

## لایه‌نشانی نانوسیم‌های مغناطیسی با روش لانگمور-بلاجت و در حضور میدان مغناطیسی خارجی

عبدالله حسن زاده<sup>۱\*</sup>، سیامند صالح خسرو<sup>۱،۲</sup>، کاشان برهان محمد<sup>۱</sup>، سمیه قادری<sup>۱</sup>، رحمان حلاج<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، صندوق پستی ۱۵۱۷۵-۶۶۱۷۷، ایران.

<sup>۲</sup> مرکز تحقیقات چرمو، دانشگاه چرمو، چرم‌چمال، عراق.

<sup>۳</sup> گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، صندوق پستی ۱۵۱۷۵-۶۶۱۷۷، ایران.

### چکیده

اطلاعات مقاله

چینش و هم‌آرایی کنترل‌شده نانوسیم‌ها در توسعه و گسترش کاربرد آنها در اپتوالکترونیک، نانوالکترونیک، حسگرها و ادوات اسپینترونیک نقش بسیار مهمی دارد. چینش نانوساختارهای یک‌بعدی با استفاده از روش‌های مختلفی مانند دستکاری نوری، میکروسایالات، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی انجام شده است. ما در این مقاله، از روش لانگمور-بلاجت برای لایه‌نشانی نانوسیم‌های مغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی بر روی سطوح جامد استفاده کرده‌ایم. پس از تمیز کردن نانوسیم‌های مغناطیسی سنتز شده با روش رسوب‌الکتریکی با ولتاژ مستقیم و قالب اکسید آلومینیم با قطر حفره ۲۰۰ نانومتر، با استفاده از یک میکروسرنگ پلاستیکی آنها را روی سطح آب دو بار یونیزه شده در تشتک لانگمور (تفلونی) ریختیم. پس از متراکم سازی با دو میله متحرک، در یک فشار سطحی مشخص و در حضور میدان مغناطیسی خارجی، فیلم‌های لانگمور به زیرلایه‌های جامد منتقل شدند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تک لایه‌ها نشان می‌دهند که نانوسیم‌ها تقریباً هم جهت با میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند. برای مقایسه فیلم نانوسیم‌ها با روش قطره چکانی در حضور و غیاب میدان مغناطیسی خارجی و همچنین روش لانگمور-بلاجت در غیاب میدان مغناطیسی تهیه گردید. این مقایسه نشان داد که فقط با روش لانگمور-بلاجت می‌توان فیلم تک لایه از نانوسیم‌ها تهیه نمود. ارزانی، سرعت عمل بالا، لایه‌نشانی در مساحت‌های بزرگ و همچنین تنوع در مورفولوژی تک لایه‌ها از اهمیت‌ها و مزایای روش لانگمور-بلاجت هستند.

**واژگان کلیدی:** نانوسیم مغناطیسی، لایه‌نشانی، لانگمور-بلاجت، فیلم، میدان مغناطیسی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲

تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

شاپای چاپی: 2588-493x

شاپای الکترونیکی: 2588-4921

\* نویسنده مسئول

[a.hassanzadeh@uok.ac.ir](mailto:a.hassanzadeh@uok.ac.ir)



### مقدمه

معماری مولکولی<sup>۱</sup>، نگاره‌های سطحی<sup>۲</sup> و پدیده‌های مرتبط با زیست‌شناسی به خوبی درک شده است. معماری نگاره‌های سطحی یکی از مسئولیت‌های مهم نانومعماری است [۱]. روش لایه‌نشانی لانگمور-بلاجت (LB)<sup>۳</sup> که برای انتقال یک لایه از

اهمیت سطوح و مرز مشترک دو ماده در حوزه‌های مختلف تحقیقاتی مانند علوم پایه، مهندسی و زیست‌شناسی مخصوصاً در چیدمان و

<sup>۳</sup> Longmuir-Blodgett

<sup>۱</sup>Molecular Architecture

<sup>۲</sup>Surface patterns

بودند که در سال ۱۹۷۸ از روش LB برای چینش و لایه نشانی چندین لایه از یون‌های پارامغناطیس مانند منگنز (II) و آهن (III) استفاده کردند. پس از این کار، فیلم LB بسیاری از مواد مغناطیسی ساخته شده و خواص فیزیکی آن‌ها بررسی شده است. نانوسیم‌ها، نانومیل‌ها و نانوالیاف‌ها به عنوان نانوساختارهای یک بعدی توجه محققین زیادی را به خود جلب کرده و در دو دهه گذشته در کانون توجه قرار گرفته‌اند. این نانوساختارها کاربردهای جالبی در انرژی‌های تجدیدپذیر، اپتوالکترونیک، الکترونیک انعطاف پذیر<sup>۱۱</sup>، حسگرهای زیستی و گازی پیدا کرده‌اند [۱۸-۲۲]. ادغام این نانوساختارهای یک بعدی با ادوات نانو، مکمل روش‌های ساخت موجود است. برای ادغام ما باید توانایی چینش و دستکاری فضایی آن‌ها را داشته باشیم. روش لانگمور-بلاجت این امکان را با دقت بالا در اختیار ما قرار می‌دهد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش لانگمور-بلاجت [۲۳]، بر سایر روش‌های لایه‌نشانی نانومواد یک بعدی مانند دستکاری نوری<sup>۱۲</sup> [۲۴]، استفاده از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی<sup>۱۳</sup> [۲۵، ۲۶]، میکروشاره‌ها [۲۷]، فیلم‌های حباب دمیده<sup>۱۴</sup> [۲۸]، جریان آرام شاره بر روی بستر<sup>۱۵</sup> [۲۹]، قطره چکانی مایل<sup>۱۵</sup> [۳۰]، برتری دارد. با توجه به اهمیت نانو ذرات و نانوسیم‌های مغناطیسی و کاربردهای زیاد آنها در نانوپزشکی و فناوری‌های نوظهور مختلف [۳۱]، [۳۲]، ما در دو کار قبلی نانو ذرات مغناطیسی ( $Fe_3O_4$ ) [5]، و نانوسیم‌های مغناطیسی ( $Fe_3O_4$ ) [۳۳]، را با روش لانگمور-بلاجت لایه‌نشانی کردیم. لایه‌نشانی نانوسیم‌های مغناطیسی نسبت به نانوذرات کار بسیار پیچیده‌تری است.

مولکول‌ها و نانو مواد شناور در سطح مشترک یک مایع<sup>۴</sup> و هوا روی یک بستر جامد به کار گرفته می‌شود، می‌تواند کمک بسیار شایانی در نیل به این اهداف بنماید. این تکنیک لایه‌نشانی در سال ۱۹۲۰ توسط لانگمور معرفی شد و بلاجت از آن برای لایه نشانی اسیدهای چرب بر روی بسترهای شیشه ای استفاده کرد [۲، ۳]. در این روش ابتدا مولکول‌ها و نانومواد آمفی‌فیلک<sup>۵</sup> روی سطح آب پخش می‌شوند و پس از فشردن‌سازی با استفاده از دو میله<sup>۶</sup>، در یک فشار سطحی<sup>۷</sup> معین، به یک زیر لایه منتقل می‌شوند [۴]. این تکنیک با یک سامانه دینامیکی دو بعدی از مولکول‌ها یا نانومواد در سطح مشترک دو محیط با ثابت‌های دی‌الکتریک متفاوت سروکار دارد و لایه‌نشانی در دمای محیط را ممکن می‌کند. مزایای ذکر شده در ادامه، روش LB را به روشی بسیار جالب، امیدوارکننده و مفید برای کاربردهای جدید در مهندسی مولکولی و برای ساخت فیلم‌ها و دستگاه‌های جدید تبدیل کرده است: آزادی در انتخاب ساختار لایه‌ها و تنوع مواد مولکولی، لایه نشانی فیلم‌های نازک دوبعدی همگن با ساختار لایه‌ای مشخص بر روی بسترهای بزرگ، کنترل دقیق بر تعداد و ترتیب لایه‌ها، بکارگیری همزمان با سایر روش‌ها، قابلیت لایه‌نشانی مواد مغناطیسی [5]، آلی و معدنی [6]، پلیمرها [7]، نانوذرات [8]، نقاط کوانتومی [9، ۱۰]، نانوسیم‌ها [۱۱]، نانولوله‌ها [12]، گرافن [۱۳]، پروتئین‌ها [۱۴] و پپتیدها<sup>۸</sup> [۱۵]، آزمایش‌های زیادی با استفاده از روش LB بر روی لایه‌نشانی مواد مغناطیسی در دو بعد انجام شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که لایه نشانی مولکول‌های مغناطیسی منجر به ظهور خواص جالبی مانند گذار اسپینی<sup>۹</sup> و جفت‌شدگی مغناطیسی می‌شود که در توده همین مواد دیده نمی‌شود [۱۷]. پومرانز<sup>۱۰</sup> و همکارانش اولین گروهی

۱۱ Flexible electronics  
 ۱۲ Optical Manipulation  
 ۱۳ Blow-Bubble  
 ۱۴ Laminar flow  
 ۱۵ Tilted-drop casting

۴ Subphase  
 ۵ Amphiphilic  
 ۶ Barriers  
 ۷ Surface pressure  
 ۸ Peptide  
 ۹ Spin-crossover  
 ۱۰ Pomranz

قطب مثبت منبع به الکترو پلاتینی متصل شد. برای رسانش بیشتر و جلوگیری از صدمات احتمالی لایه طلا با چسب نقره پوشانده شد. محلول الکترولیت، از شرکت مرک<sup>۱۷</sup> خریداری و بدون خالص سازی بیشتر مورد استفاده قرار گرفت. این محلول شامل ۲۵ میلی لیتر آب دیونیزه شده به عنوان حلال، ۰/۹۱۲ گرم سولفات آهن هفت آبه ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) به جرم مولی ۲۷۸/۰۱ گرم بر مول به عنوان ماده اولیه و مقدار ۰/۵ گرم اسید بوریک ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) به عنوان بافر تثبیت گر PH محلول و ۰/۰۵ گرم اسید اسکوربیک ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$ ) به عنوان محافظت کننده  $\text{Fe}^{+2}$  به  $\text{Fe}^{+3}$  است [۳۴]. محلول الکترولیت حاصل از ترکیب مواد فوق در دمای اتاق به محفظه سلول الکتروشیمیایی منتقل شد و جهت انجام فرآیند الکتروانباشت، تحت جریان ناشی از اعمال ولتاژ ثابت ۲/۴ ولت به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت. در تمام مدت واکنش، سلول الکتروشیمیایی بر روی یک استیرر مغناطیسی قرار داشت. لازم به ذکر است که یک مگنت کوچک درون الکترولیت قرار دادیم تا با چرخش باعث از بین بردن حباب های ایجاد شده و همچنین همگنی محلول گردد. در پایان با قطع جریان و اتمام فرآیند الکتروانباشت، برای حذف چسب نقره از استون و برای حذف طلا از جیوه استفاده شد. سپس برای جدا کردن نانوسیمها از قالب، قالب را به مدت ۲ ساعت درون محلول ۱ مولار NaOH غوطه ور کردیم. شکل ۱ طرحواره ساخت نانوسیمها را نشان می دهد. نانوسیمهای آزاد شده چندین مرتبه با آب مقطر توسط سانتریفیوژ به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۳۰۰۰ شسته شدند. شکل (۲) سمت راست نانوسیمهای مغناطیسی آزاد شده بعد از شستشو را در یک بشر نشان می دهد. تصاویر میکروسکوپ روبشی الکترونی از نانوسیم های

دلیل این امر اندرکنش های مغناطیسی قوی بین نانوسیمها و ناهمسان گردی شکلی آنهاست. این عوامل در کنار عامل دار کردن سطح نانوسیمها با اسیدهای چرب در فرایند لایه نشانی باعث چسبندگی آنها می شود. در نتیجه این چسبندگی، نانوسیمهای منفرد در دسترس نیستند تا یک تک لایه از آنها را لایه نشانی کرد. ما در لایه نشانی نانوسیمها در غیاب میدان مغناطیسی از عامل دار<sup>۱۶</sup> کردن آنها خودداری کردیم و متوجه شدیم که حتی بدون عامل دار کردن و فقط به کمک نیروی کشش سطحی می توان نانوسیمها را روی سطح آب نگه داشت [۳۳]. در گام بعدی و در این مقاله ما قصد داریم که با استفاده از روش لانگمور- بلاجت و با حضور میدان مغناطیسی نانوسیمهای مغناطیسی را بر روی بسترهای شیشه ای لایه نشانی کنیم. ما در فرآیند لایه نشانی نانوذرات با دو آهنربای بزرگ، میدان مغناطیسی بر روی تشتک لانگمور ایجاد کردیم.

## ۱- روش تحقیق

### ۱-۱ ساخت نانوسیمها

از یک سلول الکتروشیمیایی دست ساز، برای ساخت نانوسیمهای مغناطیسی آهن ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) با روش الکتروانباشت با ولتاژ مستقیم استفاده کردیم. قطب کاتد سلول، شامل قالب اکسید آلومینیم (AAO) به قطر ۵ cm و با منافذی به قطر ۲۰۰ نانو متر است که در کف سلول الکتروشیمیایی قرار دارد و الکترو پلاتینی به عنوان قطب آند آن در محفظه شیشه ای در بالای آن قرار می گیرد. جهت رسانندگی بهتر، قالب (AAO) با یک لایه طلا با ضخامت ۵۰۰ نانومتر توسط دستگاه لایه نشانی (مدل Q uorum) پوشش داده شد و به قطب منفی منبع DC (مدل As 32s) متصل گردید و همچنین

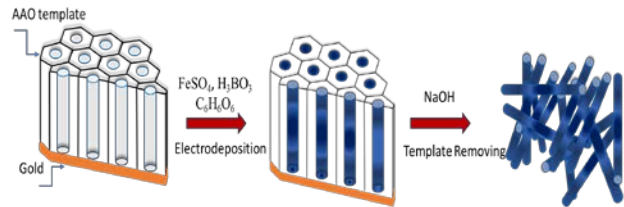
<sup>۱۶</sup> Functionalization

<sup>۱۷</sup> Merck

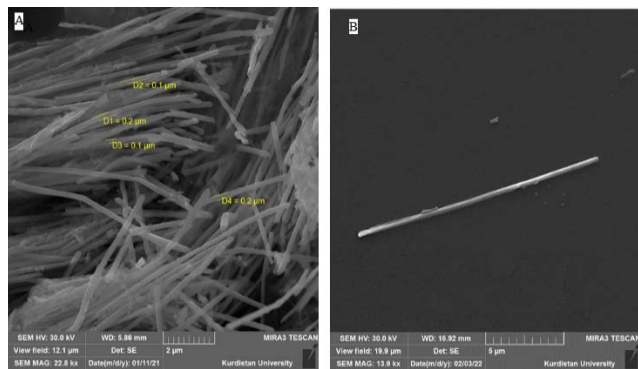
دستگاه لایه‌نشانی لانگمور-بلاجت شامل یک تشتک<sup>۱۸</sup> است که یک مایع (زیرفاز<sup>۱۹</sup>، معمولاً آب) را در خود جای می‌دهد و مواد مورد نظر برای لایه‌نشانی روی آن پخش می‌شوند. دو میله<sup>۲۰</sup> در دو انتهای تشتک قرار دارد که با سطح آب در تماس‌اند و برای جمع کردن لایه‌ی سطحی از آن استفاده می‌شود. یک حسگر فشار سطح و یک آشکارساز مکانی متصل به میله‌ها برای اندازه‌گیری مساحت فیلم در آن تعبیه شده است [۳۵]. در این روش، ابتدا یک لایه از نانومواد (نانوسیم‌ها) روی سطح آب پخش می‌شوند. بعد از تبخیر حلال، نانوسیم‌ها به کمک دو میله جمع‌کننده به هم نزدیک و در یک فشار سطح معین با بیرون کشیدن زیر لایه به روی آن لایه‌نشانی صورت می‌گیرد. به این طریق یک لایه نازک به ضخامت یک نانوسیم تشکیل می‌شود. فیلم مواد روی سطح مایع را فیلم لانگمور و پس از انتقال به بستر جامد آنرا فیلم لانگمور-بلاجت می‌گویند [۳۶]. در مراحل انجام آزمایش، فشار سطح در طول لایه‌نشانی ثابت نگهداشته می‌شود تا چگالی و ضخامت تک لایه‌ها هنگام انتقال فیلم لانگمور حفظ شوند. بعد از لایه‌نشانی لایه اول با فروبردن زیر لایه در آب می‌توان لایه دوم را لایه‌نشانی کرد. با ادامه این روند و جابجا کردن نانومواد می‌توان ساختارهای چند لایه سازمان‌یافته با ترکیب لایه‌های مختلف را ایجاد کرد [۳۷].

تاکنون روش لایه‌نشانی LB برای لایه‌نشانی نانوسیم‌های مغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی به کار گرفته نشده است. لایه‌نشانی با استفاده از میدان مغناطیسی روش جالبی است که می‌توان از آن برای هم جهت نمودن تعداد بسیار زیادی از نانوسیم‌ها در یک آزمایش استفاده کرد. ما در اینجا از روش لانگمور-بلاجت برای لایه‌نشانی نانوسیم‌های

مغناطیسی در شکل (۲) سمت چپ نشان داده شده است. قطر نانوسیم‌های ساخته شده ۱۵۰ الی ۲۲۰ نانومتر و طول آنها در حدود ۴ الی ۱۰ میکرومتر بود. در تصویر FESEM سمت چپ قطر چند عدد از نانوسیم‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱: طرحواره ساخت نانوسیم‌ها



شکل ۲: تصاویر میکروسکوپ روبشی الکترونی (FESEM) نانوسیم‌های مغناطیسی آهن ساخته شده با روش الکتروانباشت (B و A). نانوسیم‌های مغناطیسی آزاد شده در غیاب میدان مغناطیسی (C).

## ۱-۲ لایه‌نشانی نانوسیم‌ها

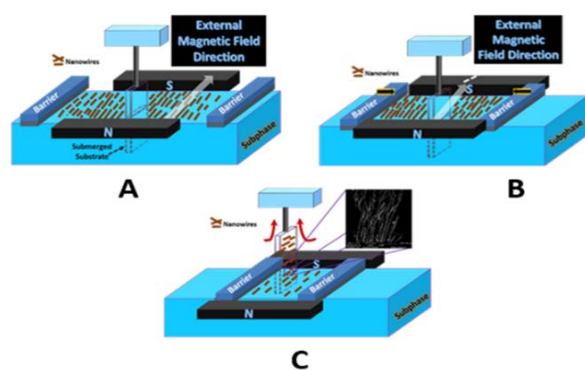
<sup>20</sup> Barriers

<sup>18</sup> Trough  
<sup>19</sup> Subphase

هم جهت نمودن نانوسیم‌های مغناطیسی در ساختارهای زنجیره ای با اعمال میدان مغناطیسی خارجی مفید است. از طرف دیگر تشکیل خوشه‌هایی از نانوسیم‌ها به دلیل برهمکنش‌های مغناطیسی دور از انتظار نیست. ما سعی کردیم تشکیل این خوشه‌ها را با کم کردن تعداد نانوسیم‌ها در حجم را به حداقل برسانیم. با این حال متوجه شدیم که چند درصد نانوسیم‌های سنتز شده از یک انتها به یکدیگر متصل شده‌اند تا خوشه‌ای از نانوسیم‌ها را تشکیل دهند.

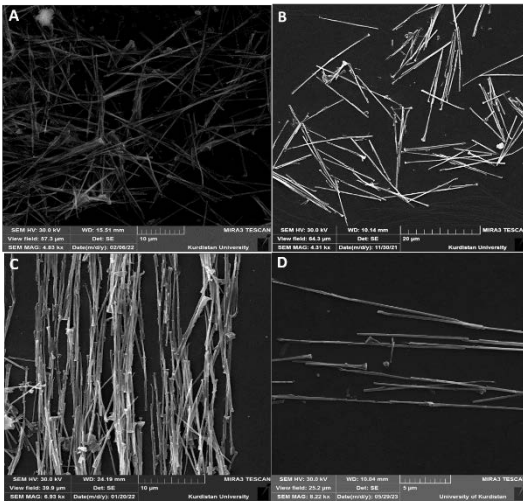
قبل از لایه‌نشانی، شستشو و تمیز نمودن دقیق دستگاه لانگمور- بلاجت و تمام وسایل مرتبط با آزمایش ضروری است. مراحل شستشو و نحوه کار به شرح زیر است. (۱) شست‌وشوی تشتک و میله‌های متحرک با آب مقطر و اتانول، (۲) شست‌وشوی زیر لایه شیشه‌ای با آب مقطر و سونیکیت کردن آن در اتانول به مدت ۱۵ دقیقه در دمای آزمایشگاه و آبکشی آن با آب مقطر، ۲۰ مرتبه، (۳) شست‌وشوی صفحه فشارسنج با آب مقطر و سونیکیت کردن آن در اتانول به مدت ۱۵ دقیقه در دمای آزمایشگاه و آبکشی آن با آب مقطر، ۲۰ مرتبه. بعد از اتمام این مراحل دستگاه LB آماده لایه‌نشانی می‌باشد. بعد از جایگذاری میله‌های متحرک، تشتک را با آب مقطر پر و با حرکت آرام میله‌ها (۳۰ میلی‌متر بر دقیقه) بر روی سطح آب چربی‌ها و آلودگی‌های سطح را جمع و توسط یک پمپ مکشی از سطح آب حذف می‌کنیم. سپس زیر لایه به میله نگهدارنده وصل و در درون آب قرار می‌دهیم. فشارسنج سطح را وصل و فعال کرده و روی صفر (توسط نرم افزار)، تنظیم می‌کنیم. نانو سیم‌های آهن عامل‌دار شده یا عامل‌دار نشده در محلول کلروفورم، توسط یک میکروسرنج پلاستیکی به صورت یکنواخت و قطره قطره روی سطح آب می‌ریزیم. بعد از گذشت ۲۵ دقیقه و تبخیر کلرفورم، موانع با

$Fe_3O_4$  (عامل‌دار نشده)، استفاده می‌کنیم. پس از تمیز کردن نانوسیم‌های مغناطیسی  $Fe_3O_4$  و بدون هیچ گونه تغییر در سطح آن‌ها، روی سطح آب دو بار یونیزه شده در تشتک لانگمور ریخته شدند. سپس در یک فشار سطحی خاص، تک لایه‌ها به زیرلایه‌های جامد در حضور میدان مغناطیسی خارجی منتقل شدند. شکل ۳، یک طرحواره از تشتک و فرآیند لایه‌نشانی را نشان می‌دهد. در قسمت (A) نانوسیم‌های مغناطیسی روی سطح آب پخش شده‌اند. سپس به کمک دو میله نانوسیم‌های مغناطیسی به هم نزدیک می‌شوند (B)، و در یک فشار سطحی معین با بالا کشیدن زیرلایه شیشه‌ای انتقال نانوسیم‌های مغناطیسی به زیرلایه صورت می‌گیرد (C). شکل ۴، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تک لایه‌هایی از نانوسیم‌های را نشان می‌دهند.



شکل ۳: (A) نانوسیم‌های مغناطیسی روی سطح آب، (B) فشرده سازی تک لایه نانوسیم‌های مغناطیسی توسط میله‌های جمع کننده، (C) انتقال نانوسیم‌های مغناطیسی به یک زیر لایه شیشه‌ای در حضور میدان مغناطیسی خارجی.

برای اعمال میدان مغناطیسی ما از دو آهنربای بزرگ استفاده کردیم که موازی دو میله جمع کننده تشتک لانگمور و در کنار تشتک روی دستگاه نسب شده‌اند (شکل ۳). زیرلایه شیشه‌ای با ابعاد یک در یک سانتیمتر را درست در وسط دو آهنربا که میدان در آنجا برابر ۲۶ میلی‌تسلا و تقریباً یکنواخت و عمود بر آهنرباها است قرار دادیم. نانوسیم‌های مغناطیسی دارای نسبت طول به قطر بزرگی هستند که این باعث ناهمسانگردی مغناطیسی قابل توجهی می‌شود که برای



شکل ۴: تصاویر FESEM از نانوسیم‌های مغناطیسی آهن در حلال کلر فرم که با یک قطره چکان روی یک بستر شیشه‌ای در غیاب (A) و در حضور میدان مغناطیسی خارجی ریخته شده (C)، و تک لایه نانوسیم مغناطیسی که با روش لانگمور-بلاجت در غیاب میدان مغناطیسی (B) و در حضور میدان مغناطیسی خارجی (D) لایه نشانی شده است.

### ۳- نتیجه گیری و بحث

ما در این مقاله با استفاده از روش لانگمور-بلاجت نانوسیم‌های مغناطیسی آهن را با حضور میدان مغناطیسی خارجی روی بستری جامد شیشه‌ای لایه‌نشانی کردیم. نتایج تجربی، تصاویر میکروسکوپ روبشی الکترونی، ارایه شده در این مقاله نشان می‌دهند که تک لایه‌های این نانوسیم‌ها با موفقیت لایه‌نشانی شده‌اند. مقایسه همزمان تصاویر تهیه شده از لایه‌نشانی با حضور میدان و در غیاب میدان مغناطیسی خارجی نشان از موثر بودن میدان اعمالی بر جهت‌گیری نانوسیم‌ها دارد. همچنین مقایسه لایه نشانی روش لانگمور-بلاجت و قطره چکانی معمولی با حضور و در غیاب میدان معرف برتری روش LB است.

### منابع

سرعت ۵ میلی‌متر بر دقیقه به هم نزدیک و در یک فشار معین زیر لایه با سرعت ۰/۵ میلی‌متر بر دقیقه از داخل آب و از میان زیرلایه بیرون کشیده می‌شود. شکل ۳، طرح‌واره تک لایه های لانگمور بر روی سطح آب درون تشتک در سه مرحله ریختن، فشرده کردن و لایه نشانی را نشان می‌دهد.

در شکل ۴، ما برای نشان دادن توانمندی روش لانگمور-بلاجت و همچنین اثر میدان مغناطیسی بر فیلم‌های LB، چهار تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی را نشان داده‌ایم. برای مقایسه و نشان‌دادن برتری روش لانگمور-بلاجت، یک قطره از نانوسیم‌ها در حلال کلر فرم را در حضور و در غیاب میدان مغناطیسی خارجی با یک قطره چکان روی یک بستر شیشه‌ای ریخته و بعد از تبخیر حلال یک لایه بر روی بستر جامد تشکیل شد (شکل ۴A و ۴C)، و آنرا با فیلم تهیه شده با روش لانگمور-بلاجت (شکل ۴B و ۴D) برای مقایسه در کنارهم گذاشتیم. مقایسه ساده این دو شکل نشان می‌دهد که کیفیت فیلم تک لایه‌ای از نانوسیم‌ها در روش لایه‌نشانی لانگمور-بلاجت بسیار بهتر از روش ساده قطره پاشی است. مشاهده می‌شود که تک لایه از نانوسیم‌های مغناطیسی آهن فقط در روش لانگمور-بلاجت تشکیل می‌شود. فرق بین نتایج این دو روش در ساخت فیلم‌های با مساحت بزرگتر نیست بلکه فرق آن‌ها در ایجاد یک فیلم به ضخامت یک نانوسیم است. در روش قطره‌پاشی نانوسیم‌ها روی هم قرار می‌گیرند و امکان ساخت فیلم تک لایه نیست. هر دو نتیجه با حضور و در غیاب میدان مغناطیسی این واقعیت را نشان می‌دهند.



- [٩] K. Lambert, Y. Justo, J. S. Kamal, and Z. Hens, "Phase Transitions in Quantum-Dot Langmuir Films," *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 50, no. 50, pp. 12058-12061, 2011.
- [١٠] S. Savin and A. Y. Dubavik, "Factors influencing the formation of Langmuir films of CdSe/ZnS colloidal quantum dots," *Optics and Spectroscopy*, vol. 125, pp. 777-782, 2018.
- [١١] H. Y. Shi *et al.*, "Ordering of disordered nanowires: spontaneous formation of highly aligned, ultralong Ag nanowire films at oil-water-air interface," *Advanced Functional Materials*, vol. 20, no. 6, pp. 958-964, 2010.
- [١٢] S.-W. Choi, W.-S. Kang, J.-H. Lee, C. K. Najeeb, H.-S. Chun, and J.-H. Kim, "Patterning of Hierarchically Aligned Single-Walled Carbon Nanotube Langmuir-Blodgett Films by Microcontact Printing," *Langmuir*, vol. 26, no. 19, pp. 15680-15685, 2010.
- [١٣] B. Jia and L. Zou, "Langmuir-Blodgett assembly of sulphonated graphene nanosheets into single- and multi-layered thin films," *Chemical Physics Letters*, vol. 568, pp. 101-105, 2013.
- [١٤] E. Pechkova and C. Nicolini, "Langmuir-Blodgett nanotemplates for protein crystallography," *Nature Protocols*, vol. 12, no. 12, pp. 2570-2589, 2017.
- [١٥] K. Togashi, T. Iizuka, N. Kato, T. Sasaki, and Y. Mukai, "Fabrication of Langmuir-Blodgett films using amphiphilic peptides," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 12, no. 1, pp. 568-572, 2012.
- [١٦] H. Soyer, E. Dupart, C. J. Gómez-García, C. Mingotaud, and P. Delhaès, "First Magnetic Observation of a Spin Crossover in a Langmuir-Blodgett Film," *Advanced Materials*, vol. 11, no. 5, pp. 382-384, 1999, doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-)
- [١] K. Ariga, "Don't Forget Langmuir-Blodgett Films 2020: Interfacial Nanoarchitectonics with Molecules, Materials, and Living Objects," *Langmuir*, vol. 36, no. 26, pp. 7158-7180, 2020/07/07 2020, doi: 10.1021/acs.langmuir.0c01044.
- [٢] I. Langmuir, "The mechanism of the surface phenomena of flotation," *Transactions of the Faraday Society*, vol. 15, no. June, pp. 62-74, 1920.
- [٣] K. B. Blodgett, "MONOMOLECULAR FILMS OF FATTY ACIDS ON GLASS," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 56, no. 2, pp. 495-4, ١٩٣٤, ١٩٣٤doi: 10.1021/ja01317a513.
- [٤] H. Abdollah and M. Silvia, "Waveguide evanescent field fluorescence microscopy: high contrast imaging of a domain forming mixed lipid Langmuir-Blodgett monolayer mimicking lung surfactant," *Journal of Biomedical Optics*, vol. 16, no. 4, p. 046022, 4/1 2011, doi: 10.1117/1.3569095.
- [٥] S. S. Khasraw, S. Ghaderi, S. R. Saeed, R. Hallaj, and A. Hassanzadeh, "Observation of nanodomains and nanostripes in the Langmuir-Blodgett monolayers of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanoparticles," *Materials Science and Engineering: B*, vol. 273, p. 115402, 2021.
- [٦] A. Hassanzadeh, M. Nitsche, S. Mittler, S. Armstrong, J. Dixon, and U. Langbein, "Waveguide evanescent field fluorescence microscopy: Thin film fluorescence intensities and its application in cell biology," *Applied Physics Letters*, vol. 92, no. 23, 2008, doi: 10.1063/1.2937840.
- [٧] Y. Guo, F. Feng, and T. Miyashita, "Preparation of poly (n-alkylmethacrylamide) Langmuir-Blodgett films for the application to a novel dry-developed positive deep UV resist," *Macromolecules*, vol. 32, no. 4, pp. 1115-1118, 1999.
- [٨] M. Swierczewski and T. Burgi, "Langmuir and Langmuir-Blodgett films of gold and silver nanoparticles," *Langmuir*, vol. 39, no. 6, pp. 2135-2151, 2023.

- vol. 4, no. 3, pp. 487-490, 2004/03/01 2004, doi: 10.1021/nl035086j.
- [۲۶] P. A. Smith *et al.*, "Electric-field assisted assembly and alignment of metallic nanowires," *Applied Physics Letters*, vol. 77, no. 9, pp. 1399-1401, 2000, doi: 10.1063/1.1290272.
- [۲۷] J. U. Park *et al.*, "In situ deposition and patterning of single-walled carbon nanotubes by laminar flow and controlled flocculation in microfluidic channels," (in eng), *Angew Chem Int Ed Engl*, vol. 45, no. 4, pp. 581-5, Jan 16 2006, doi: 10.1002/anie.200501799.
- [۲۸] H. Zhang, M. Murtaza, W. Si, and H. Wu, "Blow-bubble to produce ceramic ultra-thin films," *Ceramics International*, vol. 44, no. 5, pp. 5799-5802, 2018/04/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.12.126>.
- [۲۹] S. Mao, "Recent advances in nanowire sensor assembly using laminar flow in open space," *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 159, p. 116918, 2023/02/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.116918>.
- [۳۰] H. Ko and V. V. Tsukruk, "Liquid-crystalline processing of highly oriented carbon nanotube arrays for thin-film transistors," *Nano letters*, vol. 6, no. 7, pp. ۲۰۰۶, ۱۴۴۸-۱۴۴۳
- [۳۱] E. Bellido, N. Domingo, I. Ojea-Jiménez, and D. Ruiz-Molina, "Structuration and integration of magnetic nanoparticles on surfaces and devices," *Small*, vol. 8, no. 10, pp. 1465-1491, 2012.
- [۳۲] Q. A. Pankhurst, J. Connolly, S. K. Jones, and J. Dobson, "Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 36, no. 13, p. R167, 2003/06/18 2003, doi: 10.1088/0022-3727/36/13/201.
- [۳۳] K. Burhan Mohamed, S. Ghaderi, R. Hallaj, and A. Hassanzadeh, "Langmuir-Blodgett films of magnetic nanowires," *Materials* [4095\(199903\)11:5<382::AID-ADMA382>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1016/j.mat.2004.03.011).
- [۱۷] J. Wu, N. Akhtar, R. Gengler, T. Palstra, and P. Rudolf, "Generating new magnetic properties in organic-inorganic hybrids," *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 5, no. 7, pp. 1782-1788, 2017.
- [۱۸] Z. Liu, J. Xu, D. Chen, and G. Shen, "Flexible electronics based on inorganic nanowires," *Chemical Society Reviews*, vol. 44, no. 1, pp. 161-192, 2015.
- [۱۹] L. F. Chen, Y. Feng, H. W. Liang, Z. Y. Wu, and S. H. Yu, "Macroscopic-scale three-dimensional carbon nanofiber architectures for electrochemical energy storage devices," *Advanced Energy Materials*, vol. 7, no. 23, p. 1700826, 2017.
- [۲۰] N. Nan *et al.*, "A stretchable, highly sensitive, and multimodal mechanical fabric sensor based on electrospun conductive nanofiber yarn for wearable electronics," *Advanced Materials Technologies*, vol. 4, no. 3, p. 1800338, 2019.
- [۲۱] A. Tao *et al.*, "Langmuir-Blodgett silver nanowire monolayers for molecular sensing using surface-enhanced Raman spectroscopy," *Nano letters*, vol. 3, no. 9, pp. 1229-1233, 2003.
- [۲۲] C. S. Lao *et al.*, "ZnO nanobelt/nanowire Schottky diodes formed by dielectrophoresis alignment across Au electrodes," *Nano Letters*, vol. 6, no. 2, pp. 263-266, 2006.
- [۲۳] D. Whang, S. Jin, Y. Wu, and C. M. Lieber, "Large-Scale Hierarchical Organization of Nanowire Arrays for Integrated Nanosystems," *Nano Letters*, vol. 3, no. 9, pp. 1255-1259, 2003/09/01 2003, doi: 10.1021/nl0345062.
- [۲۴] P. J. Pauzauskie, A. Radenovic, E. Trepagnier, H. Shroff, P. Yang, and J. Liphardt, "Optical trapping and integration of semiconductor nanowire assemblies in water," *Nature Materials*, vol. 5, no. 2, pp. 97-101, 2006/02/01 2006, doi: 10.1038/nmat1563.
- [۲۵] A. K. Bentley, J. S. Trethewey, A. B. Ellis, and W. C. Crone, "Magnetic Manipulation of Copper-Tin Nanowires Capped with Nickel Ends," *Nano Letters*,



- Sustainable Chemistry & Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 4154-4163, 2018.
- [۳۶] S. A. Hussain, "Langmuir-Blodgett Films a unique tool for molecular electronics," *arXiv preprint arXiv:0908.1814*, 2009.
- [۳۷] M. Air, "What and why: Langmuir-Blodgett films," 2010.
- Science and Engineering: B*, vol. 296, p. 116649, 2023/10/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2023.116649>.
- [۳۴] V. Haehnel *et al.*, "Towards smooth and pure iron nanowires grown by electrodeposition in self-organized alumina membranes," *Acta Materialia*, vol. 58, no. 7, pp. 2330-2337, 2010/04/01/ 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2009.12.019>.
- [۳۵] N. K. Stanković *et al.*, "Antibacterial and antibiofouling properties of light triggered fluorescent hydrophobic carbon quantum dots Langmuir-Blodgett thin films," *ACS*



## Deposition of magnetic nanowires using Langmuir–Blodgett technique in the presence of an external magnetic field

<sup>1</sup> Abdollah Hassanzadeh<sup>1,\*</sup>, Siyamand Saleh Khasraw<sup>2,1</sup>, Kashan Burhan Mohammed<sup>1</sup>, Somayeh Ghaderi<sup>1</sup>, Rahman Hallaj<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Department of Physics, Faculty of Science, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, I. R. Iran.

<sup>2</sup> Charmo Research Center, Charmo University, Chamchamal, Iraq.

<sup>3</sup> Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, I. R. Iran

### Article details

Received: 2024/12/15

Accepted: 2025/01/11

Published: 2025/01/19

ISSN: 2588-493x

eISSN: 2588-4821

Correspondence email:

[a.hassanzadeh@uok.ac.ir](mailto:a.hassanzadeh@uok.ac.ir)



### Abstract

The controlled arrangement of nanowires plays a very important role in the development of their application in optoelectronics, nanoelectronics, sensors and spintronic devices. The arrangement of one-dimensional nanostructures has been done using different techniques such as optical manipulation, microfluidics, electric and magnetic fields. In this article, we have used the Langmuir-Blodgett technique for the deposition of magnetic nanowires in the presence of an external magnetic field on solid surfaces. We synthesized magnetic nanowires using direct voltage electrodeposition method and aluminum oxide template, with a hole diameter of 200 nm. After cleaning, we drop casted the nanowires on the surface of deionized water in a Langmuir trough (Teflon) using a plastic microsyringe. Using two moving barriers, the magnetic nanowires were collected on the subphase (water) surface and at a certain surface pressure and in the presence of an external magnetic field, Langmuir films were transferred to solid substrates. The scanning electron microscope images of the monolayers show that the nanowires are aligned almost in the same direction as the magnetic field. In order to compare the Langmuir–Blodgett films of nanowires with the drop-casting method, films of nanowires using drop-casting method were prepared in the presence and absence of an external magnetic field. This comparison showed that a monolayer film of nanowires can be prepared only by the Langmuir-Blodgett method. Cheapness, high operating speed, layering in large areas, as well as diversity in the morphology of single layers are the importance and advantages of the Langmuir-Blodgett technique.

**Keywords:** magnetic nanowire, deposition, Langmuir-Blodgett, film, magnetic field