحديد إلى الصفر بالمقاومة المغناطيسية. نجد منحنى مغناطيسي مميز لكل المواد الفيرومغناطيسية مثل الحديد و الكوبلت و النيكل وسبائكها [82].

تختلف منحنيات مغناطيسية قطع الحديد عن بعضها بسبب اختلاف الشوائب الموجودة فيه وسبائكها وكذلك تاريخها من وجهة معالجاتها الحرارية والمغناطيسية والميكانيكية وعدد مرات مغنطتها وفقدتها مغناطيسيتها. بمنحني التمغنط المغناطيسي للمادة (منحني الهسترة او التخلفية المغناطيسية) موضح بالشكل (8-1).



الشكل (٨-١) منحني الهسترة المغناطيسي للمواد الفيرومغناطيسية [٨٢].

تعتمد العلاقة ما بين التمغنط و المجال المغناطيسي المسلط على مقدار المغناطيسية السابقة للمادة الفيرومغناطيسية [٨٢]. من الممكن تمثيل العلاقة بواسطة منحني التمغنط المعروف بمنحني الهسترة المغناطيسية. في بادء الامر نلاحظ ان العلاقة لخطية بين M و H ، كذلك نلاحظ ايضاً أنه عند أية نقطة على هذا المنحني، فإن قيمة μ تعطى بالنسبة M/H وليس dB/dH التي تمثل ميل المنحني والسبب هو أن المسار الذي تزداد وفقاً له قيمة M مع زيادة قيمة H يختلف (أو يتخلف) عن المسار الذي تتناقص وفقاً له قيمة M مع نقصان قيمة H بعد بلوغ حد الإشباع (H_s) بمعنى آخر، إذا تم نزع التمغنط عن مادة فيرومغناطيسية من خلال زيادة قيمة H وصولاً إلى حد الإشباع عند H_{max} ، ثم يتم تقليل قيمة H ، فإن قيمة M لن تعود لقيمتها الأصلية وفقاً للمسار إذا وصلت قيمة H للصفر، فإن قيمة M لن تعود للصفر وإنما تصل إلى M_p والتي تعرف بكثافة الفيض الدائم (permanent flux density) والتي تعتمد على أقصى قيمة لشدة المجال المغناطيسي المسلط . (H_{max})

إذا تم عكس قطبية التيار المولد للمجال المغناطيسي، فإن زيادة قيمة هذا التيار تؤدي لزيادة قيمة H بالاتجاه السالب لتصل قيمة M الصفر عندما تصل H إلى H_c تعرف قيمة H_c بشدة المجال القسري (coercive field intensity) مع الاستمرار بزيادة قيمة H ثم عكس القطبية ينشأ منحني مغلق يعرف بمنحني أو حلقة الهستيرة (hysteresis loop) ، ويختلف شكل حلقة الهستيرة من مادة لأخرى [٨٣].

١٢.١ الخواص المغناطيسية البلازمونية للمواد النانوية

The Properties of Plasmonic-Magneto Nanomaterials

تم تقديم مصطلح plasmon-Magneto لأول مرة في أوائل السبعينيات ، وكان الدافع في ذلك الوقت هو الاهتمام المتجدد بالبلازمونات السطحية في المعادن وأشباه الموصلات الفوتونية. الخصائص المغناطيسية البلازمونية (MP) عندما يتم دمج مادة تحوي خصائص بلازمونية كالذهب مع مادة نشطة مغناطيسياً كالحديد ، تصبح الخصائص المغناطيسية البلازمونية لنظام الناتج مترابطة [٨٢]. اجتذب تأثير المجال المغناطيسي الخارجي على المواد النانوية للبلازما الإلكترونية الكثير من الأبحاث التي تركز على تعديل المجال المغناطيسي لخصائص انتشار موجات البلازما السطحية. في وقت لاحق ، في الثمانينيات والتسعينيات من القرن الماضي ، قامت مجموعات مختلفة بدراسة التأثيرات المحتملة لرنين البلازما السطحي على النشاط المغناطيسي البصري (MO) لعدد من أنظمة المواد. في الوقت الحاضر ، أصبحت الظواهر المرتبطة بالأنظمة التي تتعايش فيها خصائص المغناطيسية البلازمونية مجالاً نشطاً للتحقيق ، تجذب تأثيرات البلازما السطحي على النشاط المغناطيسي البصري للبنى النانوية وتأثيرات المجال المغناطيسي على خصائصها البلازمية اهتماماً كبيراً من حيث البحث الأساسي والتطبيقي [٨٣].

في حالة المواد النانوية المغناطيسية البلازمية ، يمكن تحقيق تأثيرين:

- (١) هناك زيادة في نشاط MO عندما يكون البلازما السطحي الانتشاري (SPPs) متهيج بسبب العمل المشترك للانخفاض الشديد في الانعكاسية وحصر المجال الكهرومغناطيسي [٨٣].
- (٢) يمكن تعديل متجه الموجة SPP بواسطة مجال مغناطيسي خارجي بسبب اعتماده على معامل العزل الكهربائي. يمكن استغلال التأثير الأول في متحسسات الرنين المغناطيسي السطحي للبلازما (SPR-MO) ، بينما توفر الظاهرة الأخيرة إمكانية تطوير أجهزة بلازما نشطة [٨٤].

في الآونة الأخيرة ، تحولت جهود البحث إلى دراسة الهياكل النانوية MP ، أي ، الهياكل النانوية التي تجمع بين الوظائف المغناطيسية والبلازمونية. وذلك لأن هذا النوع من الهياكل النانوية يمكن أن يكون بمثابة لبنة لبناء لفئة جديدة من الأجهزة النانوية الضوئية التي يمكن التحكم فيها مغناطيسياً

لتطبيقات التكنولوجيا الحيوية والإلكترونيات الضوئية المستقبلية. أدى هذا الاتجاه الجديد في البحث إلى تقديم العديد من الدراسات حول التأثيرات الناشئة عن التفاعل المتبادل بين نشاط MO و اقتران المادة النانوية في المطابقات المحصورة مكانياً [٨٤].

نظرًا لأن تذبذبات البلازما في المواد المغناطيسية الحديدية تُظهر عادةً تخميدًا أقوى من المعادن النبيلة ، فإن الإستراتيجية الشائعة للتغلب على هذا التخميد الزائد هي تطوير هياكل هجينة تتكون من معادن نبيلة ومواد مغناطيسية ، حيث يزيد المعدن النبيل من الاستجابة البلازمية [٨٤].

١.٣ الحد الفاصل بين مادتين

Interface Between Two Materials

يتطلب تصنيع الأجهزة الإلكترونية تجميع مادتين متباينتين أو أكثر (أشباه موصلات ، معادن ، عوازل). تصبح الواجهة بين هذه المواد حاسمة لأنها تؤثر على الخصائص النقل الكهربائية (transport) للأجهزة [٨٥]. هذه الواجهة تسمى التقاطع (junction). التقاطع المثالي هو الذي لا تتشكل فيه عيوب في الواجهة. يعد تكوين تقاطعات مثالية أمرًا صعبًا ومعظم المواد الحقيقية بها عيوب في الواجهة والتي يمكن أن تؤثر على الخصائص الإلكترونية. لكن يمكننا الحصول على فكرة عن التفاعل بين المواد من خلال دراسة الوصلة المثالية [٨٥].

تتميز المعادن بفجوة طاقة ضيق جدا (تداخل حزمة التكافؤ والتوصيل) مع كون الجزء العلوي من نطاق الطاقة هو طاقة فيرمي. المسافة من مستوى فيرمي إلى مستوى الفراغ تسمى دالة الشغل (ϕ). أن دالة الشغل مهمة جدًا لوصف انتقال الإلكترونات بين الأسطح المعدنية ، حيث تحدد دالة الشغل المستويات الكيميائية للإلكترونات الحرة بالنسبة إلى المستوى المرجعي للفراغ. بشكل عام ، تعتبر دالة الشغل حسابية لتحديد العدد الفعال للإلكترونات التكافؤ. يسمح ذلك بحساب صلابة الذرات، وهذا بدوره يسمح بتنبؤات التأثيرات السطحية الناتجة عن التساهم لدالة الشغل على الأسطح المعدنية [٨٦].

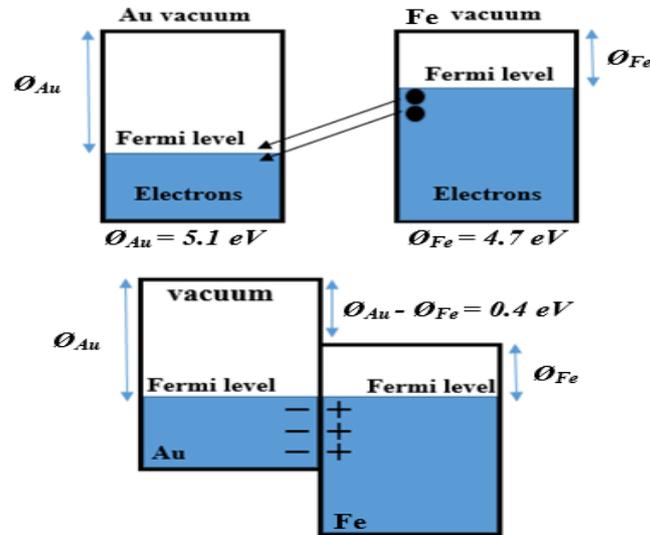
يمكن بعد ذلك أخذ دالة الشغل كتقدير جيد للمسافة بين المستويات الطاقية الكيميائية للإلكترونات الحرة للمعدن بالنسبة إلى مستوى الفراغ [٨٧].

$$\phi_M = E_{VAC} - \mu \quad (1.26)$$

حيث ϕ_M : دالة الشغل المعدن؛ μ : الطاقة الكامنة الكيميائية الذرية.

كمثال الحد الفاصل بين معدنين موضح في الشكل (٩-١). يلاحظ من الشكل ان المعدنان Au و Fe يمتلكان دالة شغل تبلغ ٥.١ و ٤.٧ إلكترون فولت على التوالي. القاعدة الأكثر أهمية عند تلامس هي أن مستويات فيرمي يجب أن تصطف عند التوازن (لا يوجد تحيز خارجي). يمكن فهم ذلك باستخدام شكل (٩-١) ، حيث توجد إلكترونات في Fe عند مستوى طاقة أعلى من تلك الموجودة في Au. يمكن أن تشغل هذه الإلكترونات مستويات الطاقة الفارغة الموجودة فوق مستوى فيرمي ل Au. نظرًا لأن الإلكترونات تنتقل من Fe إلى Au ، تتجمع شحنة موجبة صافية على جانب Fe وشحنة سالبة صافية على جانب Au.

محاذاه المستويات الطاقية عند التوازن بين المعدنين. ترتبط إمكانية الاتصال هذه بالاختلاف في دوال الشغل ، وهي موضحة في الشكل (٩-١). بالنسبة لتقاطع Au-Fe ، يكون احتمال الاتصال ٠.٤ فولت [٨٨-٩٠]. Fe لديه دالة شغل أصغر من Au ، وعندما يتم تكوين تقاطع ، تنتقل الإلكترونات من Fe إلى Au حتى يصطف مستوى فيرمي ويكون التقاطع في حالة توازن.



الشكل (١-٩) تقاطع بين Fe و Au ، (a) قبل التوازن ، (b) عند التوازن ، مع إمكانية التلامس الناتجة عن الاختلاف بين وظائف الشغل . يمنع جهد التلامس مزيداً من حركة الإلكترونات من Fe إلى Au.

من المعروف جيداً أن الخصائص المغناطيسية البلازمونية للبنى النانوية تختلف عن تلك الخاصة بالأغشية الرقيقة ونظائرها من المواد المايكروية لأن خصائصها تتأثر بعوامل أخرى. وفقاً للأدبيات السابقة يوجد عدد قليل من الدراسات حول المعادن المغناطيسية البلازمونية اللب/القشرة النانوية خصوصاً التي تدرس تأثير الاوساط السائلة على حجم اللب وسمك القشرة. ومع ذلك ، هناك حاجة ماسة لإجراء المزيد من الأبحاث حول المعادن المغناطيسية البلازمونية اللب/ القشرة النانوية نظراً لأهميتها في مجالات مختلفة من التطبيقات خاصة في المجال الطبي. فيما يلي ، يتم عرض بعض الابحاث المهمة في الادبيات خصوصاً الابحاث المرتبطة بعملنا هذا.

- في عام ٢٠٠٦ قام (Cho,S,Shahin , A.M , Long , G.J ، وآخرون) [٩١] بتصنيع جسيمات نانوية اللب/القشرة من الذهب والحديد بواسطة الطرق الكيميائية عن طريق انماء البلورات، تبلورة دراستهم حول مقاومة اكسدة الحديد عن طريق طلاءة بالذهب.
- في عام ٢٠٠٧ قام كل من (an, O, Teodorescu , CP . ، وآخرون) [٩٢] بتصنيع جسيمات نانوية اللب/القشرة من الذهب والحديد Fe@Au بواسطة الطرق الكيميائية وبينت نتائجهم انه يمكن تعديل الخصائص المغناطيسية لنظام فقط بواسطة تراكم الجسيمات النانوية للمادتين .
- في عام ٢٠٠٨ قام كل من (Park , H ، .Wang , L ، وآخرون) [٩٣] بتصنيع جسيمات نانوية المغناطيسية اللب /القشره (Au@O₂-Fe) بطريقه كيميائيه وتبينت نتائجهم ان استراتيجيات توليف الجسيمات نانويه واستكشاف تطبيقات محتمله للمواد نانويه اللب /القشره من حيث تفاعلات البينيه البايولوجيه .
- في عام ٢٠٠٩ قام كل من (Chudasama , B ., Vala ,A.K ، وآخرون) [٩٤] بتصنيع جسيمات نانويه اللب /القشره Ag@O₂-Fe بطريقه تحلل الحراري وتبين ان تركيب النانوي اللب /القشره يمكن ازاله هياكل نانويه من الوسط عن طريق مجال خارجي يوفر اليه التخلص غير المنضبط من بقايا هذه الهياكل نانويه التي يحتمل ان تكون خطره .
- في عام ٢٠١٠ قام كل من (D.M ، Hudgiu ، . Carrol , K ، وآخرون) [٩٥] في دراسة تراكيب نانوية Fe/Ag اللب/القشرة لخواصها البصرية والمغناطيسية، وبينت النتائج يمكن السيطرة على الخواص عند تغيير تشكيلها.
- في عام ٢٠١١ قام كل من (Zhou , L ,. Yuan ,. & Wei , Y ، وآخرون) [٩٦] بتصنيع جسيمات نانوية اللب/القشره من أكسيد الحديد الهجين مع الذهب ، بينت نتائجهم الحصول على مركب له خواص فائق المغناطيسيه (بارامغناطيسية) يمكن استخدامها في علاج ارتفاع الحراره لعلاج السرطان.

- في عام ٢٠١٢ قام كل من (Armelles ، C ، ebolladaG ، وآخرون) [٩٧] بدراسة الخصائص المغناطيسية الضوئية لجسيمات نانوية اللب/القشرة $Au@Fe_3O_4$ عن طريق الترسيب الكهربائي، وتم الحصول على الهياكل عن طريق ترسيب المادة المغناطيسية على جدران مسام الاغشية الالومينا عن طريق تركيب الطبقة الذرية وسمك الانبوب النانوي الناتج من الذهب.
- في عام ٢٠١٢ قام كل من (D., & Kornyshev B. Z., Storey, M. Bazant, وآخرون) [٩٨] توليد جسيمات نانوية اللب/القشرة بارامغناطيسية، وبينت نتائجهم ان اوكسيد الحديد مع الذهب له الخواص مغناطيسية بصرية الناشئة عن مكونين مختلفين ونتجه أنهم قاموا بتحسين وتوسيع الكانات تطبيق المواد النانوية في الطب.
- في عام ٢٠١٣ قام كل من (D.Bochicchio ، R.ondoFerra & وآخرون [٩٩] بتصنيع جسيمات نانوية ثنائيي المعدن (سبائك نانوية مغناطيسية بلازمونية) $AgCo$, $AgNi$, $AuCo$, $AgCu$ ، وبينت نتائجهم انه يمكن الحصول على جسيمات نانوية مركزية مغلقة بالطرق الكيميائية معززة الخواص.
- في عام ٢٠١٤ قام كل من (Zou ، H، Zhon ، F.، K) ، وآخرون) [١٠٠] بتصنيع جسيمات نانوية $Fe@Au_2O_3$ بطريقه كيميائية وبينت نتائجهم التطورات في الاساليب المختلفه لدمج الخصائص مغناطيسية وبلازمونية ذات سمات موفولوجيه مختلفه والخواص البلازمونية والمغناطيسية الضوئية المحدده للمغناطيسيه.
- في عام ٢٠١٥ قام (P، ristobalC-Alonso ، وآخرون) [١٠١] بتصنيع جسيمات نانوية $Fe_3O_4@Au$ اللب/القشرة باستخدام خطوتين من سوائل حرارية ودراسة الخصائص المغناطيسية البلازمونية، وقد بينت نتائجهم ان عند اجراء التفاعل بنسب منخفضه حصلنا على طلاء غير كامل من الجسيمات نانوية Fe_3O_4 ، بينما عندما تم اجراء التفاعل بنسب اعلى حصلنا على خليط من Au النقي، واطهر الباحث انه يمكن ضبط سمك الغلاف Au عن طريق تغير درجه حراره التفاعل.
- في عام ٢٠١٦ قام كل من (S Y., Liao, K., Yeh, Chen,) وآخرون) [١٠٢] بتصنيع جسيمات نانوية اللب/القشرة $MNP@Au$ المغناطيسية البلازمونية بطريقة الكيميائية، وبينت نتائجهم تعتمد الخاصائص البصرية الى حد كبير على حجم الجسيمات وشكلها وسمك القشرة.
- في عام ٢٠١٧ قام كل من (J.A Coaguira ، L، elixF eonL ، وآخرون) [١٠٣] بتصنيع جسيمات نانوية $Au@Fe_3O_4$ اللب/القشرة بطريقة التحلل الحراري، وبينت نتائجهم يمكن السيطرة على الخواص المغناطيسية بتغيير سمك الغلاف.

- **في عام ٢٠١٨** قام كل من (F،Mammeri ،.T ، neyNgu من ([١٠٤] بتصنيع جسيمات نانوية $Au@FeO_3$ اللب/القشرة باستخدام الطريقة الكيميائية وبينت نتائجهم ان الخصائص البصريه المغناطيسييه لذهب واوكسيد الحديد امكانيات كبيره لتصوير مغناطيسي والبصري وعلاج ارتفاع الحراره الضوئيه .
- **في عام ٢٠١٩** قام كل من (Li , Y., Dhawan , U., Wang, H ، وأخرون) [١٠٥] بتصنيع جسيمات نانوية $Fe@Au$ اللب/القشرة كيميائيا وتم دراسة تأثيرها على الخلايا الحية، وبينت نتائجهم ان هذه الجسيمات الفائقة المغناطيسييه تقلل من وقت استرخاء المغناطيسي، وتم تحسين البلازمونك ايضا لضمان ان هناك حد ادنى من التأثيرات السامه للخلايا.
- **في عام ٢٠١٩** قام كل من (S، verma ،.P ،Bhatia ، وأخرون) [١٠٦] بتصنيع جسيمات نانوية $Fe@Au$ اللب/القشرة ، تظهر نتائج الهياكل النانويه اللب/القشرة تحسنا لقمم البلازمون السطحي وعرض النطاق الترددي وشدتها المغناطيسييه مقارنة بغيرها من الهياكل النانويه العارية وتبينت نتائجهم انه يمكن استخدام الهياكل نانويه البلازمونيه لأستكشاف امكنتها استخدامها في المجالات الطبيه.
- **في عام ٢٠١٩** قام كل من (A.,Kamp,M،Tymoczko ، وأخرون) [١٠٧] توليد جسيمات نانوية $Fe@Au$ اللب/القشرة عن طريق الاستئصال باليزر، وبينت نتائجهم يمكن استغلال طاقه الليزر لإنتاج جسيمات نانوية مسيطر عليها، وتظهر الجسيمات نانويه الخصائص المغناطيسييه والبلازمونيه.
- **في عام ٢٠٢٠** قام كل من (S،Souri ،.N،Hadilou ، وأخرون) [١٠٨] بتصنيع جسيمات نانوية $Au@FeO_3$ و $Ag@FeO_3$ اللب /القشرة وتم تحديد الخصائص البصرية لها ومن ثم دراستها نظريا باستخدام التقريب ثنائي القطب.
- **في عام ٢٠٢٠** قام كل من (Cuya Huaman ،.M،katagiri ، وأخرون) [١٠٩] بتصنيع جسيمات نانوية $Pt@Au-Co$ اللب /القشرة بواسطة الطرق الكيميائيه وتبين نتائجهم ان هذه المواد تظهر خواص مغناطيسييه وبلازمونيه عاليه.
- **في عام ٢٠٢١** قام كل من (n , T.,Liang,YWei , D., Li ، وأخرون) [١١٠] بتصنيع جسيمات نانوية $FePt/Au$ اللب/القشرة ودراسة الخصائص المغناطيسييه البلازمونيه للسائل المغناطيسي مع درجة الحرارة من اجل الحصول على قدرة تسخين افضل عند نسب مختلفة. بينت النتائج اعتماد الخواص المغناطيسييه على تركيز الجسيمات النانويه.

- في عام ٢٠٢١ قام كل من (M، Sanad، Biancap- Menesses، وآخرون) [١١١] بتصنيع جسيمات نانوية اللب/القشرة بواسطة الطرق الكيميائية، وتم تحديد الخصائص الهيكلية المغناطيسية وكانت دراستهم تتمحور حول اظهار امكانات الجسيمات النانوية الذهب والحديد في علاج ارتفاع حراره السرطان.

١١٤. الأهداف والدوافع البحثية

Aim of the Work and Research Motivation

اجتذبت المواد النانوية متعددة الوظائف مثل الهياكل النانوية المغناطيسية البلازمونية تطبيقات مهمة في المجال البصري والطب الحيوي. وفقاً لذلك، في هذه العمل، نحاول توفير هياكل نانوية هجينة قادرة على إعطاء معلومات مفيدة للأدبيات حول الجسيمات النانوية المغناطيسية-البلازمية باستخدام التأثيرات الخارجية داخل الحدود المسموح بها في أقصر مدة ممكنة. لهذا الغرض، نقوم بتصنيع الجسيمات النانوية اللب/القشرة عن طريق الاستئصال بالليزر في سائل تحت معايير مختلفة، باستخدام المواد المستهدفة Au و Fe. بعد ذلك، ندرس الخواص الضوئية - المغناطيسية- البلازمونية للجسيمات النانوية المصممة هندسياً. بالتالي فإن الهدف النهائي للدراسة هو اكتساب نظرة عميقة على الآلية الفيزيائية للتغيير في الخصائص وفهم السلوك الوظيفي الأمثل لهذه المواد. أيضاً، لفهم العمليات الفيزيائية في واجهات اللب/القشرة لتحسين فهم وأداء الأجهزة الكهروضوئية الجديدة وأجهزة الاستشعار.

Introduction

يتضمن هذا الفصل الاجهزة والمنظومات والتقنيات المستخدمة لفحص عينات الجسيمات النانوية وكذلك عينات التركيب النانوية اللب/ القشرة (Shell-Core) المحضرة في هذا البحث باستخدام طريقة الاستئصال بالليزر النبضي بالسوائل.

٢-٢ تحضير العينات السائلة

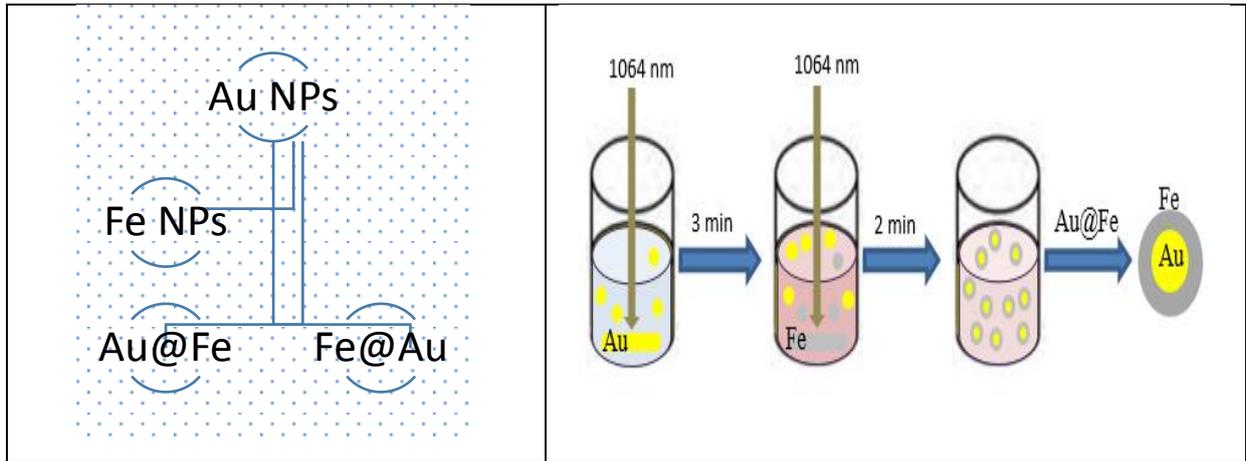
Samples of Liquid Preparation

تم تحضير الجسيمات النانوية (Fe ، Au) ، وكذلك الجسيمات النانوية Fe@Au (Au@Fe) اللب/القشرة باستخدام طريقة الاستئصال بالليزر النبضي بالسوائل. المواد المستخدمة هي سبيكة الذهب النقي (Au < 99.99% نقاء ، سيجما الدريتش، ألمانيا) بسمك (1 mm) ، كذلك تم شراء حديد نقي (1 μm) (Fe < 99.99% نقاء ، شركة هوستن، أمريكي) وتم كبسة باستخدام مكبس حراري ميكانيكي (8طن) لتحويله الى سبيكة بسمك (3 mm) كهدف. كانت الوسائط السائلة المستخدمة عبارة عن ماء مقطر منزوع الأيونات، بولمر (Polyvinyl pyrrolidone)(PVP) مذاب في الماء المقطر منزوع الايونات بنسبة (1%) باستخدام محرك مغناطيسي، كذلك بولمر (Polyvinyl alcohol) (PVA) مذاب في الماء المقطر منزوع الايونات بنسبة (1%) باستخدام محرك مغناطيسي من أجل الحصول على محلول أكثر استقرارًا للمقارنة. يتم تنظيف الأهداف (سبائك Au و Fe) بواسطة حمام موجات فوق صوتية باستخدام الإيثانول والماء منزوع الأيونات. سيتم إجراء التجارب باستخدام ليزر نبضي switched Nd: YAG-Q (صيني الصنع) ، يعمل بطول موجة (1064) نانومتر ، و عرض نبضة (5 نانوثانية) ، ومعدل تكرار (6 هرتز) ، و (120 مللي جول) طاقة لكل نبضة ستركز على العينات. يتم وضع الهدف في حاوية زجاجية وباستخدام عدسة ذات طول بؤري (10 mc) يتم تركيز نبضات الليزر على الهدف ،تم تعديل المسافة بين العدسة والهدف للحصول على بقعة مركزة على الهدف، يتم الاحتفاظ بارتفاع السائل فوق الهدف عند (10 mm) وتم استخدام غطاء كوارتز لتجنب تناثر المياه على المناطق المحيطة خارج الوعاء. في الوقت نفسه ، يدور النظام بأكمله ببطء حول محوره العمودي أثناء عملية الاجتثاث لتجنب حدوث ثقوب عميقة في الهدف ، وبالتالي الحفاظ على نفس ظروف السطح لكل نبضة ليزر. تُستخدم طاقات مختلفة لتحديد الحد الأدنى من الطاقة للتصنيع الناجح للجسيمات النانوية. كان وقت الاجتثاث لإنتاج الجسيمات النانوية (الذهب والحديد) ثلاثة دقائق ، وكما هو مبين بالشكل التخطيطي (١-٢)

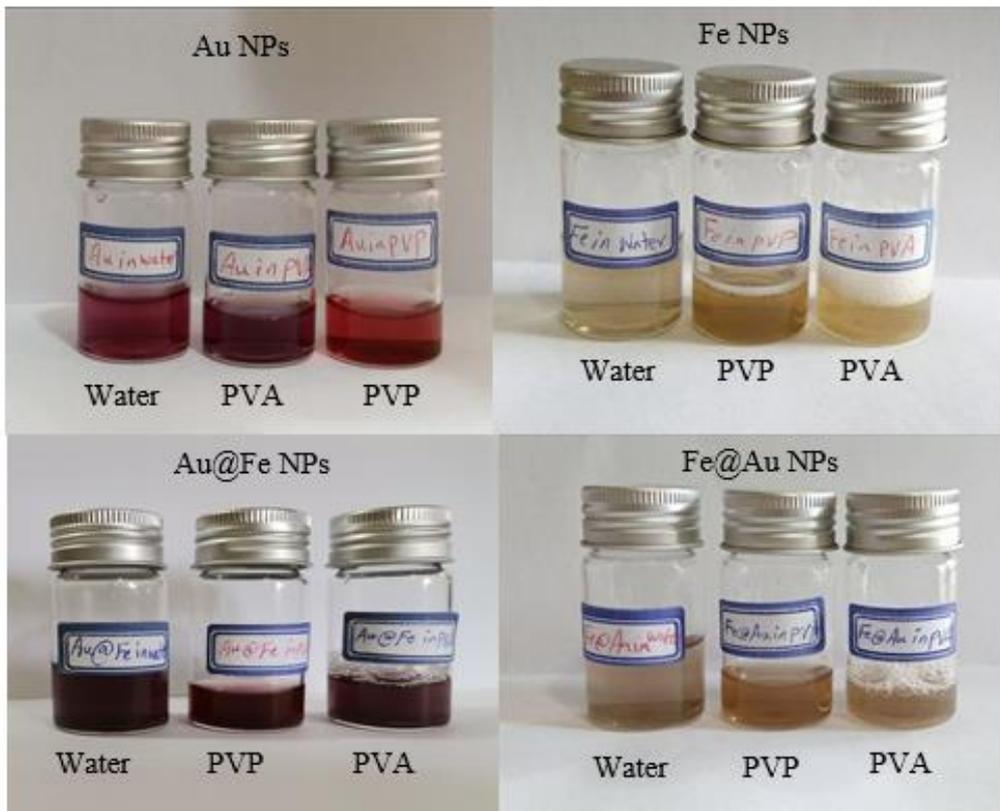


الشكل (٢-١) يوضح مخطط لإعداد التجريبي المستخدم في تحضير الجسيمات النانوية عن طريق الاستئصال بالليزر المحصور في وسط سائل.

لتحضير ثنائي المعدن $Fe @ Au$ و $shell NPs-Au @ Fe core$ ، وكما هو مبين بالشكل (٢-٢) تم استخدام طريقة اجتثاث متتابعة من خطوتين أولاً ، تم تحضير المحلول الغرواني للذهب النانوي عن طريق الاستئصال بالليزر لهدف الذهب في بيئة مائية منزوعة الأيونات مرة واحدة ، في البولمر مرة أخرى ، تسليط نبضات الليزر على الهدف لمدة ٣ دقائق مصحوباً بتلطيف سائل متجانس بلون وردي مميز بسبب امتصاص رنين البلازمون السطحي للذهب النانوي في المنطقة المرئية. أثناء التشعيع ، لوحظ تغير لون الغروانية ، واستمر هذا الإجراء حتى أصبح لون الغرواني أحمر ممكن أثناء التجربة. يتبعه استئصال هدف الحديد في محلول غرواني للذهب المحضر حديثاً. تعمل الحديد كقشرة وتشكل لباً للذهب الساخنة المستأصلة. كانت مدة الاجتثاث ٢-٣ دقائق للحديد للحصول على مورفولوجيا القشرة بسماكة متفاوتة للقشرة. تم استبدال المحلول الغرواني بالبولمر لتكرار التجربة. بعد التحضير ، تم تقليب جميع المحاليل عند درجة حرارة الغرفة في حمام بالموجات فوق الصوتية لمدة ١٥ دقيقة تقريباً. ألوان المعلقات الغروانية التي تم الحصول عليها في حالتنا هي الألوان المميزة للذهب النانوي ، وهذا دليل على أن العينة تحتوي على طيف امتصاص SPR يتغير وفقاً لأحجام النانوية الخاصة بها ، سيتم استبدال المحلول الغرواني لتكرار التجربة ، وكذلك جميع العينات في مثل هذا التسلسل ، كما في الشكل (٢-٣).



الشكل (٢-٢) يمثل خطوات تحضير الجسيمات النانوية اللب/القشرة $Au @ Fe$.



شكل (٢-٣) العينات المستخدمة في العمل في المحاليل الغروانية الثلاثة.

Devices Used

3-2 الاجهزة المستخدمة

UV-Vis Spectrometer

1.3.2 مطياف الأشعة فوق البنفسجية - المرئية

تم فحص الخصائص البصرية الخطية للعينات عن طريق أطيف الامتصاصية والنفذية باستخدام مطياف الأشعة فوق البنفسجية - المنطقة المرئية (نطاق الطول الموجي 900-190 نانومتر). تم قياس أطيف الامتصاص في درجة حرارة الغرفة باستخدام مقياس الطيف الضوئي مزدوج الشعاع (UV-Vis) الذي يوفره (Aquarius ، كوري المنشأ) كما في الشكل (2-4).

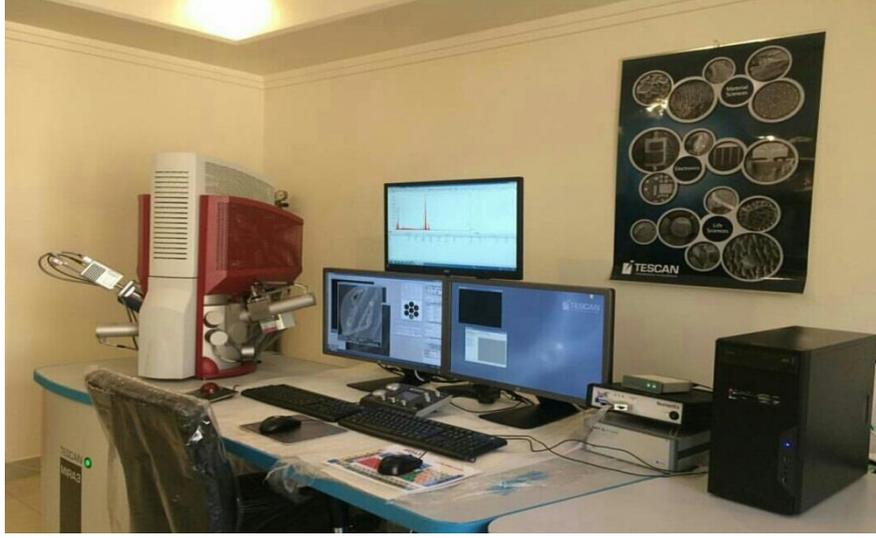


شكل (2-4) مطياف للأشعة فوق البنفسجية- المرئية.

٢.٣.٢ المجهر الإلكتروني الماسح

Scanning Electron Microscope (SEM-FE)

من أجل التحقيق في شكل الجسيمات النانوية اللب / القشرة وحجمها وسمكها ، نستخدم المجهر الإلكتروني الماسح عالي المجال (SEM-FE) (IGMAΣ ، JSM-7٦١٠-F ، Carl Zeiss ، ألمانيا) التي تعمل بجهد متسارع يبلغ ١٠ كيلو فولت ، كما هو موضح في الشكل (٥-٢). بينما تم حساب متوسط حجم الجسيمات النانوية اللب / القشرة من صور SEM-FE عبر برنامج Image J.



المجهر الالكتروني الماسح (٢-٥) الشكل

٣.٣.٢ الاهتزاز المغناطيسي للعينات

ibrating Sample Magnetometer V The

تم فحص الخواص المغناطيسية للعينات باستخدام مقياس مغناطيسي لعينة اهتزازية (*VSM*)،
Magnetic Danesh Pajoh Co). في درجة حرارة الغرفة ، تمت دراسة الخواص المغناطيسية
بناءً على منحنيات التخلفية باستخدام مجال مغناطيسي يصل إلى ١ تسلا. كما في الشكل (٢-٦).



جهاز فحص الخواص المغناطيسية (٢-٦)

Introduction

يتضمن هذا الفصل نتائج القياسات التجريبية المستخدمة في توصيف الجسيمات النانوية المحضرة في هذا العمل لتقييم أدائها ، حيث يتضمن توصيف شكل وحجم الجسيمات النانوية اللب/القشرة ، وكذلك نتائج قياساتها البصرية الخطية. وتوصيف خصائصها البلازمية-المغناطيسية. بالإضافة إلى ذلك يتضمن الفصل مناقشة جميع نتائج هذا العمل.

٣.٢ النتائج التجريبية

The Experimental Results

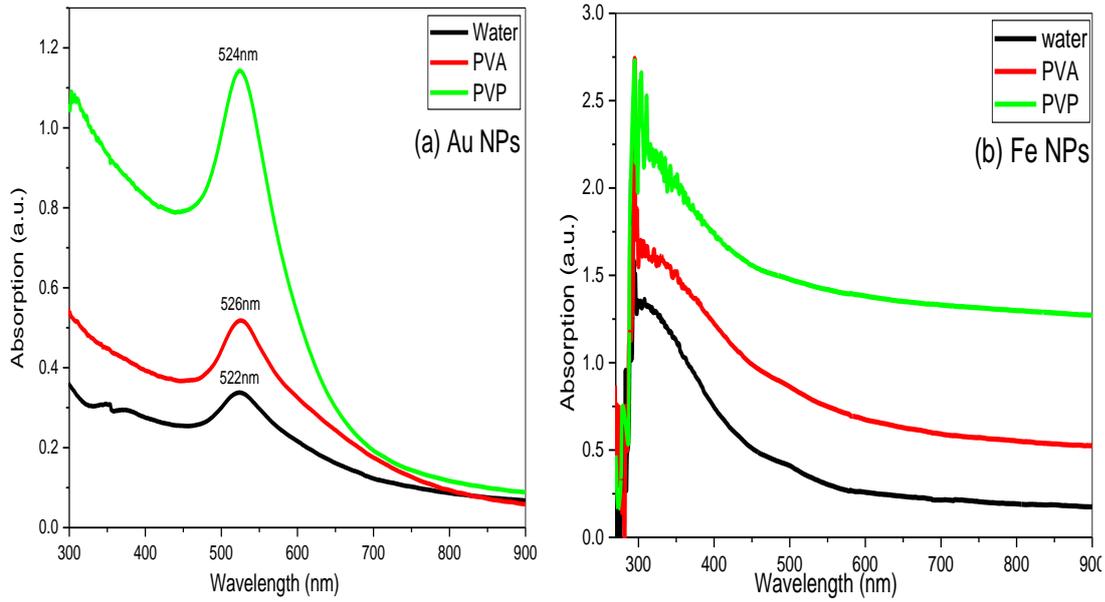
٣.٢.١ نتائج قياسات الخواص البصرية

The Results of Measurements Optical Properties

تم تسجيل أطياف الامتصاصية لجميع عينات جسيمات الذهب والحديد النانوية لجميع المحاليل المستخدمة في هذا البحث ، ويلاحظ من الشكل ان لكل عينة قمة امتصاصية بسبب رنين البلازمون السطحي (SPR)، فبالنسبة للذهب النانوي (Au) الشكل (٣-١ a)، يكون طيف الامتصاصية وفقاً لأحجام الجسيمات النانوية وتركيباتها، بحيث تكون قمة امتصاصية SPR أكثر وضوحاً في محلول PVP نظراً لزيادة ثبات الوسط، بالمقارنة بالمحاليل الأخرى، مما يجعله أكثر ثباتاً من الوسط المائي و البولمر PVA . علاوة على ذلك ، يمكن للمرء أن يرى ازاحة نحو الأطوال الموجية الطويلة (red shift) في طول موجة SPR (٥٢٢-٥٢٦ نانومتر) عند التغيير في الوسط المحيط وهذا التحول في الطول الموجي يدل على زيادة حجم الجسيمات النانوية عند توليدها بالبولمر مقارنة بالماء، وهو ما تم تأكيده في هذه العينات عند صور SEM-FE . هذه الازاحة نحو الأطوال الموجية الطويلة (red shift) ناتجة عن تجميع جسيمات نانوية بصورة أكبر داخل جزيئات البولمر مما أدى الى حجم جسيمات أكبر وهذا بدوره يؤدي الى زيادة معامل انكسار الوسط يؤدي الى قابلية تعديل الطول الموجي SPR للعينات .

يلاحظ من الشكل (٣-١ b) زيادة طيف الامتصاصية لجسيمات الحديد النانوي في محاليل البولمر مقارنة مع الماء المقطر ولنفس السبب أعلاه زيادة حجم الجسيمات النانوية بدورها تؤدي الى زيادة معامل انكسار الوسط، كذلك نلاحظ ازاحة نحو الأطوال الموجية الطويلة (red shift) بطيف الامتصاص (٣٠٤-٣١٢ نانومتر) والذي هو دليل على زيادة حجم الجسيمات النانوية الحديدية. في عينات الجسيمات النانوية اللب/القشرة ، يمكننا ملاحظة ذروتين متميزتين في اطياف الامتصاص تأتيان من امتصاصية كل مادة على حده في البنية النانوية مما يشير إلى التكوين الناجح لبنية اللب/القشرة لجميع العينات (تم تأكيده في صور SEM-FE)، كما في الشكل (٣-٢).

يوضح الشكل (٣-٢) اطياف الامتصاصية للعينات Fe@Au NPs اللب/القشرة النانوية في محلول الماء منزوع الأيونات بالمقارنة بمحلول البولمر PVA ومحلول البولمر PVP، نلاحظ من الشكل المحلول البولمري يمتص الضوء بشدة اكبر من الماء المقطر كما ان الاطياف تمتلك منطقتين الامتصاص الاولى في الطول الموجي (٢٩٨-٣٠٦ نانومتر) تشير الى امتصاصية جسيمات الحديد النانوية، والاخرى في المنطقة المرئية عند الطول الموجي لجسيمات الذهب النانوية مع ملاحظة الازاحة نحو الاطوال الموجية الطويلة (red shift) في قمة طيف الامتصاصية عند الانتقال من المحاليل المائية الى محاليل البولمر الذي ذكرنا سلفاً.

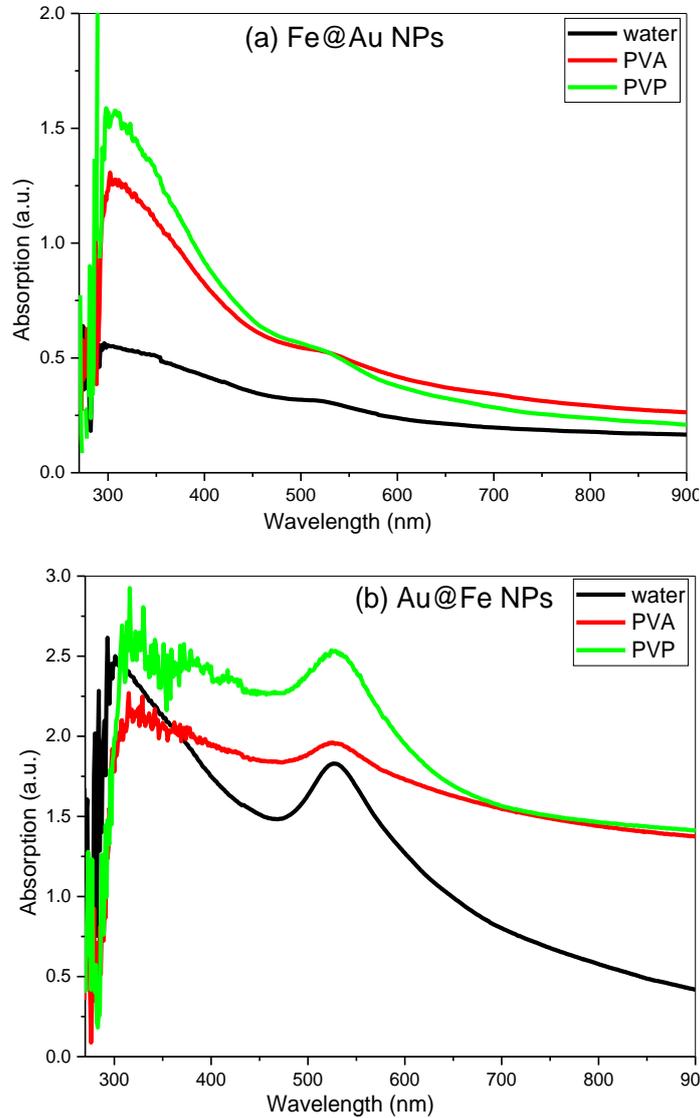


الشكل (٣-١) أطياف الامتصاص الجسيمات النانوية في الماء منزوع الايونات بالمقارنة بمصفوفة البولمر: (a) Au NPs ، و (b) Fe NPs

عند المقارنة في الشكل (٣-٢) الذي يمثل أطياف الامتصاص لعينات Au@Fe NPs اللب/القشرة النانوية في المحلول المائي كذلك المحلول البولمري نلاحظ ذروتين امتصاص مميزة وواضحة تشير لكل من المواد المعدنية في المحلول، نلاحظ امتصاص بولمر PVP اكبر من بولمر PVA وهذا بدوره افضل من الماء المقطر بسبب زيادة معامل انكسار المحلول وزيادة حجم الجسيمات النانوية. كذلك نلاحظ ان قمم الامتصاصية اكثر وضوح وحدة بالمقارنة مع العينات Fe@Au NPs بسبب تركيب العينة جعلت للذهب امتصاص اكبر. كذلك نلاحظ ازاحة حمراء واضحة للمنطقتين (٣٠٢-٣١٥ نانومتر) بالنسبة للحديد (٥٢٦-٥٢٩) بالنسبة للذهب.

من المعروف أن SPR يعتمد بشدة على شكل، وحجم وتركيب الجسيمات النانوية ، كما أنه من المعروف جيداً أن موضع SPR المحلي حساس جداً لمعامل انكسار الوسط والمحيط

[١١٢]. بناء على النتائج حصلنا على سيطرة جيدة على الخواص البصرية وازاحة بالطول الموجي تكون مفيدة في تصميم الاجهزة والادوات البصرية. تنطبق نتائجنا مع دراسات اخرى في مكان اخر مما يدعم دراستنا هذه [١١٢-١٢٠].



الشكل (٢-٣) أطياف الامتصاص الجسيمات النانوية العارية في الماء منزوع الايونات بالمقارنة بمصفوفة البولمر:

Fe@Au NPs (a) ، و Au@Fe NPs. (b)

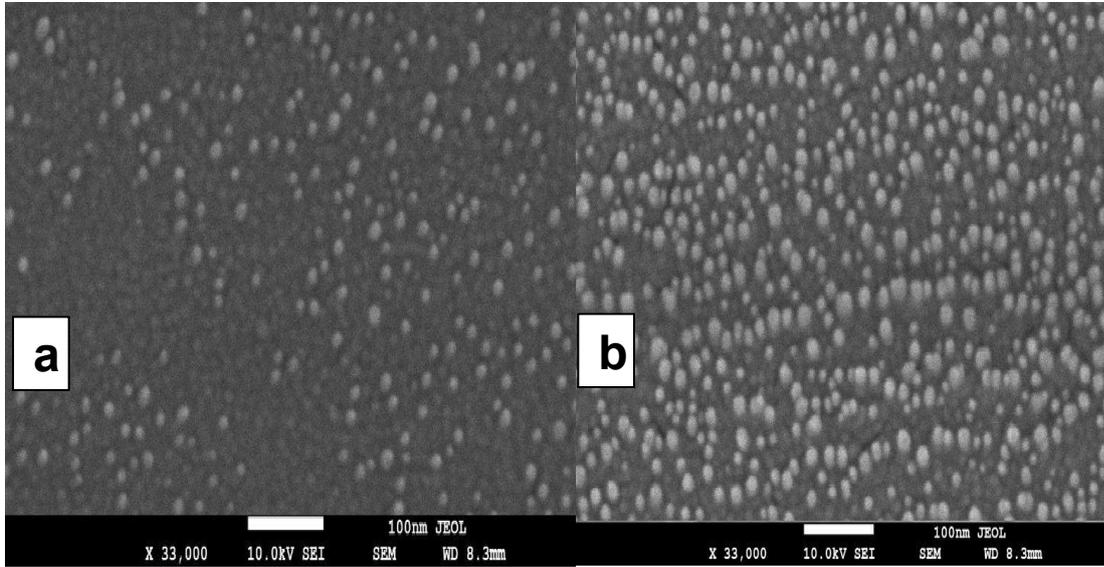
3.2.3 نتائج صور المجهر الالكتروني الماسح

The Results of FE-SEM Images

تم فحص مورفولوجيا العينات وحجمها وشكلها باستخدام المجهر الالكتروني الماسح FE-SEM كما هو موضح في الشكل (3-3). يتم حساب متوسط حجم المادة النانوية باستخدام برنامج (Image J)،

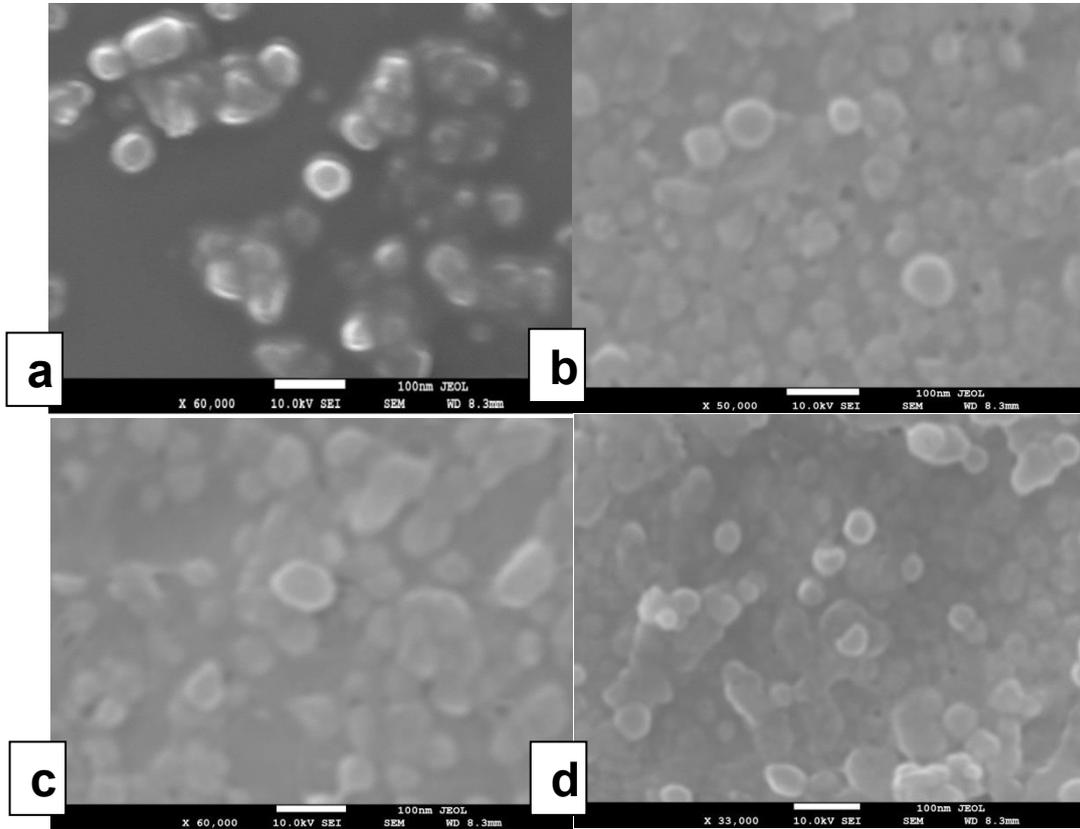
ويتم اختيار عدد من الصور الجسيمات النانوية اللب/القشرة لأخذ متوسط الحجم اللب وسمك القشرة للعينات في الماء المقطر منزوع الأيونات و المحاليل البوليمرية (PVA، PVP). بينت النتائج أن متوسط حجم الجسيمات النانوية في المحلول البوليمري يزداد عند مقارنة بمحلول الماء المقطر منزوع الأيونات، وهذا يعود لسبب تجميع الجسيمات النانوية داخل البوليمر ، تتفق هذه النتيجة مع [112-120].

نلاحظ من النتائج ان جميع الجسيمات النانوية التي تم انتاجها بطريقة الاستئصال باليزر في السائل هي كروية الشكل ، كما ان متوسط حجم الذهب النانوي في محلول الماء المقطر (17nm) الشكل (3-3.a)، كما كان متوقع أزداد متوسط الحجم للذهب النانوي الى مقدار (24nm) عندما تم توليد في المحلول البوليمري (PVP) الشكل (3-3.b). كذلك لاحظنا ان كثافة انتاج الجسيمات النانوية بالمحلول البوليمري هي اكبر عند مقارنتها بالماء المقطر وهذا يرجع لكون المحلول البوليمري اكثر استقرارا للحفاظ على الجسيمات النانوية من الترسيب الى اسفل الوعاء الزجاجي بعد التوليد.



الشكل (3-3) صورة FE-SEM للذهب النانوي (a) في الماء منزوع الايونات ، (b) في المحلول البوليمري PVP.

نتائج توليد الجسيمات النانوية اللب/القشرة تشكلت بشكل شبه الكروية بحجم قلب يتراوح من 20 إلى 50 نانومتر وسمك قشرة تتراوح من 10 إلى 30 نانومتر في محلول مائي منزوع الأيونات. يتم زيادة هذه الأحجام عندما يتم إنشاء العينات في المحلول البولمري كما في الشكل (3-4)، يمكننا الملاحظة ان جميع العينات المفحوصه تشكيل القشرة بنجاح بشكل واضح ومميز.



الشكل (3-4) صورة SEM-FE للجسيمات النانوية اللب/القشرة: (a) Au@Fe NPs في الماء منزوع الأيونات، (b) Fe@Au NPs في محلول بولمري PVA، (c) Au@Fe NPs في محلول بولمري PVA، (d) Fe@Au NPs في محلول بولمري PVP.

3.2.3 نتائج خصائص العزل الكهربائي Properties Results of Dielectric The

نحن ندرك أن الخصائص العازلة للمادة مهمة للغاية وتلعب الدور الرئيسي في موضع وشدة ذروة SPR للجسيمات النانوية البلازمونية. كما توقعنا، فإن الاقتران بين المعادن والبلازمونية والمعادن المغناطيسية يؤدي إلى التغيير في معامل الانكسار للعينات [112].

من خلال علاقات معامل العزل الحقيقي والخيالي يمكن حساب معامل انكسار العينات، ($2nk = \epsilon_2$ and $k^2 - n^2 = \epsilon_1$). كما هو موضح في الشكل (3-5) المعاملات الحقيقية للجسيمات

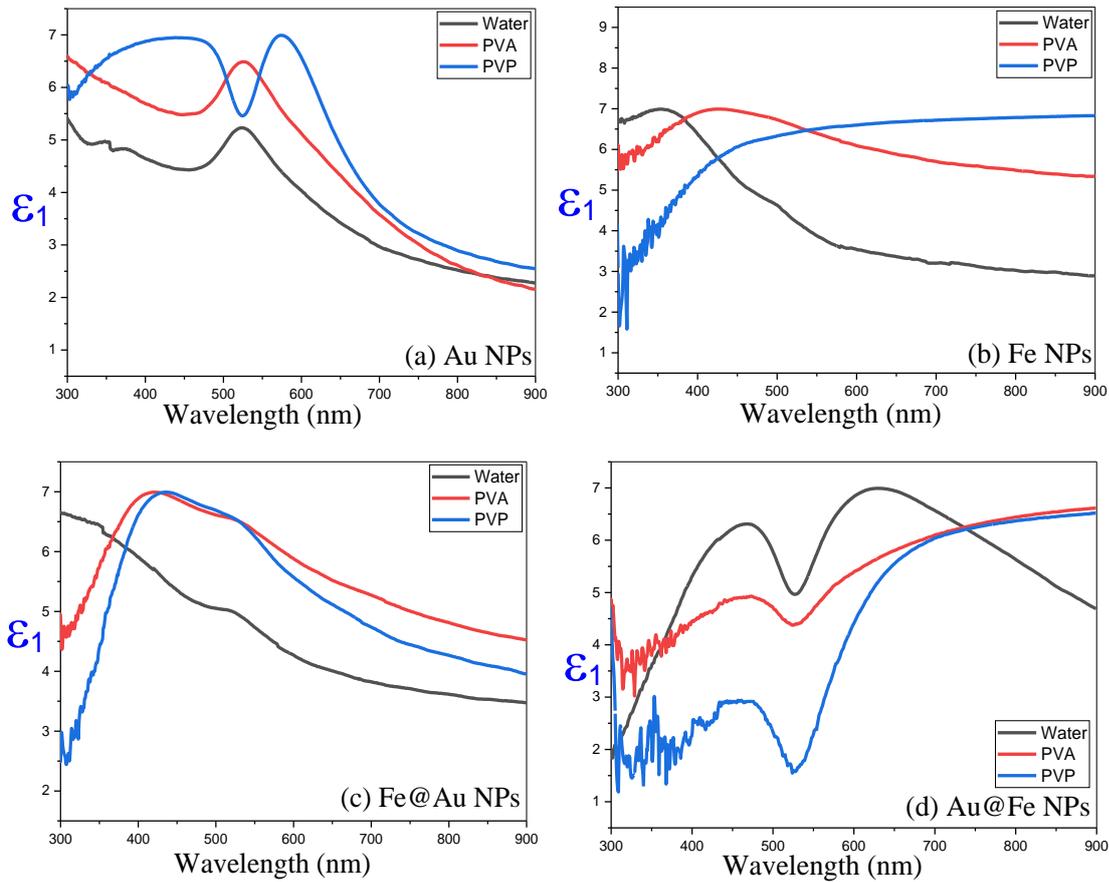
النانوية والشكل (3-6) المعاملات الخيالية للجسيمات النانوية اللب/القشرة المستخدمة في هذا العمل.

يتضح من هذه الاشكال أن الأجزاء الحقيقية والتخييلية لمعامل العزل الكهربائي قد تم استخلاصها من اطياف الامتصاص المقاس لإيجاد الخصائص البصرية الرئيسية للعينات في مصفوفة الماء ومصفوفة البولمر.

أدى الاقتران بين الوسط البلازموني والوسط المغناطيسي إلى تغيير معاملات العزل الكهربائي وبدورة يغير معامل الانكسار للعينات. يمكن أن نلاحظ بوضوح من الشكل (a.3-5) أنه عندما يتم استئصال جسيمات الذهب النانوي في المصفوفة المائية يكون لدينا قمة مميزة في طيف الرنين في مخطط ثابت العزل كدليل لمعامل الانكسار، ولكن عندما يتم تحضير الذهب النانوي في مصفوفة البولمر PVA ومصفوفة البولمر PVP يمكننا أن نرى تغيراً جوهرياً في الجزء الحقيقي من معامل مع ملاحظة المصفوفة البولمرية PVP بالمقارنة ببقية المحاليل. يمكن وصف هذا التغيير من خلال هذه الحقيقة المتمثلة في أن لدينا PVP يدعم بشكل كبير تحسين شدة وموقع البلازمون السطحي الموضعي مما يؤكد أن الحجم الذي تم الحصول عليه بمصفوفة البولمر PVP هو الحجم المناسب لتكوين البلازمون بافضل شكل ممكن في عملنا هذا بالنسبة للذهب النانوي.

بما ان الحديد النانوي مادة معدنية غير بلازمونية فلا نلاحظ وجود قمة مميزة في منحنى معامل الانكسار الحقيقي، كما في الشكل (b.3-5)، نلاحظ زيادة الخواص العزلية ومعامل الانكسار الحقيقي مع تغيير المحلول وهذا يدعم تكوين احجام متفاوتة عند تغيير نوع الوسط المحيط. علاوة على ذلك، يتم فهمه عندما نقارن الشكلين (c.3-5) و (d.3-5) بالنسبة لجسيمات اللب/القشرة مع الجسيمات العارية حيث يتم ملاحظة قمتين متميزتين في كل من الأجزاء الحقيقية والتخييلية من معاملات الانكسار. علاوة على ذلك، تم استقرار أفضل لامتصاص الذروة في محلول البوليمر مقارنة بمحلول الماء.

يتضح ان البلازمون تم تحسينه للعينة Fe@Au NPs التي فيها الذهب في منطقة الغلاف تزيد من خاصية البلازمونك، كما ان البلازمون تم تخميدة في عينة Au@Fe NPs التي فيها الحديد في منطقة الغلاف ادى الى اضعاف الخواص البلازمونية، ولجميع المحاليل المستخدمة.

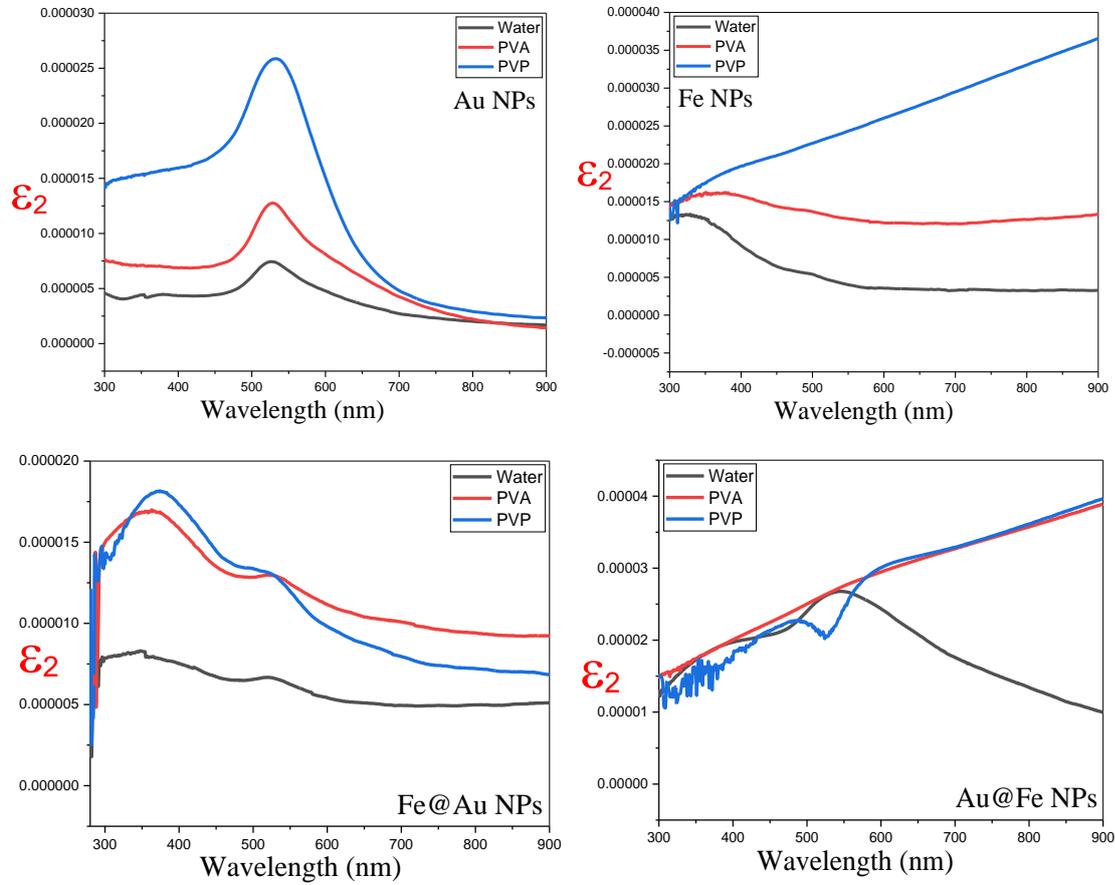


الشكل (٣-٥) معامل العزل الحقيقي بدلالة الطول الموجي في الماء منزوع الايونات بالمقارنة بمصفوفة البولمر PVA ، والبولمر PVP، للعينات (a) Au NPs ، (b) Fe NPs ، (c) Fe@Au NPs ، (d) Au@Fe NPs ،

لفهم نتائجنا بشكل افضل فاننا نناقش الخواص العزلية الخيالية كدالة لمعاملات الانكسار التخيلية حيث تعطي صورة اكثر وضوحا لتصرف البلازمون السطحي للجسيمات النانوية، كما في الشكل (٦-٣). يمكننا أن نرى تغيراً جوهرياً في الجزء التخيلي من معامل الانكسار على الرغم من ارتباطه في الجزء الحقيقي من معامل الانكسار حيث يكمل احدهما الاخر. يمكن وصف هذا التغيير من خلال هذه الحقيقة المتمثلة في أن خواص البلازمون شدة وموضع يمكن تحديدها بدقة عالية بوصف الخواص العزلية الخيالية للمادة من خلال معامل الانكسار الخيالي نلاحظ من الشكل (٦-٣. a) ازدياد شدة البلازمون وازاحة حمراء بالطول الموجي عند تغيير الوسط المحيط للذهب النانوي. كذلك نلاحظ ازدياد الخواص العزلية للحديد النانوي عند تغيير الوسط المحيط، كما في الشكل (٦-٣. b).

علاوة على ذلك ، يتم فهمه بشكل واضح عند دراسة المعاملات الخيالية للمواد النانوية اللب/القشرة نلاحظ تحسن واضح في شدة البلازمون للعينات Fe@Au NPs عند تغيير الوسط المحيط ، كذلك نلاحظ تخميد عالي لشدة البلازمون للعينات Au@Fe NPs عند تغيير الوسط المحيط وذلك لوجود الحديد في منطقة الغلاف يخمد موضع البلازمون. وذلك لسبب زيادة معامل الانكسار

وزيادة حجم الجسيمات النانوية، وكذلك بسبب الاقتران بين الخصائص البلازمونية للذهب النانوي والخصائص المغناطيسية للحديد النانوي أدى إلى تغيير معامل الانكسار للعينات. تنطبق نتائجنا مع الدراسات . [١١٢-١٢٠]



الشكل (٦-٣) معامل العزل الخيالي بدلالة الطول الموجي في الماء منزوع الايونات بالمقارنة بمصفوفة البولمر PVA ، والبولمر PVP ، للعينات (a) Au NPs ، (b) Fe NPs ، (c) Fe@Au NPs ، (d) Au@Fe NPs

The Results of VSM Measurements

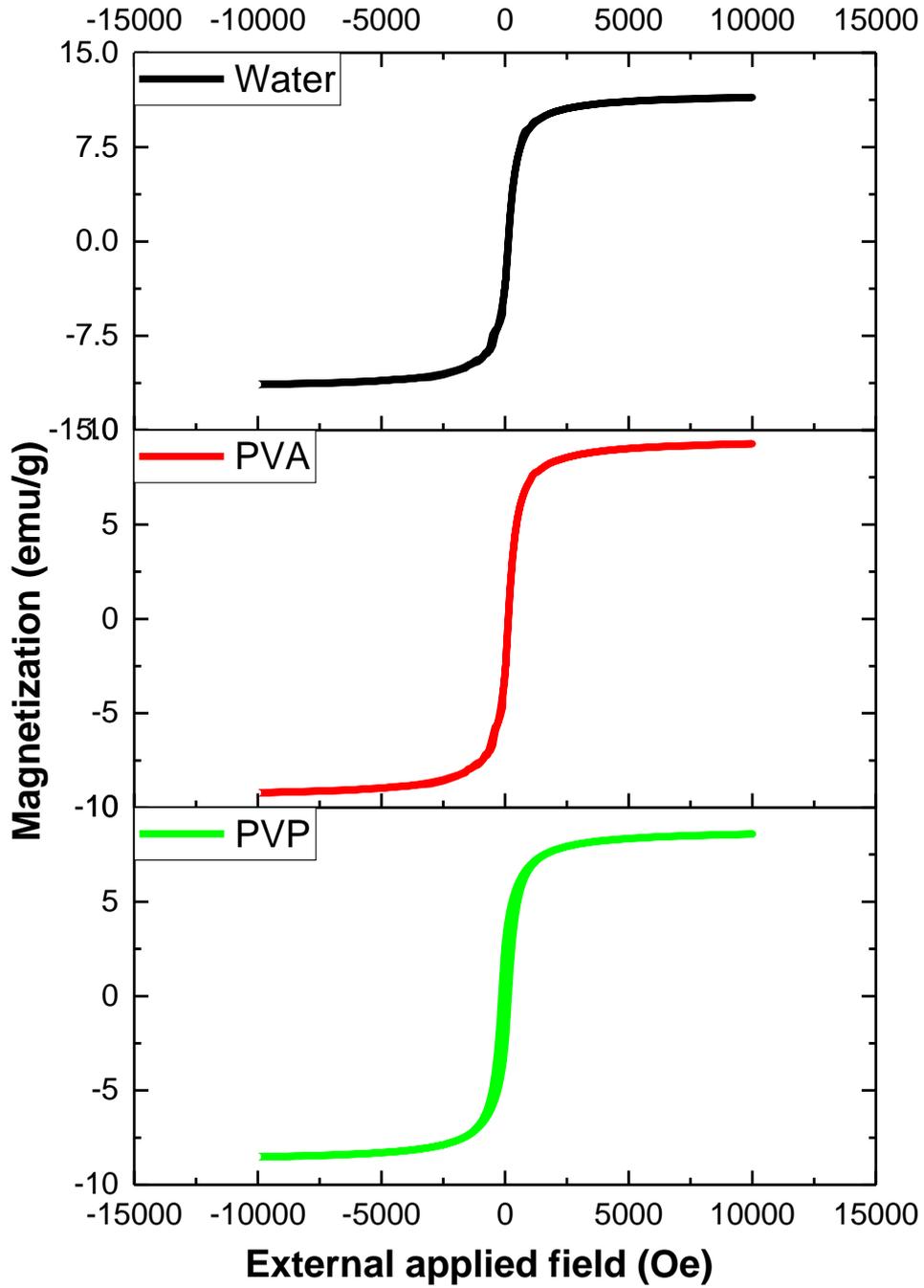
٤.٢.٣ نتائج قياسات VSM

في هذا القسم نشرح نتائج القياسات المغناطيسية التي تم الحصول عليها بواسطة هز العينات في مجال مغناطيسي متغير (جهاز VSM) ، تحت تأثير مجال مغناطيسي خارجي يصل مقداره حتى ١ تسلا . عند وضع العينات داخل مجال مغناطيسي متغير اي داخل ملفات موضوعة بشكل مناسب يتم تصنيعها للخضوع لحركة جيبيية اهتزازية اي رنين ميكانيكي منتظم، فسيتم انشاء عزوم مغناطيسية في العينة يتغير التدفق المغناطيسي الناتج عن تغيير المجال الكهربائي ليحدث جهد في ملفات الاستشعار يتناسب مع العزم المغناطيسي للعينات، بهذه الطريقة يمكن حساب الخواص المغناطيسية.

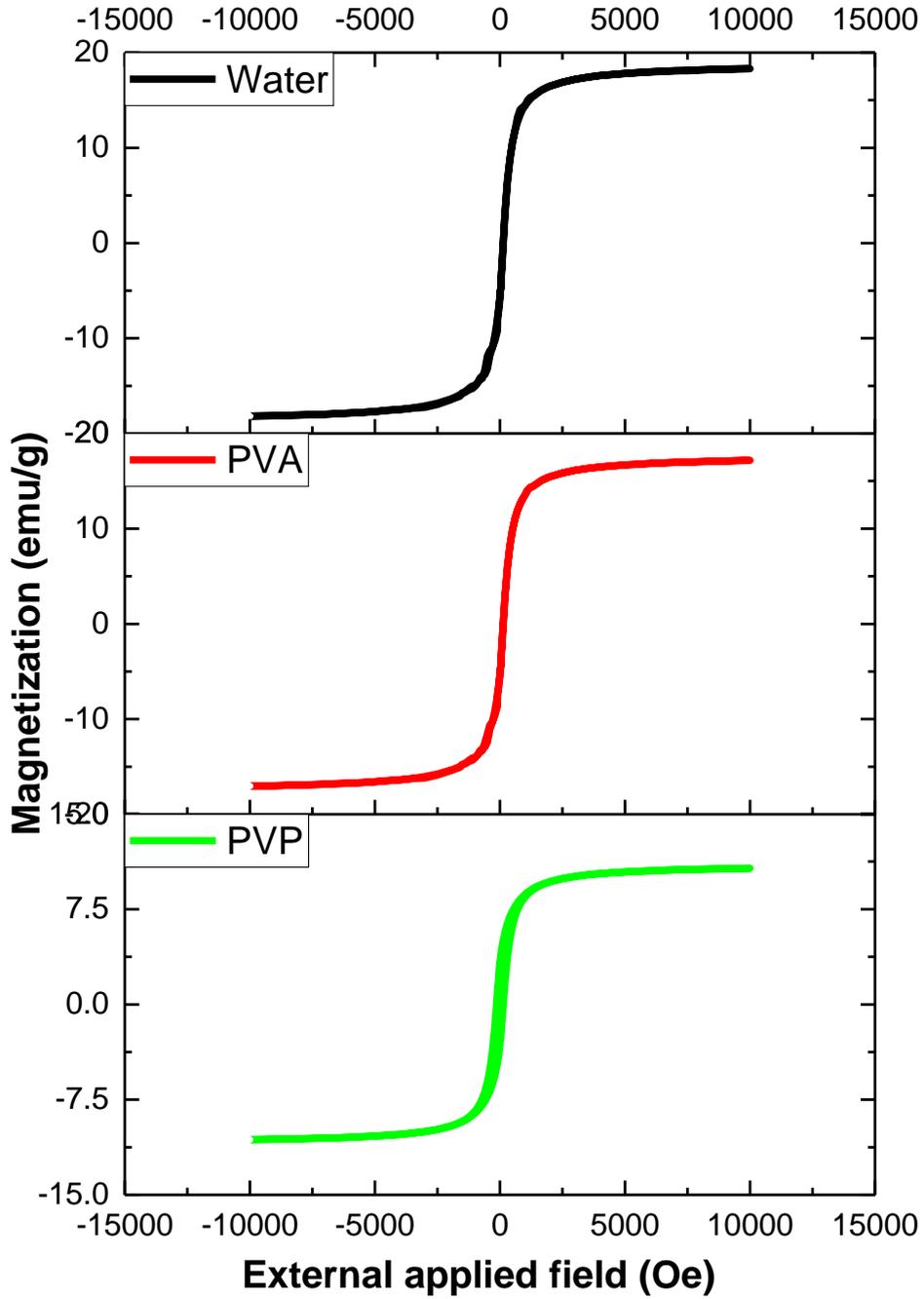
تمكنا من تحقيق تغيير بين الحالات المغناطيسية للمواد النانوية المستخدمة بهذا العمل من خلال تغيير تركيب المواد النانوية Au/Fe اللب/القشرة ، وكذلك الوسط المحيط. يعرض الشكل (٧-٣) حلقات التخلفية المغناطيسية للجسيمات النانوية Fe@Au في الماء منزوع الأيونات وكل من البولمر PVA والبولمر PVP عند درجة حرارة الغرفة (٣٠٠كلفن). تم إجراء قياسات VSM بعد ثلاثة أسابيع من تخليق العينة والتي تم خلالها تخزينها في ظروف مختبرية عادية.

بالمثل يعرض الشكل (٨-٣) حلقات التخلفية المغناطيسية للجسيمات النانوية Au@Fe في الماء منزوع الأيونات وكل من البولمر PVA والبولمر PVP عند درجة حرارة الغرفة (٣٠٠كلفن).

أظهرت جميع العينات Fe@Au اللب/القشرة النانوية سلوكاً مغناطيسياً فائقاً (سوبربارامغناطيسية) في مصفوفة مائية مع المجال المطلوب للتشبع حوالي (٥٠٠٠ Oe) وتقريباً مجال التشبع (٦٠٠٠ Oe) للمصفوفات البولمرية، على الرغم من تغيير السلوك عينة Fe@Au في مصفوفة PVP إلى سلوك فيرومغناطيسي شبة فائقة الى انها تبقى ضمن مجال السوبر بارامغناطيسية لكون المجال المغناطيسيس القسري صغير جدا . يمكن تبرير هذا السلوك من خلال هذه الحقيقة القائلة بأن الزيادة في حجم اللب وسماك الغلاف للعينات في مصفوفة PVP تزيد من كمية المادة المغناطيسية الموجودة في بنية نانوية واحدة ، مما يؤدي إلى زيادة جميع الخصائص المغناطيسية لل عينة [١١٢-١٢٠].



شكل ٧-٣)) حلقة التخلفية المغناطيسية للجسيمات النانوية Fe@Au اللب/القشرة في درجة حرارة الغرفة في وسائط مختلفة.



شكل (٣-٨) حلقة التخلفية المغناطيسية للجسيمات النانوية Au@Fe اللب/القشرة في درجة حرارة الغرفة في وسائط مختلفة.

بالمقارنة بين العينات Au@Fe و Fe@Au نلاحظ أن Au@Fe لها مغنطة أكبر كون ان الحديد في الغلاف الخارجي للجسيمات النانوية يعزز الخواص المغناطيسية بالمقارنة بالذهب الذي يخدم الخواص المغناطيسية اذا كان في طبقة القشرة. كذلك عزز البولمر PVP الخواص المغناطيسية بالمقارنة مع البولمر PVA مما يدل ان بولمر PVP لة استقرارية افضل بالاحتفاظ على المواد النانوية داخله

وهذا تم تأكيد سابقا عند فحص الخواص البصرية. تم تلخيص الخصائص المغناطيسية لجميع العينات في الجدول (٣-١). تنطبق نتائجنا مع [١١٨]

بناءً على النتائج ، تم تحقيق خصائص مغناطيسية فائقة في الجسيمات النانوية اللب/القشرة عن طريق التغيير في الوسط المحيط او تغيير تركيب العينات. بالإضافة إلى ذلك ، زادت مغنطة المجال القسري للعينات في مصفوفة PVP مقارنة بمصفوفة الماء والبولمر PVA. يمكن أن تفتح النتائج رؤى جديدة للباحثين لتحسين التأثيرات الضوئية البلازمونية - المغناطيسي في الأجهزة البصرية.

جدول ((٣-١) الخصائص المغناطيسية للجسيمات النانوية اللب/القشرة في محاليل مختلفة.

<i>Samples</i>	Liquid medium	the coercivity magnetization Hc (Oe)	the remanence magnetization Mr (e.m.u/gr)	the saturation magnetization Ms (e.m.u/gr)	the quareness ratio SQR =Mr/Ms
<i>Fe @ Au</i>	deionized water	٩	١	١٣	٠.٠٧٧
<i>Fe @ Au</i>	PVA)) polymer	١٦	١.٣	٩	٠.١٤٤
<i>Fe @ Au</i>	PVP)) polymer	٦٥	٢	٨	٠.٢٥٠
<i>Au @ Fe</i>	deionized water	١٣	١.٢	١٧	٠.٠٧٠
<i>Au @ Fe</i>	PVA)) polymer	٢٢	١.٨	١١	٠.١٦٣
<i>Au @ Fe</i>	PVP)) polymer	٨٦	٣	١٠	٠.٣٠

Conclusions

في هذه الدراسة تم تحضير الذهب والحديد النانوي كذلك الجسيمات النانوية Fe/Au اللب / القشرة المشتتة في بيئات مختلفة عن طريق طريقة الاستئصال بالليزر النبضي مع نبضات ليزر نانوثانية عند ١٠٦٤ نانومتر من أجل تقييم خواصها البصرية الخطية البلازمية وكذلك خواصها المغناطيسية، على التوالي. كما وصفنا كيف يؤثر شدة وموضع البلازمون على معامل الانكسار للعينات.

من خلال الجمع بين الخصائص البلازمية لـ Au NPs والخصائص المغناطيسية لـ Fe NPs ، حققنا قابلية ضبط وتعديل للخصائص البلازمية-المغناطيسية للمركب النانوي اللب/القشرة تحت معايير مختلفة. أثبتت هذه الدراسة أن الجسيمات النانوية المقترحة في هذا العمل ، لها قابلية ضبط وتحكم بالخواص ، يمكن أن تفتح النتائج رؤى جديدة للباحثين لتحسين التأثيرات المغناطيسية- البلازمية بشكل أكبر في الأجهزة الضوئية.

من هذه الدراسة يمكننا أن نستنتج النتائج التجريبية ما يلي: -

١- تظهر نتائجنا قابلية ضبط وتعديل كبيرة لنطاق الامتصاص SPR لكل مجموعة من المواد النانوية والتي قد تكون مفيدة في تصميم أجهزة الامتصاص البصري.

٢- تكون ذروة SPR أكثر حدة في مصفوفة PVP وكذلك أكثر وضوحاً من بوليمر PVA نظراً لخصائص PVP التي تجعلها أكثر ثباتاً من الوسط المائي. في عينات اللب/القشرة ، يمكننا أن نلاحظ قمتين متميزتين تآتيان من امتصاص كل مادة في البنية النانوية.

٣- تُظهر نتائج SEM-FE نواة طور معدني اللب/القشرة مكونة من جسيمات مورفولوجيا شبه كروية بمتوسط حجم نواة 30 ± 5 نانومتر ، وسماكة متوسطة 20 ± 20 نانومتر لـ Fe / Au في الماء . يتم زيادة هذه الأحجام عندما يتم إنشاء العينات في البولمر ، بسبب تجميع الجسيمات النانوية داخل البوليمر.

٤- أظهرت صور SEM-FE لجميع العينات أن قطر اللب وسمك القشرة يعتمدان على الوسائط المحيطة في وقت الاجتثاث الثابت لكليهما.

٥- وجدنا أن المذيبات لها تأثير كبير على الخواص البصرية الخطية والخواص المغناطيسية للعينات. علاوة على ذلك ، تزداد مغنطة المجال القسري للعينات في مصفوفة PVP مقارنة بمصفوفة الماء وتكون اوضح من PVA.

٦- تشير النتائج إلى أن العينات لها خصائص مغناطيسية فائقة قابلة للتعديل والتحكم في الخواص يمكن أن يكون مفيدة في تطوير الأجهزة البصرية والتطبيقات الطبية الحيوية.

٣.٤ الأعمال المستقبلية Suggestions for Future Works

يمكن تمديد العمل الحالي كعمل مستقبلي كما في الآتي: -

- ١- دراسة تأثير المذبيات والبوليمرات أخرى على تخليق الجسيمات النانوية المقترحة في هذا العمل.
- ٢- دراسة تأثير المجال الخارجي (كهربائي ومغناطيسي) على تخليق المواد النانوية ودراسة تأثيره على خواصها المغناطيسية والبلازمونية .
- ٣- دراسة تأثير البلازما الحرارية بعد تشعيع العينات باليزر في المنطقة المرئية والأشعة تحت الحمراء.
- ٤- دراسة حقن الجسيمات المقترحة في هذا العمل داخل الجسم الحي لاستخدامها كعلاج في المجال الطبي.

References

- [1] Sakthisabarimoorthi, A., S. A. Martin Britto Dhas, and M. Jose. "Preparation of composite Ag@Au core-shell nanoparticles and their linear and nonlinear optical properties." *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 30, no. 2 (2018): 1677-1685. [doi:10.1007/s10854-018-0439-5](https://doi.org/10.1007/s10854-018-0439-5).
- [2] Sargentelli, Vagner, and Antônio A. Ferreira. "Magnetic Nanoparticles: Co@SiO₂, Co@Au and Co@Pt." *Eclética Química Journal* 36, no. 4 (2017), 01. [doi:10.26850/1678-4618eqj.v36.4.2011.p01-13](https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v36.4.2011.p01-13).
- [3] Majhi, Sanjit M., Prabhakar Rai, and Yeon-Tae Yu. "Facile Approach to Synthesize Au@ZnO Core-Shell Nanoparticles and Their Application for Highly Sensitive and Selective Gas Sensors." *ACS Applied Materials & Interfaces* 7, no. 18 (2015), 9462-9468. [doi:10.1021/acsami.5b00055](https://doi.org/10.1021/acsami.5b00055).
- [4] Navas, M. P., and R. K. Soni. "Laser-Generated Bimetallic Ag-Au and Ag-Cu Core-Shell Nanoparticles for Refractive Index Sensing." *Plasmonics* 10, no. 3 (2014), 681-690. [doi:10.1007/s11468-014-9854-5](https://doi.org/10.1007/s11468-014-9854-5).
- [5] Eisa, Wael H., Emad Al-Ashkar, S.M. El-Mossalamy, and Safaa S. Ali. "PVP induce self-seeding process for growth of Au@Ag core@shell nanocomposites." *Chemical Physics Letters* 651 (2016), 28-33. [doi:10.1016/j.cplett.2016.03.009](https://doi.org/10.1016/j.cplett.2016.03.009).
- [6] Prymak, Oleg, Jurij Jakobi, Christoph Rehbock, Matthias Epple, and Stephan Barcikowski. "Crystallographic characterization of laser-generated, polymer-stabilized 4 nm silver-gold alloyed nanoparticles." *Materials Chemistry and Physics* 207 (2018), 442-450. [doi:10.1016/j.matchemphys.2017.12.080](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.12.080).
- [7] Nguyen, Thi, Fayna Mammeri, and Souad Ammar. "Iron Oxide and Gold Based Magneto-Plasmonic Nanostructures for Medical Applications: A Review." *Nanomaterials* 8, no. 3 (2018), 149. [doi:10.3390/nano8030149](https://doi.org/10.3390/nano8030149).
- [8] Zhou, Hongjian, Fengming Zou, Kwangnak Koh, and Jaebeom Lee. "Multifunctional Magnetoplasmonic Nanomaterials and Their Biomedical Applications." *Journal of Biomedical Nanotechnology* 10, no. 10 (2014), 2921-2949. [doi:10.1166/jbn.2014.1938](https://doi.org/10.1166/jbn.2014.1938).
- [9] Bochenek, Dariusz, Przemysław Niemiec, Ryszard Skulski, and Małgorzata .Habrajaska-Adamczyk "Electrophysical properties of a multicomponent PZT-type ceramics for actuator applications." *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 133 (2019), 128-134. [doi:10.1016/j.jpccs.2019.05.015](https://doi.org/10.1016/j.jpccs.2019.05.015).
- [10] Contreras, J.E., E.A. Rodriguez, and J. Taha-Tijerina. "Nanotechnology applications for electrical transformers—A review." *Electric Power Systems Research* 143 (2017): 573-584. [doi:10.1016/j.epsr.2016.10.058](https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.10.058).

- [11] Bowman, Diana M., Graeme A. Hodge, and Peter Binks. "Are We Really the Prey? Nanotechnology as Science and Science Fiction." *Bulletin of Science, Technology & Society* 27, no. 6 (2007): 435-445. [doi:10.1177/0270467607308282](https://doi.org/10.1177/0270467607308282).
- [12] Korayem, A.H., N. Tourani, M. Zakertabrizi, A.M. Sabziparvar, and W.H. Duan. "A review of dispersion of nanoparticles in cementitious matrices: Nanoparticle geometry perspective." *Construction and Building Materials* 153 (2017): 346-357. [doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.06.164](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.164).
- [13] Berube, David, Christopher Cummings, Michael Cacciatore, Dietram Scheufele, and Jason Kalin. "Characteristics and classification of nanoparticles: Expert Delphi survey." *Nanotoxicology* 5, no. 2 (2010): 236-243. [doi:10.3109/17435390.2010.521633](https://doi.org/10.3109/17435390.2010.521633).
- [14] Sargentelli, Vagner, and Antônio A. Ferreira. "Magnetic Nanoparticles: Co@SiO₂, Co@Au and Co@Pt." *Eclética Química Journal* 36, no. 4 (2017): 01. [doi:10.26850/1678-4618eqj.v36.4.2011.p01-13](https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v36.4.2011.p01-13).
- [15] Tiwari, Jitendra N., Rajanish N. Tiwari, and Kwang S. Kim. "Zero-dimensional, one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional nanostructured materials for advanced electrochemical energy devices." *Progress in Materials Science* 57, no. 4 (2012): 724-803. [doi:10.1016/j.pmatsci.2011.08.003](https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.08.003).
- [16] Piquemal, Jean-Yves, Emmanuel Briot, and Jean-Marie Brégeault. "Preparation of materials in the presence of hydrogen peroxide: from discrete or "zero-dimensional" objects to bulk materials." *Dalton Trans* 42, no. 1 (2013): 29-45. [doi:10.1039/c2dt31660a](https://doi.org/10.1039/c2dt31660a).
- [17] Yeap, Swee P. "Permanent agglomerates in powdered nanoparticles: Formation and future prospects." *Powder Technology* 323 (2018): 51-59. [doi:10.1016/j.powtec.2017.09.042](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.09.042).
- [18] Gubicza, Jenő. "Defect structure in bulk nanomaterials processed by severe plastic deformation." *Defect Structure in Nanomaterials*, 2012, 41-83. [doi:10.1533/9780857096142.41](https://doi.org/10.1533/9780857096142.41).
- [19] Zhang, Haijun, Naoki Toshima, Kanako Takasaki, and Mitsutaka Okumura. "Preparation of Agcore/Au shell bimetallic nanoparticles from physical mixtures of Au clusters and Ag ions under dark conditions and their catalytic activity for aerobic glucose oxidation." *Journal of Alloys and Compounds* 586 (2014): 462-468. [doi:10.1016/j.jallcom.2013.10.048](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.10.048).
- [20] Schmidt, Erik, Angelo Vargas, Tamas Mallat, and Alfons Baiker. "Shape-Selective Enantioselective Hydrogenation on Pt Nanoparticles." *Journal of the*

American Chemical Society 131, no. 34 (2009): 12358-12367.
[doi:10.1021/ja9043328](https://doi.org/10.1021/ja9043328).

[21] Zhu, Jiahua, Shiyi Zhang, Ke Zhang, Xiaojun Wang, Jimmy W. Mays, Karen L. Wooley, and Darrin J. Pochan. "Disk-cylinder and disk-sphere nanoparticles via a block copolymer blend solution construction." *Nature Communications* 4, no. 1 (2013). [doi:10.1038/ncomms3297](https://doi.org/10.1038/ncomms3297).

[22] Luu, Quocanh N., Joshua M. Doorn, Mary T. Berry, Chaoyang Jiang, Cuikun Lin, and P. S. May. "Preparation and optical properties of silver nanowires and silver-nanowire thin films." *Journal of Colloid and Interface Science* 356, no. 1 (2011): 151-158. [doi:10.1016/j.jcis.2010.12.077](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.12.077).

[23] Su, Xiao-Feng, Jian-Biao Chen, Ru-Mei He, Yan Li, Jian Wang, and Cheng-Wei Wang. "The preparation of oxygen-deficient ZnO nanorod arrays and their enhanced field emission." *Materials Science in Semiconductor Processing* 67 (2017): 55-61. [doi:10.1016/j.mssp.2017.05.012](https://doi.org/10.1016/j.mssp.2017.05.012).

[24] Chook, Soon W., Shun X. Yau, Chin H. Chia, Siew X. Chin, and Sarani Zakaria. "Carboxylated-nanoncellulose as a template for the synthesis of silver nanoprism." *Applied Surface Science* 422 (2017): 32-38. [doi:10.1016/j.apsusc.2017.05.242](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.05.242).

[25] Cathcart, Nicole, Neil Coombs, Ilya Gourevich, and Vladimir Kitaev. "Synthesis and sensing properties of D5hpentagonal silver star nanoparticles." *Nanoscale* 8, no. 43 (2016): 18282-18290. [doi:10.1039/c6nr07397b](https://doi.org/10.1039/c6nr07397b).

[26] Biener, Jürgen, Arne Wittstock, Theodore Baumann, Jörg Weissmüller, Marcus Bäumer, and Alex Hamza. "Surface Chemistry in Nanoscale Materials." *Materials* 2, no. 4 (2009): 2404-2428. [doi:10.3390/ma2042404](https://doi.org/10.3390/ma2042404).

[27] Kumar, Prashant, Alan Robins, Sotiris Vardoulakis, and Rex Britter. "A review of the characteristics of nanoparticles in the urban atmosphere and the prospects for developing regulatory controls." *Atmospheric Environment* 44, no. 39 (2010): 5035-5052. [doi:10.1016/j.atmosenv.2010.08.016](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.08.016).

[28] Paul, Subir. "Nanomaterials synthesis by electrodeposition techniques for high-energetic electrodes in fuel cell." *Nanomaterials and Energy* 4, no. 1 (2015): 80-89. [doi:10.1680/nme.14.00031](https://doi.org/10.1680/nme.14.00031).

[29] Wei, Dacheng, Yunqi Liu, Yu Wang, Hongliang Zhang, Liping Huang, and Gui Yu. "Synthesis of N-Doped Graphene by Chemical Vapor Deposition and Its Electrical Properties." *Nano Letters* 9, no. 5 (2009): 1752-1758. [doi:10.1021/nl803279t](https://doi.org/10.1021/nl803279t).

[30] Rahman, Ismail A., and Vejayakumaran Padavettan. "Synthesis of Silica Nanoparticles by Sol-Gel: Size-Dependent Properties, Surface Modification,

and Applications in Silica-Polymer Nanocomposites—A Review." *Journal of Nanomaterials* 2012 (2012): 1-15. [doi:10.1155/2012/132424](https://doi.org/10.1155/2012/132424).

[31] Liu, Fei, and Tae S. Seo. "A Controllable Self-Assembly Method for Large-Scale Synthesis of Graphene Sponges and Free-Standing Graphene Films." *Advanced Functional Materials* 20, no. 12 (2010): 1930-1936. [doi:10.1002/adfm.201000287](https://doi.org/10.1002/adfm.201000287).

[32] Kim, Myungjoon, Saho Osone, Taesung Kim, Hidenori Higashi, and Takafumi Seto. "Synthesis of Nanoparticles by Laser Ablation: A Review." *KONA Powder and Particle Journal* 34, no. 0 (2017): 80-90. [doi:10.14356/kona.2017009](https://doi.org/10.14356/kona.2017009).

[33] Wang, Chunyan, Dawei Cao, Fengang Zheng, Wen Dong, Liang Fang, Xiaodong Su, and Mingrong Shen. "Photocathodic behavior of ferroelectric Pb(Zr,Ti)O₃ films decorated with silver nanoparticles." *Chemical Communications* 49, no. 36 (2013): 3769. [doi:10.1039/c3cc38545k](https://doi.org/10.1039/c3cc38545k).

[34] Zheng, Mupeng, Yudong Hou, Xinwei Fan, and Mankang Zhu. "Novel Core-Shell Nanostructure in Percolative PZN–PZT/Ag Ferroelectric Composites." *Journal of the American Ceramic Society* 98, no. 2 (2014): 543-550. [doi:10.1111/jace.13314](https://doi.org/10.1111/jace.13314).

[35] Kim, Jung H., Sangwoo Kwon, and Woochul Yang. "Patterned Growth of Au Nanoparticles on Polycrystalline Lead Zirconate Titanate Surfaces." *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 14, no. 10 (2014): 7985-7989. [doi:10.1166/jnn.2014.9432](https://doi.org/10.1166/jnn.2014.9432).

[36] Baibarac, Mihaela, Marian Sima, Elena Matei, Iuliana Pasuk, and Lucian Mihut. "Synthesis and Raman scattering of multiferroic Fe-Pb(Zr_{0.2}Ti_{0.8})O₃ core-shell wire arrays." *physica status solidi (a)* 211, no. 1 (2013): 200-205. [doi:10.1002/pssa.201330062](https://doi.org/10.1002/pssa.201330062).

[37] Khorrami, Gh.H., A. Khorsand Zak, and S.M. Banihashemian. "Magnetic and dielectric properties on sol–gel combustion synthesis of Pb(Zr_{0.52},Ti_{0.43}X_{0.05})O₃ (X=Fe, Ni, and Co) nanoparticles." *Advanced Powder Technology* 25, no. 4 (2014): 1319-1324. [doi:10.1016/j.appt.2014.03.011](https://doi.org/10.1016/j.appt.2014.03.011).

[38] Mélinon, Patrice, Sylvie Begin-Colin, Jean L. Duvail, Fabienne Gauffre, Nathalie H. Boime, Gilles Ledoux, Jérôme Plain, Peter Reiss, Fabien Silly, and Bénédicte Warot-Fonrose. "Engineered inorganic core/shell nanoparticles." *Physics Reports* 543, no. 3 (2014): 163-197. [doi:10.1016/j.physrep.2014.05.003](https://doi.org/10.1016/j.physrep.2014.05.003).

- [39] Liu, Rui, and Rodney D. Priestley. "Rational design and fabrication of core-shell nanoparticles through a one-step/pot strategy." *Journal of Materials Chemistry A* 4, no. 18 (2016): 6680-6692. [doi:10.1039/c5ta09607c](https://doi.org/10.1039/c5ta09607c).
- [40] Hamidi-Asl, Ezat, Freddy Dardenne, Sanaz Pilehvar, Ronny Blust, and Karolien De Wael. "Unique Properties of Core Shell Ag@Au Nanoparticles for the Aptasensing of Bacterial Cells." *Chemosensors* 4, no. 3 (2016): 16. [doi:10.3390/chemosensors4030016](https://doi.org/10.3390/chemosensors4030016).
- [41] Riley, Rachel S., and Emily S. Day. "Gold nanoparticle-mediated photothermal therapy: applications and opportunities for multimodal cancer treatment." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology* 9, no. 4 (2017): e1449. [doi:10.1002/wnan.1449](https://doi.org/10.1002/wnan.1449).
- [42] Choe, Minhyeok, Chu-Young Cho, Jae-Phil Shim, Woojin Park, Sung K. Lim, Woong-Ki Hong, Byoung Hun Lee, Dong-Seon Lee, Seong-Ju Park, and Takhee Lee. "Au nanoparticle-decorated graphene electrodes for GaN-based optoelectronic devices." *Applied Physics Letters* 101, no. 3 (2012): 031115. [doi:10.1063/1.4737637](https://doi.org/10.1063/1.4737637).
- [43] Favier, Isabelle, Daniel Pla, and Montserrat Gómez. "Metal-based nanoparticles dispersed in glycerol: An efficient approach for catalysis." *Catalysis Today* 310 (2018): 98-106. [doi:10.1016/j.cattod.2017.06.026](https://doi.org/10.1016/j.cattod.2017.06.026).
- [44] Moos, Rafaela, Ismael L. Graff, Vinicius S. De Oliveira, Wido H. Schreiner, and Arandi G. Bezerra. "Influence of plasmon coupling on the photoluminescence of ZnS/Ag nanoparticles obtained by laser irradiation in liquid." *Optical Materials* 72 (2017): 98-105. [doi:10.1016/j.optmat.2017.05.050](https://doi.org/10.1016/j.optmat.2017.05.050).
- [45] Zhang, Tao, Wei Zhang, Min Zheng, and Zhigang Xie. "Near-infrared BODIPY-paclitaxel conjugates assembling organic nanoparticles for chemotherapy and bioimaging." *Journal of Colloid and Interface Science* 514 (2018): 584-591. [doi:10.1016/j.jcis.2017.12.074](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.12.074).
- [46] Wang, Xingfu, Wenbo Peng, Caofeng Pan, and Zhong Lin Wang. "Piezotronics and piezo-phototronics based on-axis nano/microwires: fundamentals and applications." *Semiconductor Science and Technology* 32, no. 4 (2017): 043005. [doi:10.1088/1361-6641/aa5fcd](https://doi.org/10.1088/1361-6641/aa5fcd).
- [47] A. Khorsand Zak, W. H. Abd. Majid, M. Darroudi. "Synthesis and characterization of sol-gel derived single phase PZT nanoparticles in aqueous polyol solution." *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol. 12, No. 8, August (2010), p. 1714 - 1719. [doi:10.1166/jnn.2009.1314](https://doi.org/10.1166/jnn.2009.1314).

- [48] Chen, Yu-Jin, Fan Zhang, Guo-gang Zhao, Xiao-yong Fang, Hai-Bo Jin, Peng Gao, Chun-Ling Zhu, Mao-Sheng Cao, and G. Xiao. "Synthesis, Multi-Nonlinear Dielectric Resonance, and Excellent Electromagnetic Absorption Characteristics of Fe₃O₄/ZnO Core/Shell Nanorods." *The Journal of Physical Chemistry C* 114, no. 20 (2010): 9239-9244. [doi:10.1021/jp912178q](https://doi.org/10.1021/jp912178q).
- [49] Pintilie, L., C. Dragoi, R. Radu, A. Costinoaia, V. Stancu, and I. Pintilie. "Temperature induced change in the hysteretic behavior of the capacitance-voltage characteristics of Pt–ZnO–Pb(Zr_{0.2}Ti_{0.8})O₃–Pt heterostructures." *Applied Physics Letters* 96, no. 1 (2010): 012903. [doi:10.1063/1.3284659](https://doi.org/10.1063/1.3284659).
- [50] Xie, Shuhong, Feiyue Ma, Yuanming Liu, and Jiangyu Li. "Multiferroic CoFe₂O₄–Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃ core-shell nanofibers and their magnetoelectric coupling." *Nanoscale* 3, no. 8 (2011): 3152. [doi:10.1039/c1nr10288e](https://doi.org/10.1039/c1nr10288e).
- [51] Bichurin, Mirza, Vladimir Petrov, Anatoly Zakharov, Denis Kovalenko, Su C. Yang, Deepam Maurya, Vishwas Bedekar, and Shashank Priya. "Magnetoelectric Interactions in Lead-Based and Lead-Free Composites." *Materials* 4, no. 4 (2011): 651-702. [doi:10.3390/ma4040651](https://doi.org/10.3390/ma4040651).
- [52] Zak, A.K., W.C. Gan, W.H. A. Majid, Majid Darroudi, and T.S. Velayutham. "Experimental and theoretical dielectric studies of PVDF/PZT nanocomposite thin films." *Ceramics International* 37, no. 5 (2011): 1653-1660. [doi:10.1016/j.ceramint.2011.01.037](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.01.037).
- [53] Zak, A. K., and W.H. A. Majid. "Effect of solvent on structure and optical properties of PZT nanoparticles prepared by sol–gel method, in infrared region." *Ceramics International* 37, no. 3 (2011): 753-758. [doi:10.1016/j.ceramint.2010.10.020](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2010.10.020).
- [54] Kim, Jung-Hun, and Woochul Yang. "Selective growth of Au nanoparticles on PZT substrates by using a photochemical reaction." *Journal of the Korean Physical Society* 60, no. 10 (2012): 1798-1802. [doi:10.3938/jkps.60.1798](https://doi.org/10.3938/jkps.60.1798).
- [55] Shakeri, Amid, Hossein Abdizadeh, and Mohammad R. Golobostanfard. "Effects of Calcination Parameters on the Microstructure and Morphology of PZT Nanoparticles Prepared by Modified Sol–Gel Method." *Advanced Materials Research* 576 (2012): 326-329. [doi:10.4028/www.scientific.net/amr.576.326](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.576.326).
- [56] Yan Zhao, Shuanghao Li, Yong Zeng, and Yijian Jiang. "Synthesis and properties of Ag/ZnO core/shell nanostructures prepared by excimer laser ablation in liquid." *APL Mater.* 3, 086103 (2015); [doi: 10.1063/1.4928287](https://doi.org/10.1063/1.4928287).
- [57] Garnica-Romo, M. G., A. Páez-Sánchez, L. García-González, I. Domínguez-López, L. L. Díaz-Flores, and M. Villicaña-Mendez. "Nanoparticles

of lead zirconate titanate (PZT) used as ferroelectric ceramics produced by sol-gel acetic-acid route." *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 74, no. 2 (2015): 425-431. [doi:10.1007/s10971-015-3617-4](https://doi.org/10.1007/s10971-015-3617-4).

[58] Suárez-Gómez, Amaury, and Vladimir Rodríguez-Iglesias. "A 'Universal' Bottom-up Sol-gel Based Synthesis of Pzt (1-x)/x Submicrometric Structures: 1. Dynamic Light Scattering Characterization of Precursor Stability and Aggregation Kinetics." *Materials Research* 18, no. 4 (2015): 798-805. [doi:10.1590/1516-1439.004315](https://doi.org/10.1590/1516-1439.004315).

[59] Acosta, Matias, Ljubomira A. Schmitt, Leopoldo Molina-Luna, Michael C. Scherrer, Michael Brilz, Kyle G. Webber, Marco Deluca, Hans-Joachim Kleebe, Jürgen Rödel, and Wolfgang Donner. "Core-Shell Lead-Free Piezoelectric Ceramics: Current Status and Advanced Characterization of the Bi_{1/2}Na_{1/2}TiO₃-SrTiO₃System." *Journal of the American Ceramic Society* 98, no. 11 (2015): 3405-3422. [doi:10.1111/jace.13853](https://doi.org/10.1111/jace.13853).

[60] Fu, Bi, Ruie Lu, Kun Gao, Yaodong Yang, and Yaping Wang. "Substrate clamping effect onto magnetoelectric coupling in multiferroic BaTiO₃-CoFe₂O₄ core-shell nanofibers via coaxial electrospinning." *EPL (Europhysics Letters)* 112, no. 2 (2015): 27002. [doi:10.1209/0295-5075/112/27002](https://doi.org/10.1209/0295-5075/112/27002).

[61] Debéda, H., C. Lucat, and V. Pommier-Budinger. "Printed Piezoelectric Materials for Vibration-based Damage Detection." *Procedia Engineering* 168 (2016): 708-712. [doi:10.1016/j.proeng.2016.11.254](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.254).

[62] Paik, Young H., Hossein S. Kojori, and Sung J. Kim. "Ferroelectric devices using lead zirconate titanate (PZT) nanoparticles." *Nanotechnology* 27, no. 7 (2016): 075204. [doi:10.1088/0957-4484/27/7/075204](https://doi.org/10.1088/0957-4484/27/7/075204).

[63] Mirzaei, Ali, Maryam Bonyani, and Shahab Torkian. "Synthesis and characterization of nanocrystalline PZT powders: From sol to dense ceramics." *Processing and Application of Ceramics* 10, no. 1 (2016): 9-16. [doi:10.2298/pac1601009m](https://doi.org/10.2298/pac1601009m).

[64] E. Fazio, L. D'Urso, S. Santangelo, R. Saija, G. Compagnini, and F. Neri. "The activation of non-linear optical response in Ag@ZnO nanocolloids under an external highly intense electric field." *IL Nuovo Cimento* 39 C (2016) 307. [doi:10.1393/ncc/i2016-16307-9](https://doi.org/10.1393/ncc/i2016-16307-9).

[65] Yan, Shuke, Satish C. Rai, Zhi Zheng, Fahad Alqarni, Manish Bhatt, Michael A. Retana, and Weilie Zhou. "Piezophototronic Effect Enhanced UV/Visible Photodetector Based on ZnO/ZnSe Heterostructure Core/Shell Nanowire Array and Its Self-Powered Performance." *Advanced Electronic Materials* 2, no. 12 (2016): 1600242. [doi:10.1002/aelm.201600242](https://doi.org/10.1002/aelm.201600242).

- [66] P, Gowdhaman, Annamalai V, Haresh M. Pandya, and Kumar P R. "Significance of Micro and Nano PZT Particles on Dielectric and Piezoelectric Properties of PZT-PVDF Composites." *International Journal of Advances in Scientific Research* 2, no. 3 (2016): 64. [doi:10.7439/ijasr.v2i3.3099](https://doi.org/10.7439/ijasr.v2i3.3099).
- [67] Bai, Yu, Zhan J. Wang, Bin He, Jian Z. Cui, and Zhi D. Zhang. "Enhancement of Polarization in Ferroelectric Films via the Incorporation of Gold Nanoparticles." *ACS Omega* 2, no. 12 (2017): 9067-9073. [doi:10.1021/acsomega.7b01626](https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01626).
- [68] Fernández, Claudia P., Fabio L. Zabotto, Ducinei Garcia, and Ruth H. Kiminami. "In situ sol-gel co-synthesis at as low hydrolysis rate and microwave sintering of PZT/Fe₂CoO₄ magnetoelectric composite ceramics." *Ceramics International* 43, no. 8 (2017): 5925-5933. [doi:10.1016/j.ceramint.2017.01.100](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.01.100).
- [69] Feng, Yawei, Hao Li, Lili Ling, Sa Yan, Donglai Pan, Hao Ge, Hexing Li, and Zhenfeng Bian. "Enhanced Photocatalytic Degradation Performance by Fluid-Induced Piezoelectric Field." *Environmental Science & Technology* 52, no. 14 (2018): 7842-7848. [doi:10.1021/acs.est.8b00946](https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00946).
- [70] Lisnevskaya, I. V. "Lead Zirconate Titanate/Modified Nickel Ferrite Magnetoelectric Composites Prepared from Submicron Precursors." *Inorganic Materials* 54, no. 12 (2018): 1277-1290. [doi:10.1134/s0020168518120099](https://doi.org/10.1134/s0020168518120099).
- [71] Christie, K. W., Schaeffer, R. M., & Schwarz, E. J. (1970). A vibrating-sample magnetometer. [doi:10.4095/105664](https://doi.org/10.4095/105664).
- [72] Yürektürk, Y., & Baydogan, M. (2017). Estimating volume fractions of Microstructural constituents in Austempered high silicon alloyed GJS 600-10 ductile iron through magnetic measurements (VSM). *Materials Science Forum*, 907, 50-55. [doi:10.4028/www.scientific.net/msf.907.50](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.907.50).
- [73] Bartholomew, H. (1969). An introduction to metallurgical laboratory techniques. *Materials Science and Engineering*, 4(1), 60. [doi:10.1016/0025-5416\(69\)90040-8](https://doi.org/10.1016/0025-5416(69)90040-8).
- [74] Mészáros, I. (2007). Development of a novel vibrating sample magnetometer. *Materials Science Forum*, 413-418. [doi:10.4028/0-87849-426-x.413](https://doi.org/10.4028/0-87849-426-x.413).
- [75] akobi, J., Petersen, S., Menéndez-Manjón, A., Wagener, P., & Barcikowski, S. (2010). Magnetic alloy nanoparticles from laser ablation in Cyclopentanone and their.
- [76] Johnson, A. (1993). M. Gross (Ed.). *Mass spectrometry in the biological sciences: A tutorial*. Kluwer academic publishers, Dordercht/Boston/London.

461 pp. NATO ASI series C Vol. 353. *Organic Mass Spectrometry*, 28(2), 144-144. [doi:10.1002/oms.1210280216](https://doi.org/10.1002/oms.1210280216).

[77] Jiles, D. (1991). *Magnetic materials. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*, 69-87. [doi:10.1007/978-1-4615-3868-4_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3868-4_4).

[78] Barkatt, A. (1996). *Magnetic ceramics by Raul Valenzuela (National University of Mexico)*. Cambridge University Press: Cambridge, U.K. 1994. xix + 312 pp. \$79.95. ISBN 0-521-36485-X. *Journal of the American Chemical Society*, 118(4), 5-6. [doi:10.1021/ja945153z](https://doi.org/10.1021/ja945153z).

[79] Mallinson, J. C. (1993). *Magnetic recording media. The Foundations of Magnetic Recording*, 29-39. [doi:10.1016/b978-0-12-466626-9.50008-3](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-466626-9.50008-3).

[80] *References*. (1986). *Approximation of Continuously Differentiable Functions*, 221-233. [doi:10.1016/s0304-0208\(08\)71455-5](https://doi.org/10.1016/s0304-0208(08)71455-5).

[81] Nguyen, T. T., Lau-Truong, S., Mammeri, F., & Ammar, S. (2020). *Star-shaped fe₃-xo₄-Au core-shell nanoparticles: From synthesis to SERS application*. *Nanomaterials*, 10(2), 294. [doi:10.3390/nano10020294](https://doi.org/10.3390/nano10020294).

[82] Nguyen, T. T., Mammeri, F., Ammar, S., Nguyen, T. B., Nguyen, T. N., Nghiem, T. H., ... Ho, T. A. (2021). *Preparation of fe₃o₄-ag Nanocomposites with silver petals for SERS application*. *Nanomaterials*, 11(5), 1288. [doi:10.3390/nano11051288](https://doi.org/10.3390/nano11051288).

[83] Levin, C. S., Hofmann, C., Ali, T. A., Kelly, A. T., Morosan, E., Nordlander, P., Halas, N. J. (2009). *Magnetic-Plasmonic Core-Shell nanoparticles*. *ACS Nano*, 3(6), 1379-1388. [doi:10.1021/nn900118a](https://doi.org/10.1021/nn900118a).

[84] Jadhav, Jeevan, and Somnath Biswas. "Hybrid ZnO:Ag core-shell nanoparticles for wastewater treatment : Growth mechanism and plasmonically enhanced photocatalytic activity." *Applied Surface Science* 456 (2018): 49-58. [doi:10.1016/j.apsusc.2018.06.028](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.06.028).

[85] Razeghi, Manijeh. "Semiconductor p-n and Metal-Semiconductor Junctions." *Technology of Quantum Devices*, 2009, 133-171. [doi:10.1007/978-1-4419-1056-1_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1056-1_4).

[86] BRILLSON, L. "The structure and properties of metal-semiconductor interfaces." *Surface Science Reports* 2, no. 2 (1982): 123-326. [doi:10.1016/0167-5729\(82\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0167-5729(82)90001-2).

[87] Pintilie, L., and M. Alexe. "Metal-ferroelectric-metal heterostructures with Schottky contacts. I. Influence of the ferroelectric properties." *Journal of Applied Physics* 98, no. 12 (2005): 124103. [doi:10.1063/1.2148622](https://doi.org/10.1063/1.2148622).

- [88] Pintilie, L., I. Boerasu, M. J. Gomes, T. Zhao, R. Ramesh, and M. Alexe. "Metal-ferroelectric-metal structures with Schottky contacts. II. Analysis of the experimental current-voltage and capacitance-voltage characteristics of Pb(Zr,Ti)O₃ thin films." *Journal of Applied Physics* 98, no. 12 (2005): 124104. [doi:10.1063/1.2148623](https://doi.org/10.1063/1.2148623).
- [89] Bai, Yu, Zhan J. Wang, Bin He, Jian Z. Cui, and Zhi D. Zhang. "Enhancement of Polarization in Ferroelectric Films via the Incorporation of Gold Nanoparticles." *ACS Omega* 2, no. 12 (2017): 9067-9073. [doi:10.1021/acsomega.7b01626](https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01626).
- [90] Podolak, K., E. Buckser, Z. Qudsi, I. Salvamoser, and K. Tiwari. "Plasmon resonance studies of iron coated gold films with and without an applied magnetic field." *AIP Advances* 7, no. 10 (2017), 105319. [doi:10.1063/1.4990001](https://doi.org/10.1063/1.4990001).
- [91] Cho, S., Shahin, A. M., Long, G. J., Davies, J. E., Liu, K., Grandjean, F., & Kauzlarich, S. M. (2006). Magnetic and mossbauer spectral study of core/Shell structured FE/AU nanoparticles. *Chemistry of Materials*, 18(4), 960-967. [doi:10.1021/cm0522073](https://doi.org/10.1021/cm0522073).
- [92] Pana, O., Teodorescu, C., Chauvet, O., Payen, C., Macovei, D., Turcu, R. Barbu, L. (2007). Structure, morphology and magnetic properties of Fe–AU core-shell nanoparticles. *Surface Science*, 601(18), 4352-4357. [doi:10.1016/j.susc.2007.06.024](https://doi.org/10.1016/j.susc.2007.06.024).
- [93] Wang, L., Park, H., Lim, S. I., Schadt, M. J., Mott, D., Luo, J Zhong, C. (2008). ChemInform abstract: Core@Shell nanomaterials: gold-coated magnetic oxide nanoparticles. *ChemInform*, 39(41). [doi:10.1002/chin.200841220](https://doi.org/10.1002/chin.200841220).
- [94] Chudasama, B., Vala, A. K., Andhariya, N., Upadhyay, R. V., & Mehta, R. V. (2009). Enhanced antibacterial activity of bifunctional fe₃o₄-ag core-shell nanostructures. *Nano Research*, 2(12), 955-965. [doi:10.1007/s12274-009-9098-4](https://doi.org/10.1007/s12274-009-9098-4).
- [95] Carroll, K. J., Hudgins, D. M., Spurgeon, S., Kemner, K. M., Mishra, B., Boyanov, M. I., ... Carpenter, E. E. (2010). One-pot aqueous synthesis of FE and Ag core/Shell nanoparticles. *Chemistry of Materials*, 22(23), 6291-6296. [doi:10.1021/cm101996u](https://doi.org/10.1021/cm101996u).
- [96] Zhou, L., Yuan, J., & Wei, Y. (2011). undefined. *J. Mater. Chem*, 21(9), 2823-2840. [doi:10.1039/c0jm02172e](https://doi.org/10.1039/c0jm02172e).
- [97] Armelles, G., Cebollada, A., García-Martín, A., Montero-Moreno, J. M., Waleczek, M., & Nielsch, K. (2012). Magneto-optical properties of core–shell

magneto-plasmonic $Au-coxFe_3 - xO_4$ Nanowires. *Langmuir*, 28(24), 9127-9130. [doi:10.1021/la300431a](https://doi.org/10.1021/la300431a).

[98] Bazant, M. Z., Storey, B. D., & Kornyshev, A. A. (2012). Erratum: Double layer in Ionic liquids: Overscreening versus crowding [*Phys. Rev. Lett.* 106, 046102 (2011)]. *Physical Review Letters*, 109(14). [doi:10.1103/physrevlett.109.149903](https://doi.org/10.1103/physrevlett.109.149903).

[99] Bochicchio, D., & Ferrando, R. (2013). Morphological instability of core-shell metallic nanoparticles. *Physical Review B*, 87(16). [doi:10.1103/physrevb.87.165435](https://doi.org/10.1103/physrevb.87.165435).

[100] Zhou, H., Zou, F., Koh, K., & Lee, J. (2014). Multifunctional Magnetoplasmonic nanomaterials and their biomedical applications. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 10(10), 2921-2949. [doi:10.1166/jbn.2014.1938](https://doi.org/10.1166/jbn.2014.1938).

[101] Alonso-Cristobal, P., Laurenti, M., Lopez-Cabarcos, E., & Rubio-Retama, J. (2015). Efficient synthesis of core@shell $Fe_3O_4@Au$ nanoparticles. *Materials Research Express*, 2(7), 075002. [doi:10.1088/2053-1591/2/7/075002](https://doi.org/10.1088/2053-1591/2/7/075002).

[102] Chen, K., Yeh, Y., Liao, S., Wu, C., & Wang, L. (2016). Study of γ - Au core/shell nanoparticles as the contrast agent for high-tSQUID-based low field nuclear magnetic resonance. 2016 IEEE 16th International Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO). [doi:10.1109/nano.2016.7751445](https://doi.org/10.1109/nano.2016.7751445).

[103] León Félix, L., Coaquira, J. A., Martínez, M. A., Goya, G. F., Mantilla, J., Sousa, M. H., ... Morais, P. C. (2017). Structural and magnetic properties of core-shell Au/Fe_3O_4 nanoparticles. *Scientific Reports*, 7(1). [doi:10.1038/srep41732](https://doi.org/10.1038/srep41732).

[104] Nguyen, T., Mammeri, F., & Ammar, S. (2018). Iron oxide and gold based magneto-plasmonic Nanostructures for medical applications: A review. *Nanomaterials*, 8(3), 149. [doi:10.3390/nano8030149](https://doi.org/10.3390/nano8030149).

[105] Li, Y., Dhawan, U., Wang, H., Liu, X., Ku, H., Tsai, M., ... Chung, R. (2019). Theranostic Iron@Gold core-shell nanoparticles for simultaneous hyperthermia-chemotherapy upon photo-stimulation. *Particle & Particle Systems Characterization*, 36(6), 1800419. [doi:10.1002/ppsc.201800419](https://doi.org/10.1002/ppsc.201800419)

[106] Bhatia, P., Verma, S., & Sinha, M. (2019). Tuning the optical properties of Fe-Au core-shell nanoparticles with spherical and spheroidal nanostructures. *Physics Letters A*, 383(21), 2542-2550. [doi:10.1016/j.physleta.2019.05.009](https://doi.org/10.1016/j.physleta.2019.05.009).

[107] Tymoczko, A., Kamp, M., Rehbock, C., Kienle, L., Cattaruzza, E., Barcikowski, S., & Amendola, V. (2019). One-step synthesis of Fe-Au core-

shell magnetic-plasmonic nanoparticles driven by interface energy minimization. *Nanoscale Horizons*, 4(6), 1326-1332. [doi:10.1039/c9nh00332k](https://doi.org/10.1039/c9nh00332k).

[108] Hadilou, N., Souri, S., Navid, H. A., Sadighi Bonabi, R., Anvari, A., & Palpant, B. (2020). An optimal architecture of magneto-plasmonic core-shell nanoparticles for potential photothermal applications. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 22(25), 14318-14328. [doi:10.1039/d0cp01509a](https://doi.org/10.1039/d0cp01509a).

[109] Katagiri, M., Cuya Huaman, J. L., Matsumoto, T., Suzuki, K., Miyamura, H., & Balachandran, J. (2019). Magneto-plasmonic Co@Pt@Au Nanocrystals for Biosensing and therapeutics. *ACS Applied Nano Materials*, 3(1), 418-427. [doi:10.1021/acsanm.9b02040](https://doi.org/10.1021/acsanm.9b02040).

[110] Wei, D., Lin, T., Liang, Y., & Chang, H. (2021). Formation and application of core-shell of FePt-AU magnetic-plasmonic nanoparticles. *Frontiers in Chemistry*, 9. [doi:10.3389/fchem.2021.653718](https://doi.org/10.3389/fchem.2021.653718).

[111] Sanad, M. F., Meneses-Brassea, B. P., Blazer, D. S., Pourmiri, S., Hadjipanayis, G. C., & El-Gendy, A. A. (2021). Superparamagnetic FE/AU nanoparticles and their feasibility for magnetic hyperthermia. *Applied Sciences*, 11(14), 6637. [doi:10.3390/app11146637](https://doi.org/10.3390/app11146637).

[112] Hsieh, K. C., H. L. Chen, D. H. Wan, and J. Shieh. "Active Modulation of Surface Plasmon Resonance Wavelengths by Applying an Electric Field to Gold Nanoparticle-Embedded Ferroelectric Films." *The Journal of Physical Chemistry C* 112, no. 31 (2008), 11673-11678. [doi:10.1021/jp711828k](https://doi.org/10.1021/jp711828k).

[113] Sai, C. D., Ngac, A. B. "Effect of core-shell structure on optical properties of Au-Cu₂O nanoparticles." *Physica B* 532 (2018), 216-220. doi.org/10.1016/j.physb.2018.07.183.

ionyan, Leon A. Avakyan, Aram L. Heinz, Maximilian, Vasiliy V. Srab [114] Bugaev, Anna V. Skidanenko, Sviatoslav Y. Kaptelinin, Jürgen Ihlemann, et al "Formation of bimetallic gold-silver nanoparticles in glass by UV laser irradiation." *Journal of Alloys and Compounds* 767 (2018), 1253-1263. [doi:10.1016/j.jallcom.2018.07.183](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.07.183).

[115] Majhi, Sanjit M., Gautam K. Naik, Hu-Jun Lee, Ho-Geun Song, Cheul-Ro Lee, In-Hwan Lee, and Yeon-Tae Yu. "Au@NiO core-shell nanoparticles as a p-type gas sensor: Novel synthesis, characterization, and their gas sensing properties with sensing mechanism." *Sensors and Actuators B: Chemical* 268 (2018), 223-231. [doi:10.1016/j.snb.2018.04.119](https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.04.119).

[116] Gatea, et al. "Thermoplasmonic of Single Au@SiO₂ and SiO₂@Au Core Shell Nanoparticles in Deionized Water and Poly-vinylpyrrolidone Matrix." *Baghdad Science Journal* 16, no. 2 (2019), 0376. [doi:10.21123/bsj.16.2.0376](https://doi.org/10.21123/bsj.16.2.0376).

[117] M. A. Gatea, H. A. Jawad, M. Mosleh, S. M. Hamidi. "Thermoplasmonic response of Au@SiO₂ core-shell nanoparticles in deionized water and polyvinylpyrrolidone matrix." *SYLWAN*

[118] Kodeary, A., Hamidi, S., & Moradlou, R. (2020). Voltage controlled properties of piezo-magneto-plasmonic core/shell nanoparticles. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 21, 100415. [doi:10.1016/j.nanos.2019.100415](https://doi.org/10.1016/j.nanos.2019.100415).

[119] Kodeary, A. K., & Hamidi, S. M. (2019). Tunable Piezophotonic effect on core-shell nanoparticles prepared by laser ablation in liquids under external voltage. *Journal of Nanotechnology*, 2019, 1-11. [doi:10.1155/2019/6046079](https://doi.org/10.1155/2019/6046079).

[120] Kodeary, A. K., Gatea, M. A., Haddawi, S. F., & Hamidi, S. M. (2020). Tunable thermo-piezo-plasmonic effect on core/shell nanoparticles under laser irradiation and external electric field. *Optical and Quantum Electronics*, 52(11), 1-11. [doi:10.1007/s11082-020-01101-1](https://doi.org/10.1007/s11082-020-01101-1)

Abstract

The present experimental study aims to synthesize and evaluate the plasmonic/magnetic properties of metallic nanoparticles to introduce a hybrid of core/shell nanoparticle that can be used in biomedical and optical applications. For these core/shell nanoparticles, gold (Au) was used as the plasmonic material and iron (Fe) as the partner in the magnetic parts. The core/shell nanoparticles were prepared by pulsed laser ablation in liquid media using a laser pulse (Nd:YAG) in deionized water, as well as a polyvinylpyrrolidone (PVP) aqueous solution and for comparison an aqueous solution of poly(vinyl alcohol) (PVA) dissolved in distilled deionized water at a percentage of (1%), the plasmonic optical properties of the proposed nanoparticles were studied by optical spectroscopy to verify the photonic effect. Furthermore, the magnetic properties of the experimentally prepared core/shell nanoparticles were studied using the Vibrating Sample Magnetometer method within a variable magnetic field of up to 1 T. The results revealed tunable and adjustable optical linear behavior and obvious plasmonic properties by tracking the refractive index under different physical media. The results also showed that Super paramagnetic properties of core/shell nanoparticles were achieved by changing the surrounding medium. Accordingly, the results could open up new insight into the magneto-plasmonic region for beneficial biomedical applications.

**Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University of Babylon
College of Education for pure sciences
Department of physics**



Magnato_Plasmonic properties of Hybrid Nanostructures prepared by Laser Ablation in liquid

A research

Submitted to the Council of the College of Education for pure sciences of
University of Babylon in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Higher
Diploma Education /physics of Materials and its Applications

By

Mays Hussein Hafaz Hamed

Supervisor

Prof.Dr. Talib Mohsen Abbas

2021 A.D.

.A.H 1443