

## بررسی گسیل میدانی نانو لوله‌های طبقه‌ای CNT-TiO<sub>2</sub> تحت تابش نور

یاسر عبدی\*، حمیدرضا عرب بافرانی، علی ساریخانی، مسعود قاسمی

آزمایشگاه نانوفیزیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه تهران، ایران

دریافت: 1396/11/30 ویرایش نهایی: 1397/09/10 پذیرش: 1397/12/25

### چکیده

امروزه چشمه‌های الکترونی بر پایه گسیل میدانی، نقش قابل توجهی در بخش‌های مختلف زندگی ما ایفا می‌کنند. از جمله مهمترین کاربردهای گسیل میدانی می‌توان به میکروسکوپ‌های الکترونی، نمایشگرهای گسیل میدانی و سلول‌های خورشیدی اشاره کرد. نانولوله‌ها به‌عنوان گسیلنده الکترونی، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این میان، نانولوله‌های کربنی به‌علت دارا بودن بدنه رسانا، به‌عنوان یکی از بهترین گسیلنده‌های میدانی شناخته می‌شوند. همچنین نانولوله‌های دی‌اکسید تیتانیوم به‌دلیل خاصیت اکسیدی و نیز قابلیت رشد بر روی زیر لایه رسانا، از جمله گسیلنده‌های خوب میدانی هستند. هدف این پژوهش، یافتن ساختاری با گسیل میدانی بالا، به‌کمک بررسی گسیل میدانی حاصل از ساختارهای نانولوله دی‌اکسید تیتانیوم، نانوساختارهای متشکل از نانولوله‌های دی‌اکسید تیتانیوم و نانو لوله‌های کربنی و نهایتاً این نانو ساختارهای دو طبقه تحت تابش نور می‌باشد. در این پژوهش، مشاهده شد که ساختارهای دو طبقه‌ای گسیل الکترونی به‌مراتب بیشتری نسبت به ساختارهای معمولی داشتند و همچنین شاهد افزایش چشمگیر گسیل میدانی برای نانو ساختار دو طبقه‌ای تحت تابش نور بودیم.

### کلیدواژه‌گان: نانولوله‌های TiO<sub>2</sub>، نانولوله‌های کربنی، گسیل الکترون

هستند، چرا که از نسبت طول به قطر بسیار زیادی برخوردار هستند [1].

نانولوله‌های دی‌اکسید تیتانیوم از روشی تولید می‌شوند که در سال 1999 زویلینگ و همکاران برای نخستین بار تولید لایه متخلخل TiO<sub>2</sub> روی زیر لایه تیتانیوم در ولتاژ پایین را گزارش دادند [2]. مزایای دی‌اکسید تیتانیوم همچون حساسیت زیاد به نور، پایداری نسبی تحت تابش نور و نیز قیمت مناسب باعث شده است که یکی از کاندیداهای مناسب برای گسیل میدانی باشد [3].

از طرف دیگر، ساختارهای بس اتمی کربن، با آرایش‌های مختلف که آلوتروپ نامیده می‌شوند، دارای

### مقدمه

گسیل میدانی، مکانیسمی برای خارج کردن الکترون‌ها از سطح اجسام با پدیده تونل زنی در حضور میدان الکتریکی خارجی است. اگر یک ماده جامد در معرض یک میدان الکتریکی با شدت مناسب قرار داده شود، الکترون‌های نزدیک به تراز فرمی در آن می‌توانند از طریق پدیده تونل زنی از درون سد پتانسیل، سطح را ترک کنند. از جمله ویژگی‌های مهمی که در ادوات گسیل میدانی قابل توجه است، میزان ثابت بودن و پایداری گسیلنده است. از مهم‌ترین ساختارهایی که برای مقاصد گسیل میدانی مناسب می‌باشند، نانولوله‌ها

\*نویسنده مسئول: y.abdi@ut.ac.ir

باز نشر این مقاله با ذکر منبع آزاد است.

همچون ساخت حسگرهای مولکولی [8]، ترانزیستورهای اثرمیدانی [9] و نیز سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای [10] استفاده می‌شود. با پیشرفت تکنولوژی و نیاز بشر به ابزارهای دقیق‌تر، روش‌های متفاوتی برای رشد نانولوله‌ها و نانوذرات ابداع شد. برای رشد نانولوله‌های کربنی روش‌های مختلفی ارائه شده است، که می‌توان به روش تخلیه قوس الکتریکی، سایش لیزری، رسوب شیمیایی از فاز بخار، الکترولیز و استفاده از انرژی خورشیدی اشاره کرد [11]. در اینجا از روش رسوب بخار شیمیایی تقویت شده توسط پلاسما (PECVD) استفاده شده است که روش مفیدی برای تولید انبوهی از نانولوله‌های به‌خط شده و منظم است [12].

در اینجا علاوه بر بهره‌گیری از خواص نانولوله‌های کربنی، سعی در استفاده از پیوندگاه بین نانولوله‌های کربنی و دی‌اکسید تیتانیوم شده است تا بتوان گسیل الکترونی را افزایش داد. استفاده از کامپوزیت‌های حاوی نانولوله کربنی برای جدایش بارها می‌تواند به‌این مشکل غلبه کند، مثلاً کامپوزیت CNT-TiO<sub>2</sub> می‌تواند گسیل میدانی را افزایش دهد [13]. تحقیقاتی بر روی کامپوزیت‌های TiO<sub>2</sub>-MWCNT (نانولوله‌های کربنی چند دیواره) انجام شده‌اند و نشان داده‌اند که طول عمر الکترون در اثر استفاده از نانولوله‌های کربنی چند جداره افزایش پیدا می‌کند و از سوی دیگر جریان را نیز بهبود می‌دهد [14 و 15].

مورد دیگری که به افزایش گسیل میدانی کمک می‌کند و در سال‌های اخیر گزارش شده است [16]، استفاده از تابش نور به‌نانوساختارهای کربنی جهت افزایش گسیل میدانی است، مثلاً نور و همکاران نشان دادند که تابش نور IR به‌نانولوله‌های کربنی به‌دلیل ایجاد تله گرمایی باعث افزایش جریان الکترونی گسیلی به‌روش گسیل

خواص منحصر به‌فردی هستند. معروف‌ترین آلوتروپ‌های کربنی شامل کربن بی‌نظم، گرافیت، الماس و آلوتروپ‌های جدید مانند باکی‌بال‌ها، گرافن، نانوفیبرها و نانولوله‌های کربنی (CNT) هستند [4]. هرکدام از این آلوتروپ‌ها دارای خواص منحصر به‌فردی می‌باشند و محققان زیادی را به‌خود مشغول کرده‌اند. این آلوتروپ‌ها از نظر الکتریکی خواص جالب و متفاوتی را از خود نشان می‌دهند به‌طوری‌که می‌توانند نارسانا، نیم‌رسانا، رسانا و یا حتی شبه‌فلز شوند [5]. در این بین نانولوله‌های کربنی که مانند صفحات لوله شده گرافین هستند، با خواص ویژه‌شان از جمله پایداری، رسانندگی حرارتی و الکتریکی عالی، نسبت سطح به‌حجم بالا، تحمل استرس‌های مکانیکی و غیره توانسته‌اند جایگاه خاصی را به‌دست بیاورند. نانولوله‌های کربنی در بیشتر تحقیقات به‌خاطر رسانندگی بالایی که دارند به‌عنوان یک کانال ویژه عبور الکترون‌ها به‌کار می‌روند.

از نظر زمانی، در سال 1999 زویلینگ و همکاران برای نخستین بار تولید لایه متخلخل TiO<sub>2</sub> روی زیرلایه تیتانیوم در ولتاژ پایین را گزارش دادند [2]. پس از آن در سال 2001 گروه گریمس توانستند با استفاده از محلول حاوی HF نخستین لایه نانولوله دی‌اکسید تیتانیوم به‌ضخامت حدود نیم‌میکرومتر را تولید کنند [6].

با کشف نانولوله‌های کربنی در سال 1991 توسط ایچیمیا اندیشه استفاده از نانو لوله‌ها و نانو ذرات به‌خاطر داشتن خواص شیمیایی و فیزیکی منحصر به‌فردشان به‌ذهن دانشمندان خطور کرد. کوچک کردن ادوات در الکترونیک و سایر محصولات تکنولوژی نقش به‌سزایی در دوام و کارایی این محصولات دارد [7]. از نانولوله‌های کربنی در حوزه‌های مختلفی

محلول‌ها می‌تواند متفاوت باشند. این محلول حاوی 1 گرم آمونیوم فلوراید است.

در مرحله بعد، برای ایجاد ساختارهای سه بعدی از دو مرحله آندی شدن استفاده کردیم که زاویه‌های بین دو الکتروود در این دو مرحله با یکدیگر متفاوت بودند. پس از رشد عمودی نانولوله‌های دی اکسید تیتانیوم از طریق موازی هم قرار دادن دو الکتروود، در مرحله بعد با ایجاد زاویه بین دو الکتروود حفره‌هایی در راستای دوم در جداره نانولوله‌های مرحله اول به وجود آمد.

این ساختارها شامل دو آرایه از حفره‌ها هستند که اولاً محور استوانه این دو آرایه نسبت به همدیگر زاویه دارند و ثانیاً محل‌های تقاطع این دو آرایه استوانه‌ای تولید ساختار سه بعدی متناوب می‌کند که می‌توانند مانند یک بلور فوتونی سه بعدی رفتار کنند، یعنی تولید یک ناحیه ممنوعه برای عبور فوتون‌های با طول موج معین.

### رشد نانو لوله های کربنی

برای رشد نانولوله‌های کربنی از روش رسوب بخار شیمیایی به کمک پلاسما (PECVD) استفاده شده است. از مهمترین خصوصیات این روش، رشد نانولوله‌های کربنی عمودی بدون نیاز به دمای بالا می‌باشد. برای رشد دادن نانولوله‌های کربنی از زیر لایه سیلیسوم استفاده کردیم. همچنین از فلز نیکل به عنوان کاتالیست استفاده شد. لایه نازکی از این کاتالیست به ضخامت حدود 10 نانومتر به روش لایه‌نشانی تبخیر فیزیکی بر روی زیرلایه قرار داده شد. زیرلایه سیلیسوم لایه نشانی شده با نیکل در دستگاه PECVD قرار داده شد تا رشد نانولوله‌های کربنی در آن انجام شود. رشد نانولوله‌ها در دمای 700 درجه سیلیسیوس و در فشار 2 تور انجام شد. توان پلاسما 4 وات بر سانتیمتر مربع و به مدت 30 دقیقه بود. گازهای مورد استفاده

یون-گرمایی می‌شود، و یا منشی پوری و همکاران نشان دادند که با تابش نور مرئی به نانولوله‌های کربنی که با نانوذرات پلاسما پوشیده شده‌اند، باعث افزایش جریان گسیل الکترون می‌شود [17]. روش دیگر به دام‌اندازی نور، ایجاد اصلاحات درون ساختار متخلخل است. در خلال انجام این پروژه و تحقیق روی نانولوله‌های دی‌اکسید تیتانیوم موفق به دستیابی به ساختار جدیدی شدیم که رفتاری مشابه با بلورهای فوتونی را از خود بروز می‌داد.

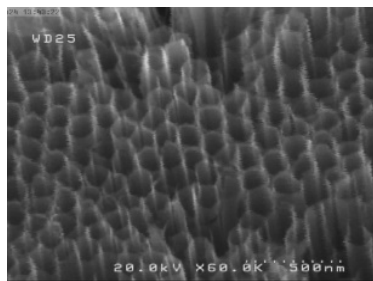
با توجه به اینکه ساختارهای سه بعدی دی اکسید تیتانیوم می‌تواند با به دام انداختن نور درون خود، مسیر پیموده شده توسط نور را افزایش دهد و باعث تحریک بیشتر الکترون‌ها شود، تصمیم گرفته شد که نهایتاً این نانو ساختارها تحت تابش نور مورد بررسی و آزمایش قرار گیرد.

### کارهای آزمایشگاهی

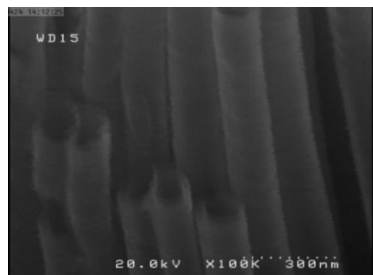
#### تولید نانو ساختارهای $TiO_2$

رشد نانولوله‌های دی اکسید تیتانیومی از روش آندی شدن انجام شده است که در سال 2001 گروه گریمس توانستند با استفاده از محلول حاوی HF نخستین لایه نانولوله دی اکسید تیتانیوم به ضخامت حدود 500 نانومتر را تولید کنند [6]. در عمل، برای انجام فرآیند آندی شدن از محلول‌های الکتروولیت متفاوتی استفاده می‌شود. محلولی که برای تولید این نانولوله‌ها به کار گرفته شد حاوی آب دیونیزه، اتیلن گلیکول و نمک آمونیوم فلورید است [6]. الکتروولیت نقش مهمی در مورفولوژی نانولوله‌های دی‌اکسید تیتانیوم دارد. محلول الکتروولیت به حجم 300 میلی‌لیتر تولید شدند که ماده اصلی در این محلول اتیلن گلیکول است و دیگری آب دیونیزه که درصد اتیلن گلیکول و آب دیونیزه در این

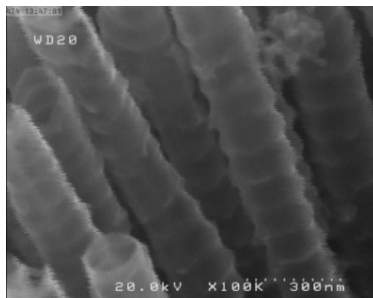
داشتن گسیل الکترونی مناسب بسیار اهمیت دارد. تصاویر میکروسکوپی آورده شده در این مقاله نمونه‌هایی است از ساختارهای بسیاری که در این کار رشد داده شده‌اند. کنترل قطر و ارتفاع نانولوله‌های کربنی و نانولوله‌ای  $TiO_2$  با کنترل پارامترهای رشد امکان پذیر بوده است. که نتایج همه آنها در این مقاله آورده نشده است.



الف



ب



پ

**شکل 1.** الف: نمای از بالای نانولوله‌های  $TiO_2$ : ب: نمای از پهلو نانولوله‌های  $TiO_2$ : پ: نمای از پهلو نانولوله‌های  $TiO_2$  چند مرحله‌آندی شده. مقیاس‌ها در تصاویر به ترتیب 500، 300 و 300 نانومتر است.

هیدروژن به‌عنوان گاز حامل و استیلن به‌عنوان منبع کربنی بود.

### ایجاد نانوساختارهای طبقه‌ای و آنالیزها

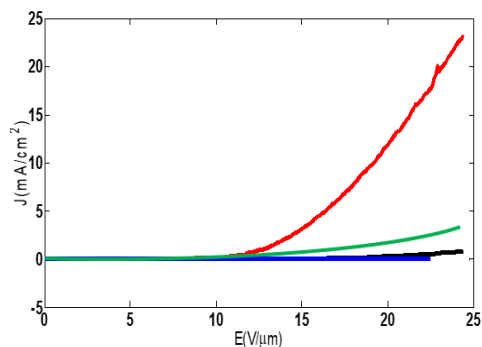
برای ایجاد نانوساختارهای طبقه‌ای روی نانوساختارهای  $TiO_2$  به‌میزان 20 نانومتر نیکل لایه نشانی شد. سپس نمونه در دستگاه PECVD قرار گرفته و نانولوله کربنی به‌روش اشاره شده در بخش قبل، رشد داده شد.

به‌منظور آنالیز ساختاری از دستگاه میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FESEM-4160, Hitachi, Japan) با ولتاژ کاری 20 کیلو ولت و با مد تصویر برداری الکترون ثانویه استفاده شد. آنالیزهای ایتیکی با دستگاه (Ava Spec 1024) انجام شده است. همچنین به‌منظور اندازه‌گیری گسیل الکترونی از ساختارهای رشد داده شده از دستگاه (IVmeter, Raga 10A) استفاده شد.

### نتایج و بحث

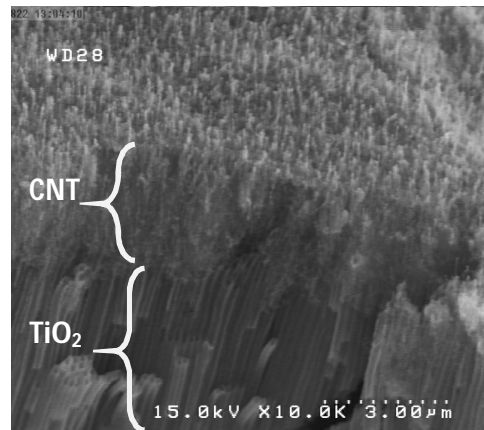
تصاویر میکروسکوپ الکترونی نانولوله‌های دی اکسید تیتانیوم رشد داده شده در شکل 1 آمده است. شکل الف تصویر از بالای نانولوله‌های عمودی را نشان می‌دهد. شکل ب همین نمونه را از نمای پهلو نشان می‌دهد و شکل پ نانولوله‌های با ساختار سه بعدی را از پهلو نشان می‌دهد که نشان می‌دهد در دیواره نانولوله‌های دی‌اکسید تیتانیوم نیز زدایش انجام شده است. نمونه پ نتیجه آندی شدن در چند زاویه است که در بخش جزئیات آزمایش راجع به آن توضیح داده شد.

شکل 2 تصویر SEM نانوساختارهای دو طبقه‌ای  $TiO_2/CNT$  را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، نانولوله‌های کربنی به‌طور کاملاً عمودی بر روی نانولوله‌های  $TiO_2$  رشد کرده‌اند. این مسأله برای



**شکل 3.** نمودار جریان برحسب ولتاژ برای چهار نانو ساختار مختلف. منحنی قرمز رنگ مربوط به نانو ساختار چند طبقه، منحنی سبز رنگ مربوط به نانولوله های کربنی، منحنی سیاه رنگ مربوط به نانولوله دی اکسید تیتانیوم آلیایه شده با کربن و منحنی آبی رنگ مربوط به نانولوله دی اکسید تیتانیوم خالص می باشند.

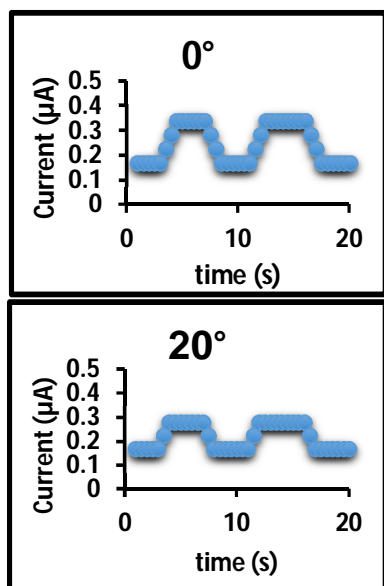
قبل از بررسی تأثیر تابش نور بر گسیل الکترونی ساختارهای تولید شده، ابتدا به بررسی برهم کنش نور با نانولوله های  $\text{TiO}_2$  پرداخته شد. شکل 4 شدت نور پراکنده شده از نانولوله های  $\text{TiO}_2$  را تحت تابش نور فرابنفش (350 نانومتر) برحسب زاویه نشان می دهد. برای این منظور با استفاده از فیبر نوری نور فرودی در راستای عمود بر نمونه تابانده می شود و با استفاده از یک فیبر نوری دیگر که به نقاله متحرکی وصل است در زوایای مختلف نور پراکنده شده جمع آوری می شود. نور وارد شده به فیبر نوری با استفاده از دستگاه (Ava Spec 1024) شدت سنجی شد. در شکل 4 نمودار الف (قرمز رنگ) مربوط به نانولوله ای است که در دو مرحله آندی شده است و نمودار ب (آبی رنگ) مربوط به نانولوله ای است که به صورت تک مرحله ای آندی شده است. همان طور که دیده می شود، نانولوله دو مرحله ای دارای دو قله در نمودار پراکندگی است. نمودار پراکندگی برحسب زاویه برای یک ساختار عمودی برحسب زاویه کاهش پیدا می کند. که این رفتار معمولاً با نسبت کسینوس زاویه کاهش پیدا می کند. اما در ساختار دو مرحله ای با توجه به اینکه زاویه ارجح دیگری هم برای پراکندگی وجود دارد، ما در نمودار پراکندگی دو قله می بینیم که این رفتار مشابه رفتار



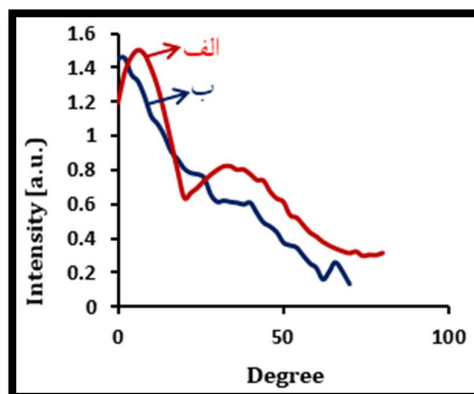
**شکل 2.** تصویر SEM نانو ساختارهای دو طبقه ای  $\text{TiO}_2/\text{CNT}$

جهت بررسی گسیل میدانی نانو ساختارهای رشد داده شده از یک چیدمان خلأ استفاده شد که خلأ آن تا 6-10 تور پایین می آمد و اتصالات توگذر خلأ برای اتصال دهی الکتریکی به ساختارها در آن تعبیه شده بود. نتایج گسیل میدانی نانو ساختارها در شکل 3 آمده است. با توجه به اینکه آلیایه شدن نانولوله های دی اکسید تیتانیوم با کربن می تواند رسانندگی آنها را بالا ببرد، و به جهت اینکه بتوانیم اثر نانو ساختار چند طبقه ای را با اثر آلیایه شدن نانولوله های  $\text{TiO}_2$  تفکیک کنیم، نمونه آلیایه شده را نیز در اندازه گیری گسیل میدانی وارد کردیم. همان طور که در نمودارهای شکل 3 دیده می شود، با آرایش نانولوله های  $\text{TiO}_2$  گسیل الکترون آنها افزایش پیدا کرده است و با رشد نانولوله های کربنی روی آنها این جریان افزایش چشم گیری داشته است. برای مقایسه بهتر نتایج به دست آمده، گسیل میدانی نانولوله های رشد داده روی ورقه تیتانیوم نیز در شکل 3 آمده است. نتایج نشان می دهد که ساختار طبقه ای بهترین گسیل میدانی را دارد.

جهت بررسی تأثیر نور بر گسیل الکترونی نانو ساختارهای دو طبقه‌ای، در حین انجام تست گسیل الکترونی به آنها نور تابانده شد. برای این منظور از شیشه لایه‌نشانی شده با FTO به‌عنوان رسانای شفاف برای آند استفاده شد. در این اندازه‌گیری در ولتاژ ثابت جریان گسیلی برحسب زمان اندازه‌گیری و به‌ساختار نور تابانده و قطع شد. نتایج این اندازه‌گیری در شکل 6 برای تابش نور با زاویه‌های مختلف آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با تابش نور، گسیل الکترونی بین نانو ساختارها و آند رسانای شفاف که در فاصله 1 میلیمتری از آن قرار داشته است افزایش می‌یابد. این تغییر در جریان الکترونی به‌دلیل برهم‌کنش نور با نانولوله‌های  $\text{TiO}_2$  است. با تابش نور به این ساختارها به تله‌اندازی انرژی اتفاق می‌افتد که نتیجه آن این است که به‌صورت موضعی نانو ساختارها گرم می‌شوند. در اثر گرم شدن نانو ساختارها به‌گسیل الکترونی به‌صورت گسیل گرمایونی افزایش می‌یابد.

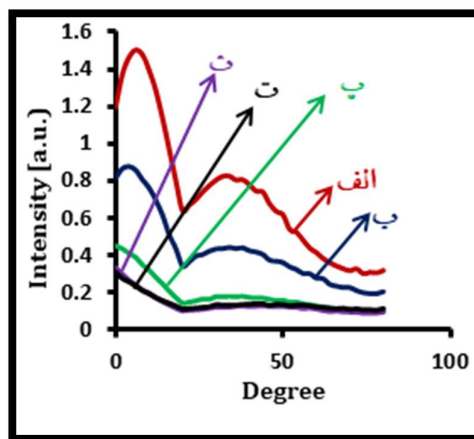


بلورهای فوتونی است، که در آنها پراکندگی بدین ترتیب به‌زاویه وابسته است.



شکل 4. نمودار شدت پراکندگی برحسب زاویه برای نمونه‌های [الف] دو مرحله‌ای و [ب] تک مرحله. این منحنی‌ها مربوط به نور فرودی با طول موج 350 نانومتر می‌باشد.

در مطالعه دیگری آزمایش مربوط به شکل 4 با طول موج‌های مختلف امتحان شد. نتایج این اندازه‌گیری در شکل 5 آمده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، رفتار مشابهی برای نانولوله‌های دو مرحله‌ای در طول موج‌های مختلف اتفاق می‌افتد. البته شدت پراکندگی در طول موج‌های بزرگتر کمتر است. این مسأله نیز قابل پیش‌بینی بود. چرا که طول موج‌های بزرگتر ساختار نانومتری آرایه‌های نانولوله را نمی‌بینند.



شکل 5. منحنی شدت پراکندگی برحسب زاویه برای طول موج‌های مختلف. الف: 350 نانومتر، ب: 450 نانومتر، ج: 550 نانومتر، د: 660 نانومتر و ه: 720 نانومتر.

[2] V. Zwillling, E. Darque-Ceretti, A. Boutry-Forveille, D. David, M.Y. Perrin, M. Aucouturier, Structure and Physicochemistry of Anodic Oxide Films on Titanium and TA6V Alloy, *Surface and interface analysis*, 27 (1999) 629-637.

[3] X. Xu, C. Tang, H. Zeng, T. Zhai, S. Zhang,; H. Zhao, Y. Bando, D. Golberg, Structural Transformation, Photocatalytic and Field-Emission Properties of Ridged TiO<sub>2</sub> Nanotubes, *Applied Materials & Interfaces*, 3 (2011) 1352-1358.

[4] F. Diederich, Y. Rubin, Synthetic Approaches toward Molecular and Polymeric Carbon Allotropes, *Angewandte Chemie International Edition*, 31(1992) 1101-1123.

[5] R. Basuand, G.S. Iannacchione, High-resolution dielectric spectroscopy and electric-field dependence of carbon allotropes including multiwall and single-wall nanotubes, *Applied physics letters*, 92 (2008) 052906-9.

[6] D. Gong, C.A. Grimes, Titanium oxide nanotube arrays prepared by anodic oxidation, *Journal of Materials Research*, 16 (2001) 3331-3334.

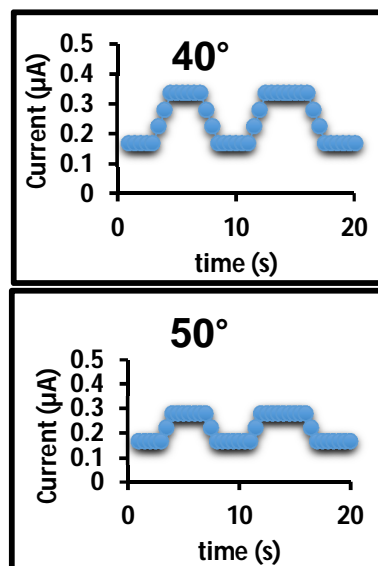
[7] I. Sumio, Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature*, 354 (1991) 56-58.

[8] J. Wang, Carbon-Nanotube Based Electrochemical Biosensors: A Review, *Electroanalysis*, 17 (2005) 7-14.

[9] P. Prakash, K.M. Sundaram, M.A. Bennet, A review on carbon nanotube field effect transistors (CNTFETs) for ultra-low power applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89 (2018) 194-203.

[10] K.T. Dembele, R. Nechache, L. Nikolova, A. Vomiero, C. Santato, S. Licoccia, Rosei Effect of multi-walled carbon nanotubes on the stability of dye sensitized solar cells, *Journal of Power Sources*, 233 (2013) 93-97.

[11] J. Prasek, J. Drbohlavova, J. Chomoucka, J. Hubalek, O. Jasek, V. Adam, R. Kizek, Methods



شکل 6. نمودارهای جریان گسیلی برحسب زمان در حین تابش نور با زوایای مختلف. با تابش نور جریان الکترونی افزایش و با قطع آن کاهش پیدا کرده است. در هر کدام از اندازه گیری ها قطع و وصل نور دو بار انجام شده است.

### نتیجه گیری

در این پژوهش نشان دادیم که با قرار دادن نانولوله های کربنی بر روی نانولوله های دی اکسید تیتانیوم می توانیم گسیل الکترونی چند برابری داشته باشیم. همچنین دیدیم که با زدایش دو مرحله ای تیتانیوم به روش آندی شدن می توانیم ساختارهای سه بعدی ای ایجاد کنیم که در برهم کنش با نور مشابه بلورهای فوتونی رفتار می کنند. از این برهم کنش بهره بردیم و تأثیر تابش نور بر گسیل الکترونی نانوساختارهای دو طبقه ای CNT/TiO<sub>2</sub> را مورد مطالعه قرار دادیم. بررسی ما نشان داد که با تابش نور به این ساختارها می توانیم افزایش چشمگیری در گسیل الکترونی این ساختارها ایجاد کنیم.

### مرجع ها

[1] Y. Chen, D.T. Shaw, Field emission of different oriented carbon nanotubes, *Applied Physics Letters*, 76 (2000) 2469-2472.

- [15] C.Y. Yen, Y.F. Lin, S.H. Liao, C.C. Weng, C.C. Huang, Y.H. Hsiao, C.M. Ma, M.C. Chang, H. Shao, M.C. Tsai, Preparation and properties of a carbon nanotube-based nanocomposite photoanode for dye-sensitized solar cells, *Nanotechnology*, 19 (2008) 375305-9.
- [16] P. Yaghoobi, M. Vahdani Moghaddam, A. Nojeh, Heat trap: light-induced localized heating and thermionic electron emission from carbon nanotube arrays, *Solid State Communications*, 151(2011) 1105-1108.
- [17] M. Monshipouri, Y. Abdi, S. Darbari, Realization of low power-laser induced thermionic emission from Ag nanoparticle decorated CNT forest: A consequence of surface plasmon resonance, *Applied physics letters*, 109 (2016) 203105-8.
- for carbon nanotubes synthesis:review, *Journal of Materials Chemistry*, 21 (2011) 15872-15884.
- [12] Y. Abdi, J. Koohsorkhi, J. Derakhshandeh, S. Mohajerzadeh, H. Hoseinzadegan, M.D. Robertson, J.C. Bennett, X. Wu, H. Radamson, PECVD-grown carbon nanotubes on silicon substrates with a nickel-seeded tip-growth structure, *Materials Science and Engineering C*, 26 (2006)1219-1223.
- [13] P. Brown, K. Takechi, P.V. Kamat, Single-Walled Carbon Nanotube Scaffolds for Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Physical Chemistry C* 112 (2008) 4776-4782.
- [14] K.M. Lee, C.W. Hu, H.W. Chen, K.C. Ho, Incorporating carbon nanotube in a low-temperature fabrication process for dye-sensitized TiO<sub>2</sub> solar cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 92 (2008) 1628-1633.