

## فصل: نانومواد

### بخش ۳: فلزات با ساختار نانو

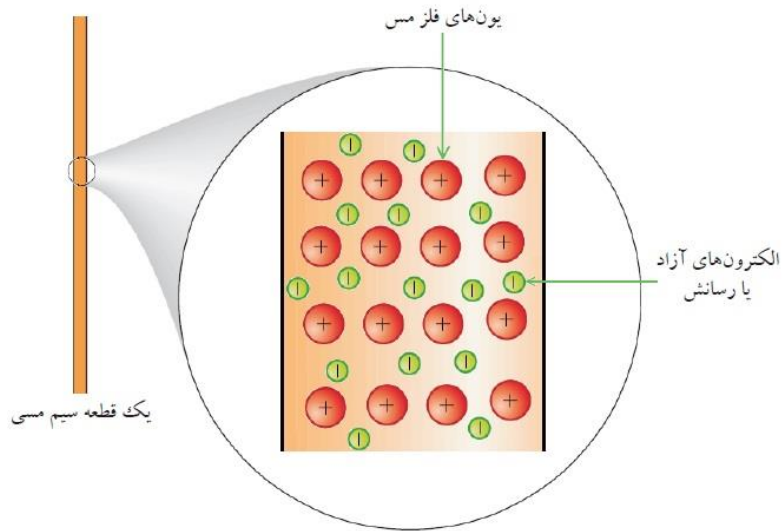
نویسنده: محمد فرهادپور

#### مقدمه

نانوساختارها می‌توانند از دسته‌های مختلف مواد باشند. مثل سرامیک‌ها، فلزات، کامپوزیت‌ها و پلیمرها. در این بخش به نانوساختارهایی که فلزی هستند می‌پردازیم. در ابتدا نیاز است تا با فلزات، خواص و ویژگی‌های مهم آنها آشنا شویم.

#### ۱- فلز چیست؟

فلزات یکی از چهار دسته مواد هستند که دارای ویژگی‌های صیقل پذیری، شکل‌پذیری، رسانایی خوب الکتریسیته و حرارت هستند. با توجه به نوع فلز، خواص مکانیکی آن می‌تواند بسیار متفاوت باشد، مثلا نرم باشد یا بسیار سخت باشد. بسیاری از موادی که اطراف خود می‌بینیم از جنس فلز یا آلیاژهای فلزی هستند، مثل آهن، مس، آلومینیوم، برنز، برنج، نیکل، تیتانیوم و ... . اختلاف عمده فلزات با دیگر جامدات و مایعات، قابلیت رسانایی الکتریکی و حرارتی بالای آنهاست. علت این امر وجود دریای الکترون آزاد مشابه شکل ۱ در ساختار این مواد است.



شکل ۱: نمایش دریای الکترون آزاد در یک سیم مسی

از ویژگی‌های فلزات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- صیقلی و براق بودن
- رسانایی بالای الکتریکی و حرارتی
- شکل‌پذیری خوب
- عموماً خواص مکانیکی خوبی دارند
- بعضی از آنها مثل آهن قابلیت خوردگی دارند، یعنی در صورت قرارگیری در محیط خورنده مثل محیط مرطوب به اکسید فلز تشکیل می‌دهند و فلز از بین می‌رود.

فلزات را می‌توان با معیارهای متفاوتی دسته‌بندی کرد. با توجه به کاربرد فوق‌العاده زیاد آهن و آلیاژهای آن، یکی از دسته‌بندی‌های مرسوم بر اساس آهنی یا آهنی نبودن آنهاست که به صورت زیر می‌باشد:

- فلزات و آلیاژهای آهنی

- فولادها

- فولادهای ساده کربنی

- فولادهای آلیاژی

- چدن‌ها

- چدن سفید

- چدن خاکستری

- چدن چکش‌خوار

- فلزات و آلیاژهای غیرآهنی

- فلزات و آلیاژهای مس

- فلزات و آلیاژهای آلومینیوم

- فلزات و آلیاژهای سایر فلزات (نیکل، تیتانیوم، منیزیم و...)

در تقسیم‌بندی بالا یک ملاک عمومی برای آلیاژهای آهنی، درصد کربن موجود در آلیاژ آهنی است که مقادیر حدوداً بیشتر از ۲ درصد کربن را چدن و آلیاژ آهنی با مقادیر کمتر از ۲ درصد کربن را فولاد می‌نامند. البته این تقسیم‌بندی به صورت دقیق‌تر طبق ریزساختار آنهاست ولی ملاک فوق ساده‌تر و عمومی‌تر است. هر کدام از دسته‌های فوق نیز به زیردسته‌های دیگری تقسیم می‌شود که صرفاً نام آنها آورده شده است.

## ۲- فلزات با ساختار نانو

منظور از فلزات با ساختار نانو، نانومواد صفر، یک، دو و سه بعدی از جنس فلزی است. هرکدام از این ساختارها دارای ویژگی خاصی است که نسبت به بالک آن متفاوت و یا بارزتر است. برای مثال در مورد نقره می‌توان گفت که از دیرباز مردم دریافته بودند که قرار دادن نقره بر روی زخم می‌تواند از عفونت آن جلوگیری کند و عملاً نقره خاصیت آنتی‌باکتریالی دارد. اما کنون با سنتز نانوذرات نقره که نسبت به نقره بالک نسبت سطح به حجم بسیار بالاتری دارد، مشاهده می‌شود که اثر آنتی‌باکتریالی آن بسیار قوی‌تر شده است و بروز بیشتری دارد.

در ادامه با تقسیم‌بندی نانومواد فلزی با توجه به چندبعدی بودن آنها، بعضی از مهمترین مثال‌های آنها بیان شده است. قابل ذکر است که به دلیل احتمال اکسید شدن بسیاری از فلزات و ایجاد ترکیب غیرفلزی، بیشتر مثال‌هایی که در ادامه آورده می‌شود از فلزات خنثی است.

### ۲-۱- فلزات نانویی سه بعدی

نانوکامپوزیت‌های زمینه فلزی یکی از پرستفاده‌ترین شاخه‌های این مجموعه هستند. معمولاً فلزاتی که از آنها برای نانوکامپوزیت‌سازی استفاده می‌شود فلزات سبک مثل آلومینیوم، تیتانیوم و منیزیم هستند. دلیل این امر هم این است که این فلزات وزن سبکی دارند که از آنها گزینه ایده‌آلی برای خیلی از کاربردها مثل هواپیما و خودرو می‌سازد. اما از طرفی این فلزات سبک خواص مکانیکی قابل قبولی ندارند و نیاز دارند با مکانیزمی استحکام مکانیکی آنها بهبود یابد. استفاده از تقویت‌کننده‌های نانویی یکی از این راهکارهاست. بدین منظور می‌توان از تقویت‌کننده‌های فلزی و یا سرامیکی (به ویژه نانو ساختارهای کربنی) استفاده نمود.

دسته دیگری از فلزات نانویی سه بعدی به فلزاتی اطلاق می‌شود که دانه‌های نانومتری دارند. مطابق رابطه هال‌پچ (رابطه ۱) مشاهده می‌شود که کوچکتر کردن دانه‌ها به افزایش استحکام تسلیم فلز می‌انجامد چراکه کوچکتر شدن دانه‌ها به بیشتر شدن مرزدانه‌ها و جلوگیری از تغییر شکل پلاستیک (در اثر حرکت نابجایی‌ها) می‌انجامد.

$$\sigma_{yp} = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

رابطه ۱: معادله هال پیچ

در این رابطه،  $d$  اندازه دانه است.  $\sigma_{yp}$  استحکام تسلیم و دیگر پارامترها ثابت هستند. علاوه بر افزایش تنش تسلیم در اثر ریزدانه شدن، انعطاف پذیری نیز افزایش می‌یابد. معمولا در فلزات عواملی که باعث افزایش استحکام تسلیم می‌شوند، انعطاف پذیری را کاهش می‌دهند ولی ریزدانه شدن هم استحکام تسلیم را افزایش می‌دهد و هم انعطاف-پذیری را و در نتیجه بهبود قابل‌وجهی در کارایی فلز مورد استفاده ایجاد می‌کند. معمولا جهت ریزدانه کردن فلز از روش‌های تغییر شکل پلاستیک شدید استفاده می‌شود.

## ۲-۲- فلزات نانویی دو بعدی

یکی از کاربردهای مربوط به نانوپوشش‌های فلزی که احتمالا با آن آشنا هستید مربوط به روش کندوپاش است. در این روش معمولا فلزات خنثی مثل طلا و نقره بر روی سطح مواد دیگر پوشش‌دهی می‌شود. یکی از مواقعی که از این روش استفاده می‌شود مربوط به آماده‌سازی نمونه SEM است. همچنین توسط روش کندوپاش و یا سایر روش‌های پوشش‌دهی فاز بخار، از فلزات زینتی مانند طلا و نقره برای پوشش‌دهی اجسام زینتی، لوازم منزل و شیرآلات می‌شود استفاده نمود که روزه‌روز در حال گسترش هستند.

## ۲-۳- فلزات نانویی یک بعدی

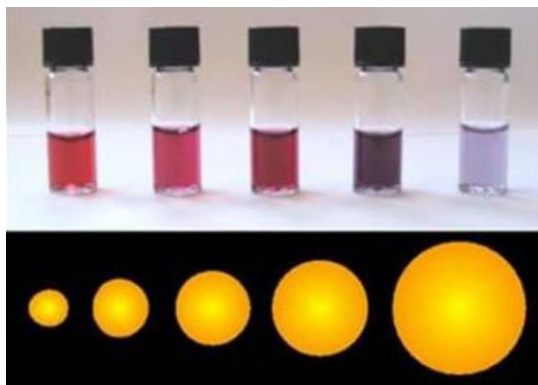
از نانوسیم‌های پلاتینی به صورت گسترده در فعالیت‌های کاتالیستی استفاده می‌شود. برای مثال، خاصیت کاتالیستی آنها برای اکسید کردن اتانول در پیل‌های سوختی که اتانول مستقیما به آنها وارد می‌شود، مورد استفاده است.

همچنین می‌توان از نانوسیم‌های مس برای خاصیت سنسوری نام برد. از الکترودهای نانوسیم‌های مسی می‌توان برای مثال جهت سنسور نیترات‌ها استفاده نمود. برای ساخت آنها می‌توان از روش رسوب‌دهی الکتروشیمیایی (سنتز در قالب) استفاده کرد.

همچنین می‌توان از نانوسیم‌های طلا جهت بایوسنسورهای گلوکز استفاده نمود. با توجه به نسبت سطح به حجم بالا در این سنسورها، قدرت تشخیص آنها در مقادیر کم گلوکز نیز بسیار بالاست.

## ۴-۲- فلزات نانویی صفر بعدی

یکی از کاربردهای نانوذرات فلزی برای عناصری مثل نقره و به ویژه طلا، خاصیت نوری آنها ناشی از تشدید پلاسمون سطحی است. در صورت سنتز نانوذرات فلزی مثل طلا در ابعاد حدودی ۱-۲۰ نانومتر شاهد خواص نوری جالبی از آنها هستیم که با کوچکتر شدن سایز آنها، رنگ آنها از آبی به سمت قرمز تغییر می‌کند (درست برعکس کوانتوم‌دات‌ها). این مورد در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: تغییر رنگ کلویید نانوذرات طلا با تغییر ابعاد آن

این اتفاق به دلیل خاصیت تشدید پلاسمون سطحی نانوذرات فلزی در طول موج‌های مختلف نور تابشی (که اندازه نانوذرات آن را تعیین می‌کند) رخ می‌دهد. در واقع نوسان جمعی الکترون‌های آزاد در سطح و تابش پرتو الکترومغناطیسی که طول موج آن با طول موج نوسان یکی باشد باعث تشدید در نوسان (تشدید پلاسمونیک

سطحی) می‌شود. رنگ دیده شده در این حالت نیز بر این اساس است که طول موج‌هایی که در اثر این تشدید جذب نشده اند و بازتاب شده اند به چشم می‌رسد و نانوذره به آن رنگ دیده می‌شود. البته استفاده از کوانتوم-دات‌های فلزی نیز برای خاصیت نوری آنها می‌تواند کاربرد داشته باشد که به علت نیازمندی به ابعاد خیلی ریز (کمتر از ۱ نانومتر) جهت گسستگی ترازهای انرژی در فلزات معمول نیست. این نانوذرات در شناسایی و از بین بردن سلول‌های سرطانی کاربرد فراوانی دارند.

یکی دیگر از نانوذرات فلزی که بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد، نانوذرات نقره است که به دلیل خاصیت آنتی-باکتریالی بسیار قوی‌اش مورد توجه قرار گرفته است. نکته‌ای که در این زمینه باید رعایت شود، بحث ایمنی این نانوذرات است. چراکه این نانوذرات برای بدن انسان و سایر موجودات زنده مضر است و می‌تواند باعث آسیب به سلول‌ها شود و نیاز است تا با توجه به کاربرد، تدابیر لازم در استفاده از آنها اندیشیده شود. همین امر استفاده از آنها را در بسیاری از کاربردها محدود ساخته است.

قابل ذکر است که مثال‌های گفته شده در بالا تنها چند مثال از هر دسته است و فلزات بیان شده در هر بخش و یا شکل گفته شده برای آنها، تنها گزینه‌های موجود برای موارد مذکور نیست.

## منابع

- [1]. Callister, William D., and David G. Rethwisch. *Materials science and engineering: an introduction*. Vol. 7. New York: John Wiley & Sons, 2007.
- [2]. Wang, Qingping, Fanfei Min, and Jinbo Zhu. "Preparation of gold nanowires and its application in glucose biosensing." *Materials Letters* 91 (2013): 9-11.
- [3]. Zhang, Xinyi, et al. "Porous platinum nanowire arrays for direct ethanol fuel cell applications." *Chemical Communications* 2 (2009): 195-197.