سومین کنفرانس تخصصی فناوری نانو در صنعت برق و انرژی
سه شنبه و چهارشنبه ۲۹ و ۳۰ اردیبهشت ماه ۱۳۹۲

No. 15-F-AAA-0000

کاربرد نانولوله های کربنی در شبکه توزیع برق

علی مسعودی
مدیریت توزیع برق شهرستان اقلید
شرکت توزیع نیروی برق استان فارس
اقلید، ایران
Ali.masoudi2008@gmail.com

چکیده — فناوری نانو می تواند تولید محصول یا انجام خدمات را با کیفیت بهتر و هزینه و مصرف انرژی کمتر به انجام برساند. امروزه تولید انتقال و توزیع انرژی الکتریکی از حساسیت ویژه ای برخوردار می باشد . بنابر این استفاده از تکنولوژی های نانو ضمن افزایش قابلیت اطمینان شبکه از تلفات انرژی تا حد قابل توجهی کاسته و انجام خدمت رسانی را آسانتر می کند. یکی از فناوری های پر کاربرد در صنعت برق نانو لوله های کربنی می باشد که استوانه ای توخالی با جنس دیواره اتم های کربن است. در این مقاله ضمن بررسی نانو لوله های کربنی به کاربردهای مختلف آن در شبکه های توزیع برق اشاره و ضمن آزمایش و مقایسه سیم های آلومنیمی موجود در شبکه با سیمهای نانو لوله کربنی به تاثیر مهم آن در افزایش رسانایی الکتریکی و استحکام مکانیکی پی می بریم. رسانایی کابل های نانو لوله کربنی را می توان با دوپ کردن با عنصر ید به بالاتر از فلزاتی همچون مس و آلومنیم رسانید. و در حالی که وزن آنها خیلی کمتر و در حدود یک ششم سیم های فلزی می باشد. استحکام کششی خارجی ترین جداره یک نانو لوله کربنی چند دیواره صد برابر بیشتر از آلومنیم است.

واژه‌های کلیدی — نانو لوله کربنی؛ شبکه توزیع برق؛ رسانایی؛ استحکام

۱. مقدمه

کربن یکی از عناصر شگفت انگیز طبیعت است که به چهار صورت در طبیعت یافت می شود. که هر چهار شکل جامد بوده و شامل گرافیت الماس نانولوله و باکی بال می باشد. اندازه و شکل فیزیکی نانو مواد و چگونگی پیوند بین اتمی آنها تاثیر بسیاری بر خواص مواد می گذارد[۱]. مهم‌ترین خاصیت فیزیکی نانولوله‌ها،«هدایت الکتریکی» آنهاست. هدایت الکتریکی نانولوله‌ها بسته به زاویه و نوع پیوندها، از دسته‌ای به دسته دیگر کاملاً متفاوت است؛ هر اتم در جایگاه خود در حال ارتعاش است، وقتی که یک الکترون (یا بار الکتریکی) وارد مجموعه ای از اتم ها می‌شود، ارتعاش اتم‌ها بیشتر شده و در اثر برخورد با یکدیگر بار الکتریکی وارد شده را انتقال می‌دهند. هرچه نظم اتم‌ها بیشتر باشد، هدایت الکتریکی آن دسته از نانولوله‌ها بیشتر خواهد بود. تقسیم بندی بر اساس نظم اتمهای کربن در نانولوله و در نتیجه رسانایی آنها انجام شده است؛ برای مثال نانولوله نوع صندلی ۱۰۰۰ بار از مس رساناتر است، در حالی که نوع زیگزاگ و نوع نامتقارن نیمه رسانا هستند. خاصیت نیمه رسانایی نانولوله ها بسته به نوع آنها تغییر می کند. بسیاری از کاربردهای نانولوله کربنی تاکنون بر کاربردهای مقیاس کوچک متمرکز بوده است. اما حالا گروهی از پژوهشگران دانشگاه رایس نوعی از نانولوله‌های کربنی به طول چند صد متر و قطر تنها ۵۰ میکرومتر ساخته‌اند. بنابر گفته این محققان، محدودیتی در مورد طول نانولوله‌های ساخته شده وجود ندارد که این امر کاربردهای نانولوله‌ها را در مقیاس وسیع امکان‌پذیر می‌سازد. از جمله این کاربردها می‌توان به استفاده از نانولوله‌ها به عنوان خطوط انتقال برق و بنیانی برای مواد ساختاری اشاره کرد.می‌توان با استفاده از محلول سوپراسیدی، الیاف نانولوله‌ای کربنی به طول چندصد متر تولید کرد[۲].

در این تحقیق با مقایسه هادی های نانو کربنی با هادی های معمولی هدایت حرارتی و مقاوت الکتریکی بررسی می شود. و دوپ کردن نانو لولـه کربنـی با عنصر ید رسانایی آن را به بالاتر از مس و آلومنیم می رساند.

۲-کاربردهای نانو لوله کربنی

نانو لوله های کربنی کاربردهای مختلفی در صنعت برق دارند.که بـه برخـی موارد در زیر اشاره می گردد.

۲.۱.روشنایی

لامپ های تولید شده با نانو لوله کربنی هزینه تولید کمتر، عمر طولانی تر و ثبات رنگ بیشتری نسبت به لامپ های معمولی دارند. با توسعه و استفاده از بازده انرژی LED بر اساس مواد نیمه هادی آلی و غیرآلی، طرح رنگ هـای مختلف و بازده انرژی بالا به عنوان پتانسـیل بـالقوه ای در روشـنایی مطـرح بوده است. که روشنایی های برتـر دیودهـای انتشـار دهنـده روشـنایی آلـی OLED می باشد.[۳].

۲.۲.ابر خازن و ذخیره سازی انرژی

چون نانو لوله های کربنی تو خالی هستند بنا براین امکان قرار دادن مواد خارجی در داخل آنها می باشد. پس با قرار دادن فلزات درون آن می توان هم خواص الکتریکی را بهبود بخشید و هم ذخیره سازی انرژی را انجام داد محققان دانشگاه فلوریدای مرکزی موفق به ساخت ابرخازن رشته‌ای شدند که هم امکان عبور جریان و هم ذخیره‌سازی انرژی را دارد. برای ساخت این رشته، از سیم مسی و لایه‌های نانومقیاس پلاستیکی استفاده شده است.تصور کنید که لباسی بر تن داشته باشید که بتواند ادوات الکترونیکی همراه شما را شارژ کند. شاید کمی شبیه داستان‌های علمی تخیلی باشد. اما نتایج پژوهش‌های اخیر محققان دانشگاه فلوریدای مرکزی نشان می‌دهد که این ایده امکان‌پذیر است[۴].

تا کنون از کابل و سیم برای انتقال اطلاعات و الکتریسیته استفاده می‌شد اما جایان توماس و همکارانش نشان دادند که یک رشته سیم مسی سبک می‌تواند علاوه بر انتقال الکتریسیته، انرژی را نیز در خود ذخیره کند .

توماس می‌گوید: «ما برای شروع کار به سراغ سیم مسی رفتیم اما پس از مدتی دریافتیم که باید از یک نانوساختار برای هدایت و ذخیره‌سازی استفاده کنیم. چنین سیمی می‌تواند در خودروهای برقی استفاده شود.» این گروه تحقیقاتی روی سیم مسی، یک غلاف نانومقیاس قرار دادند. این غلاف با یک آلیاژ ویژه ترکیب شده و در نهایت الکترودی ایجاد می‌کند. محققان برای ذخیره‌سازی نیاز به الکترود دیگری نیز داشتند. آن‌ها برای این کار یک لایه پلاستیک نازک روی سطح غلاف قرار دادند و روی آن را با فلز دیگری پوشاندند. برای اتصال این لایه‌ها به هم از یک ژل ویژه استفاده شد. به دلیل وجود لایه‌ی عایق، رشته سیم درونی می‌تواند نقش انتقال‌دهنده‌ی جریان را ایفا کند و الکترود خارجی نیز به صورت مستقل امکان ذخیره‌سازی را فراهم می‌کند.

در واقع توماس و همکارانش موفق به ساخت ابرخازنی از جنس مس شدند که هم امکان عبور جریان و هم ذخیره‌سازی را دارد. توماس معتقد است با مواد دیگر نیز می‌توان چنین ابرخازنی تولید کرد. از این رشته‌ها می‌توان برای تولید البسه و منسوجات استفاده کرد. چنین لباس‌هایی می‌توانند مجهز به یک باتری خورشیدی شده و انرژی مورد نیاز را از نور خورشید دریافت و درون این رشته‌ها ذخیره‌سازی کنند.این گروه تحقیقاتی روی باتری‌های یون لیتیم و ابرخازن‌های مبتنی بر نانوساختارها کار می کنند [۵].

۲.۳.انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

محققان در دانشگاه رایس رسانایی الکتریکی کابل‌های نانولوله‌ای می‌تواند در حد رسانایی سیم‌های فلزی باشد، در حالیکه وزن آنها بسیار کمتر است. این محققان با نانولوله‌های کربنی دو جداره یک کابل انتقال برق ساخته و بوسیله آن یک لامپ فلورسانت را در ولتاژ استاندارد شبکه روشن کردند.

اریک باریرا از دانشگاه رایس و یکی از این محققان، می‌گوید که کابل‌های بسیار رسانای مبتنی بر نانولوله‌های کربنی می‌توانند کارایی همانند کابل‌های فلزی مرسوم داشته باشد و در همان حال وزن آنها حدود یک ششم باشد. این کابل‌ها را می‌توان در کاربردهای نظیر صنایع هواپیمایی و خودروسازی که در آنها وزن یک فاکتور مهم است، بطور گسترده استفاده کرد و حتی ممکن است در آینده جایگزین سیم‌کشی مرسوم در خانه‌ها شوند.

کابل‌های ساخته شده بوسیله این محققان، از نانولوله‌های خالص بافته شده‌اند و می‌توان آنها را بدون از دست دادن رسانایی‌شان بهم گره زد. این گروه تحقیقاتی برای افزایش رسانایی و پایداری این کابل‌ها، نانولوله‌ها را با عنصر ید دوپ کردند. نسبت ضریب رسانایی به وزن که ضریب رسانایی ویژه نامیده می‌شود، برای این نانولوله در مقایسه با فلزاتی مانند مس و نقره بالاتر است [۶].

یاو ژاو وسیله‌ای ساخته است که در آن انتقال توان در سرتاسر این نانوکابل انجام می‌شود. در مدار لامپ ساخته شده بوسیله آن محقق این نانوکابل جایگزین سیم مسی مرسوم شده است.او لامپ مذکور را برای روزها روشن نگه داشتند و هیچ افتی در این کابل نانولوله‌ای مشاهده نکردند.یاو ژاو همچنین مطمئن هست که این کابل از نظر مکانیکی مستحکم است؛ آزمایش‌ها نشان می‌دهند که استحکام و سختی این نانوکابل در حد کابل‌ها فلزی هستند و آن در گستره وسیعی از دماها کار می‌کند. ژاو و همکارانش همچنین متوجه شدند که گره زدن دو قطعه از این کابل‌ها به هم دیگر قابلیت‌شان را برای انتقال الکتریسیته تحت تاثیر قرار نمی‌دهد [۷].

۲.۴.کامپوزیت ها

نانو لوله های کربنی می توانند بعنوان تقویت کننده کامپوزیت ها استفاده شوند.محققین با آزمایش روی یک نمونه اپوکسی پس از تشکیل کامپوزیت رسانایی ماده ۱۲۰ درصد و در یک نمونه کامپوزیت آلومینا رسانایی ۲۰۰ درصد افزایش یافت[۸]. استفاده از نانو الیاف سلولز در ساخت کامپوزیت های شفاف و انعطاف پذیر کاربرد گسترده ای در صنایع الکترونیک و سلول های خورشیدی دارد.و نانو لوله های کربنی باعث تقویت خواص گرمایی و مکانیکی کامپوزیت ها می شود. همچنین کامپوزیت های پلیمری در ساخت قطعات گوناگون شبکه های توزیع از جمله تیرهای انتقال برق، کراس آرم ها، مقره ها، کابلها و قطعات سوییچ های برق به کار گرفته می شوند[۹].

۳. هدایت حرارتی نانولوله های کربنی

در بررسی‌های تجربی و آزمایش‌ها به نتایجی در زمینه ی هدایت حرارتی نانولوله ها کربنی دست یافته می شود. پیش بینی می شود که نانولوله های کربنی در دمای اتاق رسانایی حرارتی بالاتری از گرافیت و الماس دارند. در این اندازه گیری‌ها، رسانایی حرارتی را برای دو دسته از نانولوله ها به دست می آید. یک دسته، نانولوله های کربنی تک دیواره‌ای هستند که به صورت توده‌ای در کنار هم قرار گرفته اند و مقدار رسانایی حرارتی مجموعه ی آنها به دست می آید. یک دسته نیز نانولوله های کربنی چند دیواره هستند که به صورت جدا از هم قرار گرفته اند[۱۰].

برای درک بهتر رفتار حرارتی نانولوله های کربنی از مقایسه انجام شده بین نتایج حاصل از بررسی نانولوله ها و دیگر مواد کربنی دارای ساختار مشابه استفاده می کنیم. بر اساس این مقایسه بین رسانایی حرارتی برای نانولوله (ساختار یک بعدی)، تک صفحه ی گرافن (ساختار دو بعدی) و گرافیت (ساختار سه بعدی) نتیجه این است که رسانایی حرارتی تک لایه ی گرافن بیشتر از یک نانولوله، و بیشتر از گرافیت است. گرچه مقدار رسانایی حرارتی گرافن در بسیار نزدیک به رسانایی حرارتی نانولوله می‌باشد[۱۱]. همانطور که می‌دانید، گرافیت از روی هم قرار گرفتن منظم و متناوب لایه های گرافن ساخته می‌شود. بنابراین بین لایه های گرافن، برهم‌کنش هایی برقرار است، بنابراین در گرافیت، وجود بر هم‌کنش های بین لایه ای، مقدار هدایت الکتریکی را به شدت کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد همین اتفاق در مورد دسته های نانولوله های کربنی رخ خواهد داد و مقدار هدایت الکتریکی دسته های نانولوله های کربنی از مقدار هدایت الکتریکی تک نانولوله ها کمتر باشد[۱۲].

۴.استحکام مکانیکی نانو لوله های کربنی

نانولوله‌ها دارای پیوندهای محکمی در بین اتم‌هایشان می باشند وبه همین علت در برابر نیروهای کششی مقاومت واستحکام زیادی از خود نشان می دهند. به عنوان مثال نیروی لازم برای شکستن یک نانولوله ی کربنی چند برابر نیرویی است که برای شکستن یک قطعه فولاد با ضخامتی معادل یک نانو لوله احتیاج داریم.اما جالب است که بدانیم پیوندهای بین اتمی در نانولوله‌ها علاوه بر ایجاداستحکام بالا، شکل‌پذیری آسان و حتی پیچش را درآنها میسر می سازد! در حالی که فولاد تنها دربرابر نیروهای کششی دارای مقاومت است و برای پیچش انعطاف پذیری لازم را ندارد[۱۳].

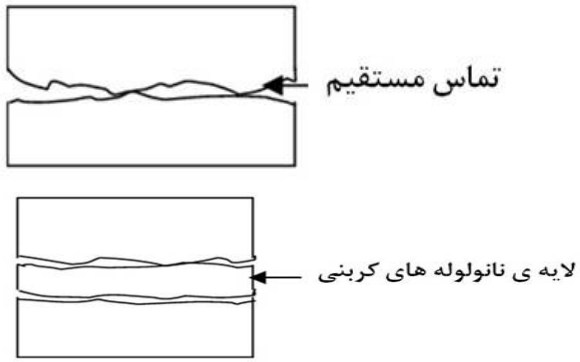
۵.هدایت الکتریکی نانو لوله های کربنی

مهم‌ترین خاصیت فیزیکی نانولوله‌ها،«هدایت الکتریکی» آنهاست. هدایت الکتریکی نانولوله‌ها بسته به زاویه و نوع پیوندها، از دسته‌ای به دسته دیگر کاملاً متفاوت است؛ هر اتم در جایگاه خود در حال ارتعاش است، وقتی که

یک الکترون (یا بار الکتریکی) وارد مجموعه ای از اتم ها می‌شود، ارتعاش اتم‌ها بیشتر شده و در اثر برخورد با یکدیگر بار الکتریکی وارد شده را انتقال می‌دهند. هرچه نظم اتم‌ها بیشتر باشد، هدایت الکتریکی آن دسته از نانولوله‌ها بیشتر خواهد بود. تقسیم بندی بر اساس نظم اتمهای کربن در نانولوله و در نتیجه رسانایی آنها انجام شده است؛ برای مثال نانولوله نوع صندلی ۱۰۰۰ بار از مس رساناتر است، در حالی که نوع زیگزاگ و نوع نامتقارن نیمه رسانا هستند. خاصیت نیمه رسانایی نانولوله ها بسته به نوع آنها تغییر می کند[۱۴].

۵.آزمایش انجام گرفته

در این تحقیق دو نوع ماده را انتخاب شده است. آلومینیوم و گرافیت، که هر دو از رساناهای بسیار خوب حرارت هستند. برای این بررسی، در یک حالت دو قطعه از ماده ی مورد نظر روی هم قرار داده شد (بدون نانولوله) و در حالت دوم، بین دو قطعه مقداری نانولوله ی کربنی قرار داده شد. حالت اول برای به دست آوردن معیار ارزیابی داده های آزمایش در نظر گرفته شده است. شماتیک این دو حالت را در *«شکل ۱»* می‌بینید .



شکل ۱:شماتیک الف) حالت اول، ب) حالت دوم

نتایج حاصل از این تحقیقات در *«جدول ۱»* گزارش داده شده است.
همان‌گونه که دیده می‌شود، بدون در نظر گرفتن ماده ی حد واسط در فصل مشترک، هوای به دام افتاده در میان گاف های هوایی موجب ایجاد مقاومت حرارتی می شوند. با در نظر گرفتن ماده ای مناسب مانند نانولوله های کربنی، می توان تا حد زیادی بر این مقاومت فائق آمد[۱۵].

بنابراین در صورت استفاده از نانولوله های کربنی در آرایش پیچش سیمهای مس و آلومنیم شبکه های توزیع ضمن کاهش مقاومت الکتریکی آنها ضریب هدایت حرارتی و الکتریکی سیمها افزایش می یابد که این خود باعث افزایش ظرفیت خط و کاهش تلفات می گردد[۱۶].

جدول ۱:نتایج حاصل از آزمایش

نمونه مورد بررسی	هدایت حرارتی (W/mk)	درصد بهبود
قطعه آلومینیومی	95/73	-
دوقطعه آلومینیومی در تماس با یکدیگر	8/956	-
دو قطعه آلومینیومی باوجود نانولوله های کربنی در فصل مشترک آن ها	43/457	385/16
قطعه گرافیتی	102/066	-
دو قطعه گرافیتی در تماس با یکدیگر	13/475	-
دو قطعه گرافیتی با وجود نانولوله های کربنی در فصل مشترک آن ها	62/278	362/79

۶.نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از رشته های نانو لوله کربنی به همراه سیمهای فلزی و دوپ کردن آنها با عنصر ید ضمن کاهش مقاومت الکتریکی هادی ها،رسانایی،استحکام مکانیکی و توان انتقالی افزایش پیدا می کند. همانطور که آزمایش شد در حالتی که از نانولوله کربنی همراه با آلومینیوم یا گرافیت استفاده می شود، نسبت به حالتی که دو قطعه آلومینیم یا دو قطعه گرافیت بدون نانو لوله کربنی در تماس هستند ضریب هدایت حرارتی بیش از ۳۶۰ درصد بهبود داشته است. همچنین با کشیدن یک غلاف نانو لوله کربنی بر روی سیمهای مسی می توان علاوه بر هدایت جریان،انرژی الکتریکی را

ذخیره سازی کرد. می‌توان با استفاده از محلول سوپراسیدی، الیاف نانولوله‌ای کربنی به طول چندصد متر تولید کرد.

قدردانی

از زحمات شبانه روزی داوران و برگزار کنندگان محترم کنفرانس تخصصی فناوری نانو در صنعت برق و انرژی کمال تشکر رادارم.

منابع

[1] Y. Hernandez, V. Nicolosi, M. Lotya, F. Blighe, ZH. Sun, S. DE, I.T. Mcgovern, B. Holland, M. Byrne, Y. Gunko, J. Boland, P. Niraj, G. Duesberg, S. Krishnamurthy, R. Goodhue, J. Hutchison, V. Scardaci, A.C. Ferrari, and J.N. Coleman, "*High- yield Production of Graphene by Liquid- Phase Exfoliation of Graphite"* , Articles, 2008.
[2] P. Cheng Ma, B. Zhong Tang, J-K. Kim, "Effect of CNT decoration with silver nanoparticles on electrical conductivity of CNT-polymer composites", Carbon, Articles, 2008.
[3] 8. Pushparaj VL, S.M., Kumar A, Murugesan S, Ci L, Vajtai R, et al. Flexible energy storage devices based on nanocomposite paper. Proc Natl Acad Sci USA, 2007.

[4] B. Zhao, B. L. Yadian, Z. J. Li, P. Liu and Y. F. Zhang, " Improvement on wettability between carbon nanotubes and Sn", 2009.
[5] H. G. Cho, S. W. Kim, H. J. Lim, C. H. Yun, H. S. Lee, C. R. Park, "A simple and highly effective process for the purification of single-walled carbon nanotubes synthesized with arc-discharge", Carbon, Vol 15, . 2009, pp. 3544-3549.
[6] C. M. Chen, M. Chen, Y. W. Peng, C. H. Lin, L. W. Chang, C. F. Chen, "microwave digestion and acid treatment procedures for the purification of multi-walled carbon nanotubes", Diamond and related materials, Vol. 3, 2005, pp. 798-803..
[7] L. A. Montoro, J. M. Rosolen, "A multi-step treatment to effective purification of single-walled carbon nanotubes", Carbon, Vol. 15,2006, pp. 3293-3301..
[8] F. Xin, L. Li, "Decoration of carbon nanotubes with silver nanoparticles for advanced CNT/polymer nanocomposites, Composites, Part A 42 (2011) 961-967, 2011.

[9] Yu KH, L.G., Bo Z, Mao S, Chen JH*., Carbon Nanotube with chemically-bonded graphene leaves for electronic and optoelectronic applications.* J. Phy. Chem. Lett*,* 2011.
[10] Sung-Kyoung Kim, H.L., *Fabrication of patterned single-walled carbon nanotube films using electrophoretic deposition.* Ultramicroscopy, 2008.
[11] X. Zhao, B.T.T.C., B. Ballesteros, W. Wang, C. Johnston, J.M. Sykes, P.S. Gant, Nanotechnology, 2009.
[12] Laxmidhar Besra, M.L., A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD). Progress in Materials Science 2007. 52 p. 1-61.
[13] Infrared irradiation controlled decoration of multiwalled carbon nanotubes with copper/copper oxide nanocrystals P. Martis, B.R. Venugopal, J.-F. Seffer, J. Delhalle, Z. Mekhalif
[14] Chiang IW, Brinson BE. Purification and characterization of single-wall carbon nanotubes (SWNTs) obtained from the gas-phase decomposition of CO (HiPcoprocess). J Phys Chem B 2001;105(35):8297–301.
[15] Chiang IW, Brinson BE. Purification and characterization of single-wall carbon nanotubes. J Phys Chem B 2001;105(6):1157–61.
[16] Ma PC, Kim JK, Tang BZ. Coating carbon nanotubes with silver nanoparticles to get conductive nanocomposites. In: Proceedings of on EMAP 2006 international conference. Kowloon, December; 2006. p. 1–4