

معرفی روش‌های اتصال مواد نانوساختار

میثم اکبری^۱، محمد مشهد گرme^۲

^۱ دانشکده معدن و متالورژی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران - تهران

^۲ گروه مکانیک - دانشگاه صنعتی اراک - اراک

چکیده

نانوذرات به‌خاطر ابعاد کوچک و نسبت سطح به حجم بالایشان دارای ویژگی گسترده و گوناگون فیزیکی، الکتریکی و شیمیایی هستند. این ویژگی باعث شده تا این مواد در گستره وسیعی از کاربردها از مهندسی پزشکی گرفته تا صنایع هوا - فضا و الکترونیک مورد استفاده قرار گیرند. در دستگاه‌های نانو قابل استفاده در صنایع الکترونیک، اتصال ذرات مورد استفاده مانند طلا بصورت متقارن فضایی از اهمیت زیادی برخوردار است. در سال‌های اخیر، تلاش‌های گسترده‌ای در سطح بین‌المللی برای بررسی آرایش نانو ذرات به‌عنوان کریستال‌های دوبعدی و سه بعدی در دستگاه‌های نانو انجام گرفته است که منجر به دستاوردهای خوبی در این زمینه شده است و از طرفی، در ساخت دستگاه‌های نانو ایجاد اتصالات داخلی برای برقراری اتصال اهمی اجزای شبکه اهمیت دارد. در این مقاله، تلاش شده تا به معرفی روش‌های متفاوت اتصال مواد نانوساختار برای اتصال نانو ذرات ذکر شده به‌خصوص طلا و پلاتین بپردازد.

واژگان کلیدی: نانو ذرات - جوشکاری-طلا-پلاتین

ایمیل نویسنده مسئول: iwe.akbari@gmail.com

۱- مقدمه

Brald Nelson و همکارانش در کشور سوئد پژوهشی بر یک روش جدید جوشکاری انجام داده اند. آنها توانستند در آزمایشگاه‌های شهر زوریخ کوچکترین قطعه ساخته شده توسط بشر تا زمان خویش را بسازند. آنها با استفاده از یک روش جدید جوشکاری که آن را جوشکاری نقطه ای رباتیک نام نهادند، توانستند عملیات جوشکاری را در مقیاس نانومتر انجام دهند. در این تحقیق بیان شده است که چگونه یک نانولوله کربنی با قطر پنج نانومتر درون یک مهار کننده نانورباتیک از مس پر شده و یک ولتاژ اندک برای ذوب مس به آن اعمال شده است. در این آزمایش پژوهشگران مهار کننده (یا دست رباتیک manipulator) را به گونه ای قرار دادند که فلز ذوب شده یک نانولوله کربنی را به یک نانولوله دیگر متصل سازد [۱].

Gordeev و همکارانش نیز بر یک روش دیگر نانو جوشکاری کار کردند. در این روش، به یک میکروسکوپ الکترونیکی نیاز است که برای بیشتر پژوهشگران در سطح جهان قابل دسترسی است.

درون میکروسکوپ پرتو الکترونیکی مقدار اندکی از اجزای پایه کربنی را به اطراف کربن‌های بی-شکل نمونه‌های تحت بررسی منتقل می‌کند. آنها معتقدند که این یک کاربرد جالب و جدید است که می‌توان از آن در جوشکاری‌ها در مقیاس نانو استفاده کرد [۲].

Kim Sj و Jang Dj بر روی جوشکاری نانو ذرات طلا به کمک لیزر (Laser - induced) پژوهشی را انجام داده‌اند. در این پژوهش، مشخص شد که از پالس‌های لیزر پیکوثانیه‌ای می‌توان در جوشکاری نانو ذرات طلا به شبکه‌های مسی که با کربن پوشش داده شده است، استفاده کرد. تصاویر میکروسکوپی و پروفایل‌هایی که از این پژوهش منتشر شده است به خوبی یک اتصال در نانوذرات طلا را به صورت تک فاز نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از این بررسی به خوبی نشان می‌دهد که جوشکاری نانویی در صورت وجود یک حالت برنامه‌ریزی شده و با در نظر گرفتن ترمودینامیک وابسته به اندازه، دینامیک و ویژگی سینتیک نانومواد فلزی، قابل دستیابی هست [۳].

گروهی از دانشمندان دانشگاه لوئیزیانا توانستند به وسیله جوشکاری پرتو الکترونی نانولوله‌های کربنی تک جداره را به هم اتصال دهند و یک

را در اندازه‌های کوچکتر و با عملکرد بهتر ساخت. این روش کاهش اندازه مدارها با استفاده از نانولوله‌ها یا نانومیله‌هاست که به هم جوش داده شده‌اند. مشکل این فرایند در آن است که استفاده از این روش مستلزم جوشکاری در دمای بالا و یا استفاده کردن از مخلوط فلزات است که در هر دو صورت عملکرد مدار تحت تاثیر قرار می‌گیرد و دچار مشکل می‌شود. این پژوهشگر یک فرایند نانوجوشکاری ابداع کرده است که در آن دمای جوشکاری به طور محسوسی کاهش یافته است. این پیشرفت این امکان را فراهم می‌کند که از فلزات خالص مثل مس به جای فلزات با نقطه ذوب پایین اما با اثرات منفی زیست محیطی استفاده کنیم [۵].

Yanoshangwei و همکارانش بر کاربرد نانومواد و فناوری نانو در زمینه جوشکاری مطالعاتی را انجام داده‌اند. آنها در مقاله‌ای با توجه به ویژگی ویژه نانومواد و فناوری نانو به بررسی تاثیر استفاده از آنها به ساختار جوش خورده، مواد سخت شده از جوشکاری، حفاظت جوشکاری، و دیگر جنبه‌های جوشکاری پرداخته‌اند. در این مقاله، به استفاده از نانومواد و فناوری نانو در مواردی مانند پوشش دادن سیم‌ها، جوشکاری لوله‌ها و مواد الکترودها اشاره شده است که به همان اندازه که ساختارهای غیریکواخت را بهبود می‌بخشد، مقاومت به حرارت را ارتقا می‌بخشد و خستگی و خوردگی تنش نقاط جوش داده شده را کاهش می‌دهد. همچنین، آنها سوالاتی در مورد مواد اولیه، هزینه‌ها و مکانیسم‌های واکنش مطرح می‌کنند و چشم‌انداز کاربرد نانومواد و فناوری نانو را در زمینه جوشکاری روشن و موفق پیش بینی می‌کند [۶].

پژوهشگری با نام Bo - lin Hi نیز مطالعاتی را در زمینه کاربردهای فناوری نانو در فناوری جوشکاری انجام داده است. همچنین، در آن کاربرد نانومواد و فناوری نانو در فرایندهای جوشکاری، بررسی ساختار جوش خورده و میدان اسپری حرارتی را مورد بررسی قرار داده و دورنمایی از کاربرد فناوری نانو و نانومواد در زمینه جوشکاری را بیان کرده است [۷].

اتصال مولکولی را بسازند. این نخستین بار است که ای کربنی تک جداره به هم متصل شده‌اند تا یک اتصال مولکولی تشکیل دهند. به طور معمول، لوله‌های متقاطع هرگز حتی اگر به طور مکانیکی در حضور پرتوهای الکترونی به هم پرس شوند به هم متصل نمی‌شوند. در این روش، یک نقص یا جای خالی (کمبود اتم کربن) در لوله‌ها ایجاد می‌شود که اتصال دو لوله را وقتی که عمود بر هم قرار دارند، تسهیل می‌کند. همچنین، این محققان، توانستند با حرارت دادن لوله‌های کربنی تا دمای ۸۰۰ درجه سانتی گراد یک اتصال مولکولی را به شکل X به وجود آورند. همچنین، آنها با استفاده از پرتو بیشتر توانستند اتصالات T و Y شکل را نیز بوجود آورند. اتصالات مولکولی نانولوله‌های تک جداره یک بخش کلیدی در ابزارهای الکترونیکی هستند که بر پایه نانولوله‌ها ساخته می‌شوند. برای مثال، یک ترمینال سه تایی اگر ویژگی شبه هادی لوله‌ها مناسب باشد، می‌تواند به صورت ترانزیستور عمل کند. همچنین، اتصال نانولوله‌ها با همدیگر برای توسعه نانوالکترون‌های مولکولی ضروری است. اکنون دانشمندان در تلاش اند تا پارامترهایی مثل دمای سیستم و انرژی الکترون را بهینه سازند. آنها کوشش می‌کنند تا این آزمایش‌ها را با قابلیت انتخاب بالاتر بین لوله انجام دهند. با این وجود آرایش کنترل شده لوله‌ها مثل تشکیل یک شبکه واقعی هنوز یک مشکل است که باید در حل آن کوشید [۴].

گروهی از پژوهشگران بر یک روش دیگر جوشکاری در مقیاس نانو کار کرده‌اند. آنها در این روش از جرقه‌های با دمای بالا با واکنش‌های شیمیایی، درون نانوحفره‌ها استفاده کرده‌اند. از این روش، می‌توان برای اتصال و جوشکاری اجزاء در مقیاس نانو استفاده کرد. پژوهشگران در این روش توانستند یک واکنش ترمیت با دمای بالا در یک فیلم از جنس آلومینیم با ضخامتی در حد نانومتر که حفرات آن با آهن اکسید پر شده است ایجاد کنند. این واکنش پیشتر در جوشکاری و آتش بازی مورد استفاده قرار گرفته است. از واکنش‌های ترمیت می‌توان برای جوش دادن ماشین‌های مولکولی استفاده کرد.

Ten Eyck از جمله افرادی است که در زمینه ساخت مدارهای الکترونیکی کوچک مشغول فعالیت است. او یک روش جدید ابداع کرده است که با به کارگیری آن می‌توان مدارهای الکترونیکی

۱-۱- نانوسیستم‌ها

در مطالعات اخیر، اثبات شده که نانوسیستم‌های نیم-رسانا اجزای بسیار مناسبی برای اتصال نانوسیستم-های الکترونیکی و نوری هستند. اجزاء برخی از این نانودستگاه‌ها مانند ترانزیستورهای متاثر از میدان، ترانزیستورهای دوقطبی، معکوس کننده‌ها، دیودهای ساطع کننده‌ی نور و حتی گیت‌های منطقی، به وسیله‌ی نانوسیم‌های نیم‌رسانا مونتاژ می‌شوند. روش‌های گوناگونی برای تولید نانوسیم‌ها استفاده شده است. این روش‌ها عموم بر اساس لیتوگرافی، تبخیر اتمی، رسوب فیزیکی بخار و یا شش اتمی فلز بر الگویی که بدین منظور بر زیر لایه سپاری و یا سیلیسیمی ایجاد شده، انجام می‌شود.

۲-۱- نانولوله‌های کربنی، تک دیواره و چند دیواره

هر دو نوع نانولوله‌های کربنی تک دیواره و چنددیواره به‌عنوان ماده تقویت کننده در نانوکامپوزیت‌ها قابل استفاده هستند. اما علاقه بیشتر به استفاده از نانولوله‌های تک دیواره به دلیل ویژگی‌های برتر مکانیکی و الکتریکی آن‌هاست. این در حالی است که نانولوله‌های چند دیواره به علت پیوندهای داخلی ضعیف تر، استحکام کمتری نسبت به تک دیواره‌ها دارند و کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. چگالی نانولوله‌های تک دیواره حدود $1/33 - 1/44 \text{ gr/cm}^3$ که نصف چگالی آلومینیم است. مدول الاستیک نانولوله‌های کربنی تک دیواره در حدود الماس و استحکام کششی آن‌ها خیلی بیشتر از فولادها است. همچنین، قابلیت خم شدن و تغییر شکل آن‌ها بالا است به طوری که تحت زوایای متفاوت بدون ایجاد شکست خم می‌شوند.

قابلیت انتقال جریان الکتریکی این مواد 10^4 amp/cm^2 است. درحالی‌که، این مقدار برای مس حدود 10^6 amp/cm^2 است.

۳-۱- نانوکامپوزیت $\text{Cu/Al}_2\text{O}_3$

برای تولید این نوع نانوکامپوزیت ابتدا ذرات Al و Cu با آسیاب گلوله ای آسیاب شده و در نهایت پودر آلیاژی Al-Cu تولید می‌شود. سپس، برای استحکام بخشی به این ساختار، پودر CuO افزوده و مخلوط حاصل دوباره آسیاب می‌شود. ادامه آسیاب منجر به ایجاد محلول جامد Al-Cu می‌شود. CuO با این محلول جامد واکنش داده و ذرات Al_2O_3 با

اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر در زمینه مسی تولید می‌شوند. این نانوکامپوزیت دو ویژگی عمده دارد یکی استحکام بالا و دیگری هدایت الکتریکی بالا که برای استفاده در ساخت الکترودها و اتصالات الکتریکی می‌توان از آن استفاده کرد. نانوکامپوزیت‌های زمینه بین فلزی به دلیل کاربرد گسترده‌شان در محیط‌های با دمای بالا، مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. در این بین ترکیب NiAl یکی از مهمترین ترکیبات بین فلزی محسوب می‌شود. این ترکیب دمای ذوبی بالا در حدود 645°C درجه سانتی‌گراد و چگالی پایین در حدود 6.5 gr/cm^3 دارد. همچنین، مقاومت در برابر اکسایش بالا هدایت حرارتی عالی، قابلیت کارپذیری بالا و هدایت الکتریکی بالا از دیگر ویژگی این ترکیب بین فلزی هستند. از آن جمله محدودیت‌های این ترکیب برای استفاده در دمای بالا، مقاومت خزشی پایین آن است. در سال‌های اخیر پژوهشی برای بهبود رفتار خزشی این ترکیب انجام گرفته است. از مهمترین پیشنهاداتی که در این زمینه آورده شده است، استفاده از یک فاز ثانویه مانند SiC ، TiC برای تولید کامپوزیت NiAl است. بدین منظور برای تولید این نانوکامپوزیت از آسیاب گلوله‌ای استفاده می‌شود. به عنوان مثال، برای تولید نانوکامپوزیت NiAl/TiC ، پودر عناصر Ti, C, Al, Ni را درون دستگاه آسیاب قرار می‌دهند. پس از انجام آسیاب کاری و نیز واکنش‌های لازم، ذرات TiC در زمینه نانو ساختاری NiAl قرار می‌گیرند.

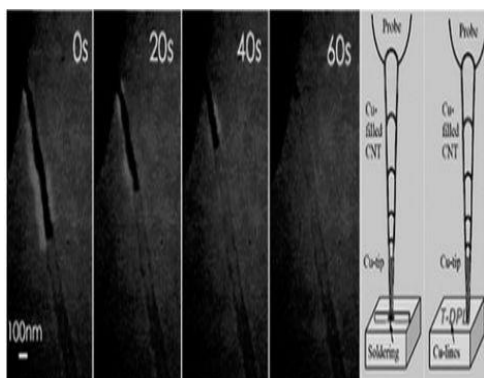
۲-۲- روش های اتصال مواد نانو ساختار

۱-۲- الکترودهای جوش کاری دما پایین

الکترودهای مبتنی بر فناوری نانو، که دارای دمای کاری بسیار پایینی نسبت به الکترودهای جوشکاری موجود هستند، در ازای حرارت اندک، اتحاد مولکولی مستحکمی را بین مولکول‌های دو قطعه فلز ایجاد می‌کند و عملکردی شبیه چسب‌های حرارتی معمولی خواهند داشت. این الکترودها تاثیر شگرفی بر فناوری جوشکاری به خصوص جوشکاری آلومینیم خواهند داشت چون انحنای بسیار ناچیزی را در فلزات ایجاد می‌کند. کاربرد و حجم زیاد جوشکاری در صنایع دریایی می‌تواند

۲-۲-۱-۲-۲ جوشکاری نقطه ای

جوشکاری نقطه ای را می توان برای اتصال هسته داخلی یک نانوتیوب چند لایه به یک پروب به وسیله پالس جریان الکتریکی کوتاه و کنترل شده به کار برد. (شکل ۲) اگرچه اطلاع دقیق و درستی از ماهیت و سازوکار این نوع اتصال جوش نقطه ای وجود ندارد، به نظر می رسد که اتصال حاصل، ناشی از اتصال کربن-کربن بین CNT و نوک ابزار باشد. همانطور که مشخص است این روش جوشکاری احتیاج به وجود تماس الکتریکی بین دو ماده رسانا دارد. روش مشابهی برای اتصال $MMWCNT^5$ به نوک پروب AFM استفاده می شود. در این روش یک جریان الکتریکی بالا از نوک الکتروود که به عنوان مقاومت عمل می کند، عبور خواهد کرد که دمای زیادی تولید می شود. به نظر می رسد که این دمای بالا، باعث شکل گیری کاربید در محل تماس می شود. همچنین، CNT به صورت جزیی در فصل مشترک اتصال جدا شده و دوباره به صورت کربن بی شکل رسوب می کند.



شکل ۲ جوشکاری نقطه ای

۳-۲-۱-۲-۳ جوش کاری به روش لیزر

ب عنوان یکی دیگر از روشهای اتصال، از پالس لیزر در چند پیکوثانیه برای جوشکاری نانوذرات طلا به شبکه های مسی پوشش شده با کربن استفاده شده است.

۴-۲-۱-۲-۴ جوش کاری اولتراسونیک

از فرایند جوشکاری اولتراسونیک نیز برای اتصال CNT ها به الکترودهای فلزی میکرومتری استفاده شده است. مبانی این روش کامل مشابه روش جوشکاری اولتراسونیک متعارف است. در واقع در طول جوشکاری اولتراسونیک در مقیاس نانو، انرژی اولتراسونیک با فرکانس بالا، فلز را نرم

عاملی برای تاثیر فوق العاده فناوری نانو در این زمینه باشد [۸].

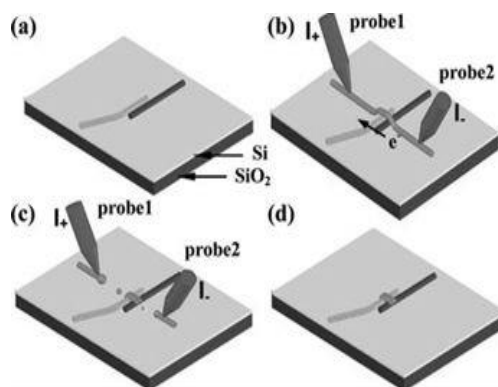
۲-۲ جوشکاری در مقیاس نانومتری

گسترش سریع علم و فناوری بر پایه نانوتیوبهای کربن CNT بحث و بررسی ویژگی و کاربرد نانوساختارهای کربنی جدید را مورد توجه پژوهشگران قرار داده است. نانوتیوبهای کربنی با اتصال Y شکل به عنوان یک نانوساختار Multi-terminal قابل کاربرد در دستگاههای در مقیاس نانو مانند اجزای تقویت کننده الکترونیکی، مجاری تونلی شکل و تقویت کننده در نانوکامپوزیتها، توجه بسیاری را به خود جلب کرده اند. در جوشکاری CNT ها به یکدیگر یکی از روشهای ساخت این نانوساختارهای Multi Terminal است. افزون بر این اتصال Tip میکروسکوپهای AFM و یا اتصالات Gate به الکترودها در Field Effect Transistor ها از موارد دیگر کاربرد جوشکاری در مقیاس نانومتری هستند.

۲-۲-۱-۲-۲ روش های جوشکاری نانومتری

۱-۲-۲-۲-۱ جوشکاری پرتو الکترونی

جوشکاری نانوتیوبها را می توان از طریق پرتو الکترونی (شکل ۱) در دمای بالا انجام داد. در این روش هیچ ماده اضافی رسوب داده نمی شود. در واقع ضربه الکترونها به اتمها، ایجاد نقایص شبکه و تشویق آنها به یک آرایش مجدد منجر به ائتلاف تیوبها در یک اتصال مولکولی می شوند. شبیه سازی دینامیکی مولکولی MDS^4 را می توان برای درک سازوکار شکل گیری اتصالات مولکولی انجام داد. این روش جوشکاری را می توان با پرتوهای یونی نیز انجام داد.



شکل ۱ نحوه جوشکاری پرتو الکترونی

۵- اتصال شیمیایی

در پژوهشی، با استفاده از Di-this's، نانوذرات طلا به صورت شیمیایی به یکدیگر متصل شده‌اند. Di-this's مولکولهای آلی با گروه‌های پایانی سولفوری هستند که به صورت self-assembly به نانوذرات طلا متصل شده و نقش چسب شیمیایی را ایفا می‌کند. این روش اتصال به دو صورت می‌تواند انجام شود. در روش اول، ذرات در محل‌های مناسب قرار گرفته و سپس در محلول Di-this's غوطه‌ور می‌شوند تا به یکدیگر متصل گردند. در روش دوم، ابتدا Di-this's به ذرات متصل شده، سپس ذرات در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند تا به هم اتصال پیدا کنند. گروهی از پژوهشگران، MWCNTها را به صورت end-to-end به یکدیگر متصل کرده‌اند. پژوهشگران معتقدند که نیروی اتصال بیشتر ناشی از باند شیمیایی (مانند کووالانسی) بین اتمهای کربن است و ناشی از نیروهای ضعیفتر مانند نیروهای واندروالس نیست.

۶- نتیجه‌گیری

ویژگی گسترده و گوناگون نانوذرات باعث شده تا این مواد در گستره وسیعی از کاربردها صنعتی و پزشکی مورد استفاده قرار گیرند. در دستگاه‌های نانو قابل استفاده در صنایع الکترونیک، اتصال ذرات مورد استفاده مانند طلا به صورت متقارن فضایی از اهمیت زیادی برخوردار است. در سال‌های اخیر، باتوجه به تلاش‌های گسترده انجام شده برای بررسی آرایش نانوذرات به عنوان کریستال‌های دوبعدی و سه بعدی در دستگاه‌های نانو در ساخت دستگاه‌های نانو ایجاد اتصالات داخلی برای برقراری اتصال اهمی اجزای شبکه دارای اهمیت فراوان بوده است.

بدین منظور، از روش‌های جوشکاری و لحیم‌کاری در مقیاس نانو بهره برده و می‌توان به دلیل اتصال نانوذرات به خصوص طلا و پلاتین از لیزر، و نیز پالس لیزر در چند پیکوثانیه برای جوشکاری نانوذرات طلا به شبکه‌های مسی پوشش شده با کربن استفاده کرد.

می‌کند و شرایط تغییر فرم پلاستیک آن را تحت تنش فراهم می‌آورد. با به وجود آمدن این شرایط CNTها امکان ورود و جوش خوردن به الکتروود فلزی را پیدا می‌کنند.

۳-۲- لحیم‌کاری نانومتری

۱-۳-۲- لحیم‌کاری نرم نانومتری (EBID³)

این روش لحیم‌کاری نرم می‌تواند به جهت اتصال مواد نانوساختار مورد استفاده قرار گیرد. در این روش، پس از برخورد پرتو الکترونی در یک میکروسکوپ الکترونی با سطح ذرات، الکترونهای برگشتی از سطح (BSC) باعث تبدیل آلودگی‌های کربنی به کربن بی‌شکل و نشست آن بر سطح می‌شود. با چرخش نمونه، می‌توان اتصال را در همه جای نمونه کامل کرد. این روش برای تولید چاقوهای جراحی در مقیاس نانو به کار رفته است. روش EBID برای اتصال ناتیوبهای کربنی به پروب SPM، اتصال ناتیوبهای کربنی به یکدیگر و اتصال ناتیوب‌های کربنی به میکروالکترودها استفاده می‌شود. اتصالات لحیم نرم شده از لحاظ مکانیکی قویتر از خود CNTها هستند.

۲-۳-۲- لحیم‌کاری سخت نانومتری

در این روش، مس در داخل CNTها پر شده و سپس به روش Self-Assembly و یا اعمال میدان الکتریکی، CNTها در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند. در مرحله بعدی توسط یک دست رباتیک یک ولتاژ کوچک به CNTها اعمال شده تا مس داخل CNTها ذوب شده و آنها به هم متصل شوند.

۳- چسب

در این روش، برای اتصال CNTها به نوک AFM از یک چسب سخت شونده با امواج فرابنفش استفاده می‌شود.

۴- تف جوشی

فرایند تفجوشی برای اتصال نانوذرات لاستیکی مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش، ذرات ابتدا در یک محل مناسب، نزدیک یکدیگر و بر یک زیر لایه قرار گرفته و سپس، حرارت داده شده تا ذوب شده و به یک نانوساختار یکپارچه تبدیل شوند.



۷- منابع

- [1] Brad Nelson, Lixin Dong , Li Zhang , Xinyong Tao and Xiabin Zhang , Nano-welds herald new era of electronics URL: www.newscientisttech.com/article/dn10824-first-nanowelds-herald-new-era-of-electronics.html
- [2] Gordeev, Nano-welds herald new era of electronics, New Scientist magazine, 2577,6, (2006).
- [3] Seol Ji Kim and Du-Jeon Jang , Laser-induced nanowelding of gold nanoparticles, Applied Physics Letters , 86 (3) , 215-230,(2005).
- [4] Electron beams fuse carbon nanotubes URL: www.nanotechweb.org , (2018).
- [5] Gregory Ten Eyck , Bonded with Cunanorods URL: www.tenEyck.Com, (2017).
- [6] Xiaojie Duan, Jin Zhang, Xing Ling, and Zhongfan Liu, Nano-Welding by Scanning Probe Microscope, J. Am. Chem. Soc. , 127 (23) , 8268 -8269, (2005).
- [7] 1021 10. Yao, Shangwei, Hanjie Xuebao, Application of nanotechnology in welding technology, Transactions of the China Welding Institution, 28(3), 109-112, (2007).
- [8] Bo-Lin He, Nanomaterials and Welding Technology, Mechanical Engineering Materials, 7 (28),48-50,(2004).