کارگاه

آشنایی با فناوری نانو

مدرس: دکتر فهیمه عابدینی

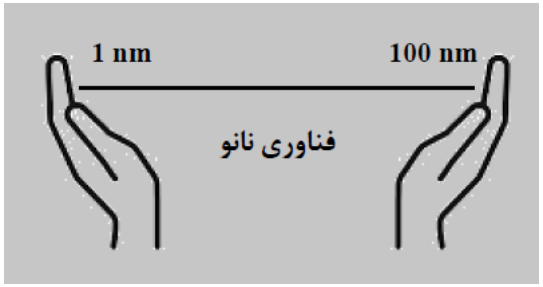
عناوین ارائه شده

- **مفاهیم پایه و نانوساختارها**
  نانو چیست؟
  - قدمت کاربرد نانو در گذشته
  - پدیده‌های نانومقیاس در طبیعت
- **علت تغییر خواص در مقیاس نانو**
  اثرات سطحی
  اثرات کوانتومی
- **دسته‌بندی نانومواد**
  نانومواد صفربعدی
  نانومواد یکبعدی
  نانومواد دوبعدی
  نانومواد سه‌بعدی

- **روشهای ساخت و سنتز نانومواد**
- روشهای بالا به پایین
  - آسیاکاری مکانیکی
  - لیتوگرافی
  - الکتروریسی
- روش‌های پایین به بالا
  - روشهای سنتز شیمیایی
    سل-ژل
    رسوب گذاری شیمیایی
    روش همرسوبی
    فرآیند هیدروترمال و سولوترمال
    روشهای سونوشیمیایی
  - روش‌های میکروامولسیون و مایسل معکوس
  - رسوب دهی فیزیکی از فاز بخار
  - رسوب دهی شیمیایی از فاز بخار

نانو چیست؟

پیشوند	نماد	
گیگا	G	1 000 000 000
مگا	M	1 000 000
کیلو	k	1 000
هکتو	h	100
دکا	da	10
دسی	d	0.1
سانتی	c	0.01
میلی	m	0.001
میکرو	µ	0.000 001
نانو	n	0.000 000 001
پیکو	p	0.000 000 000 001
فمتو	f	0.000 000 000 000 001
آتو	a	0.000 000 000 000 000 001
زپتو	z	0.000 000 000 000 000 000 001



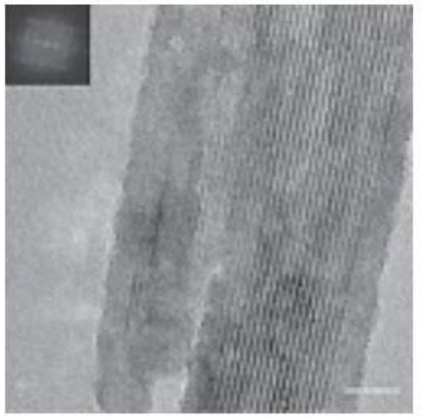
قدمت کاربرد نانو در گذشته

- ✓ جام لیکورگوس (Lycurgus Cup)

Activate Win

قدمت کاربرد نانو در گذشته

- ✓ شمشیر دمشقی



دانش نانو

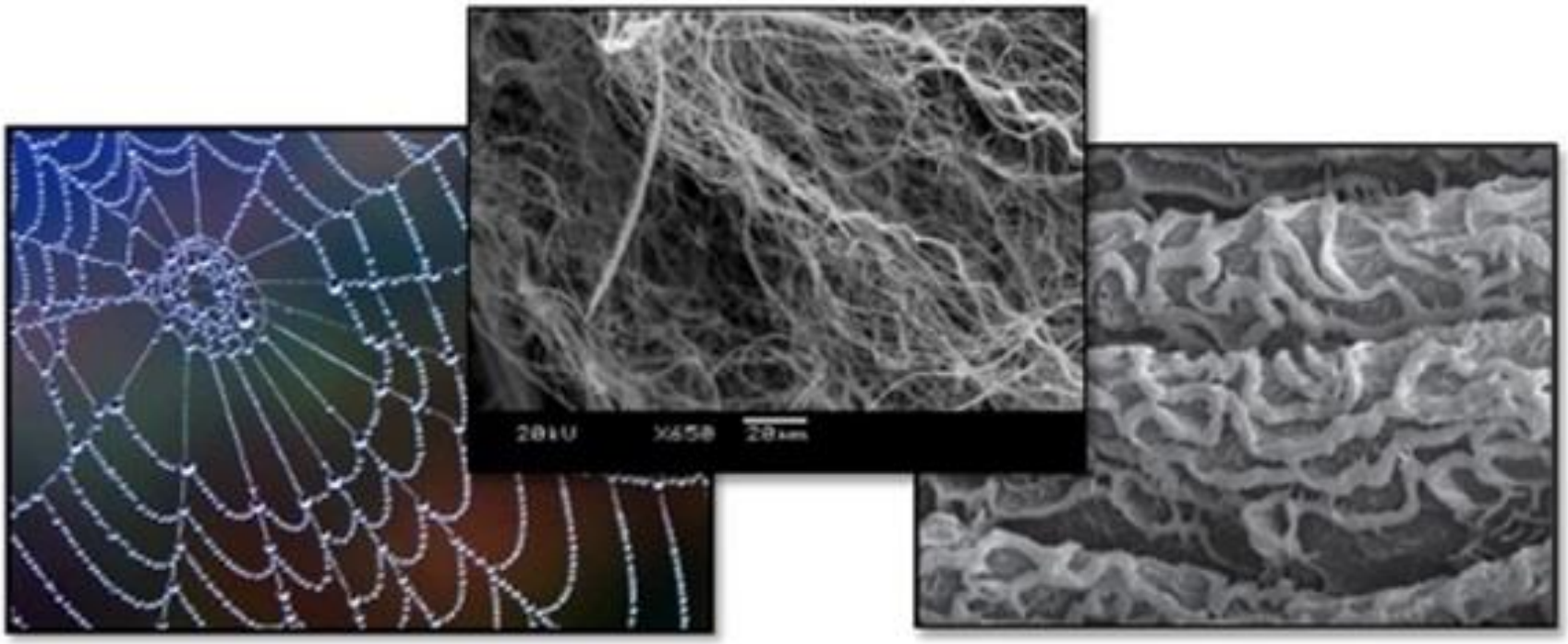
- ✓ فرموله کردن پدیده‌هایی است که در طبیعت رخ می‌دهند

پدیده‌های نانو مقیاس در طبیعت

پای مارمولک

پدیده‌های نانو مقیاس در طبیعت

تار عنکبوت

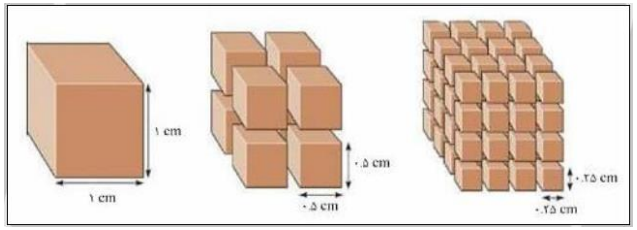


دلایل تغییر خواص مواد در ابعاد نانو

۱- اثرات سطحی

۲- اثرات کوانتومی

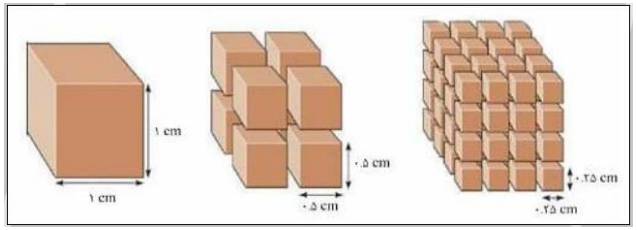
علت تغییر خواص در مقیاس نانو



۱- اثرات سطحی

سطح خارجی (متر مربع)	ابعاد	تعداد قطعه	دفعات تقسیم
۰,۰۰۰۶	۰,۰۱ متر	۱	۰
۰,۰۰۱۲	۰,۰۰۵ متر	۸	۱
۰,۰۰۲۴	۰,۰۰۲۵ متر	۶۴	۲
۰,۰۰۴۸	۰,۰۰۱۲۵ متر	۵۱۲	۳
۰,۰۰۹۶	۰,۰۰۰۶۲۵ متر	۴۰۹۶	۴
۰,۰۱۹۲	۰,۰۰۰۳۱۲۵ متر	۳۲۷۶۸	۵
۰,۰۳۸۴	۰,۰۰۰۱۵۶۲۵ متر	۲۶۲۱۴۴	۶
۰,۰۷۶۸	۰,۰۰۰۰۷۸۱۲۵ متر	۲۰۹۷۱۵۲	۷
۰,۱۵۳۶	۳۹,۰۶۲۵ میکرومتر	۱۶۷۷۷۲۱۶	۸
۰,۳۰۷۲	۱۹,۵۳۱۳ میکرومتر	۱۳۴۲۱۷۷۲۸	۹
۰,۶۱۴۴	۹,۷۶۵۶۳ میکرومتر	۱۰۷۳۷۴۱۸۲۴	۱۰

علت تغییر خواص در مقیاس نانو

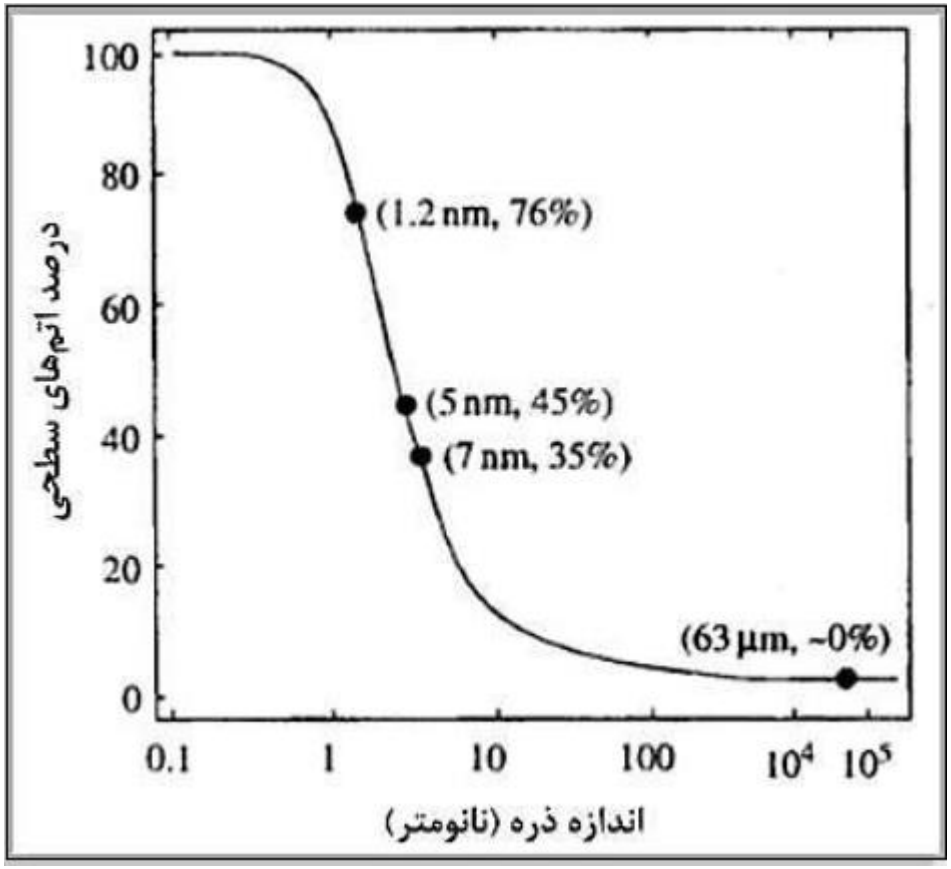


۱- اثرات سطحی

سطح خارجی (متر مربع)	ابعاد	تعداد قطعه	دفعات تقسیم
۱,۲۲۸۸	۴,۸۸۲۸۱ میکرومتر	۸۵۸۹۹۳۴۵۹۲	۱۱
۲,۴۵۷۶	۲,۴۴۱۴۱ میکرومتر	۶۸۷۱۹۴۷۶۷۳۶	۱۲
۴,۹۱۵۲	۱,۲۲۰۷ میکرومتر	$۵,۴۹۷۵۶*۱۰^{۱۱}$	۱۳
۹,۸۳۰۴	۰,۶۱۰۳۵۲ میکرومتر	$۴,۳۹۸۰۵*۱۰^{۱۲}$	۱۴
۱۹,۶۶۰۸	۰,۳۰۵۱۷۶ میکرومتر	$۳,۵۱۸۴۴*۱۰^{۱۳}$	۱۵
۳۹,۳۲۱۶	۰,۱۵۲۵۸۸ میکرومتر	$۲,۸۱۴۷۵*۱۰^{۱۴}$	۱۶
۷۸,۶۴۳۲	۷۶,۲۹۳۹ نانومتر	$۲,۲۵۱۸*۱۰^{۱۵}$	۱۷
۱۵۷,۲۸۶۴	۳۸,۱۴۷ نانومتر	$۱,۸۰۱۴۴*۱۰^{۱۶}$	۱۸
۳۱۴,۵۷۲۸	۱۹,۰۷۳۵ نانومتر	$۱,۴۴۱۱۵*۱۰^{۱۷}$	۱۹
۶۲۹,۱۴۵۶	۹,۵۳۶۷۴ نانومتر	$۱,۱۵۲۹۲*۱۰^{۱۸}$	۲۰
۱۲۵۸,۲۹۱۲	۴,۷۶۸۳۷ نانومتر	$۹,۲۲۳۳۷*۱۰^{۱۸}$	۲۱
۲۵۱۶,۵۸۲۴	۲,۳۸۴۱۹ نانومتر	$۷,۳۷۸۷*۱۰^{۱۹}$	۲۲
۵۰۳۳,۱۶۴۸	۱,۱۹۲۰۹ نانومتر	$۵,۹۰۲۹۶*۱۰^{۲۰}$	۲۳

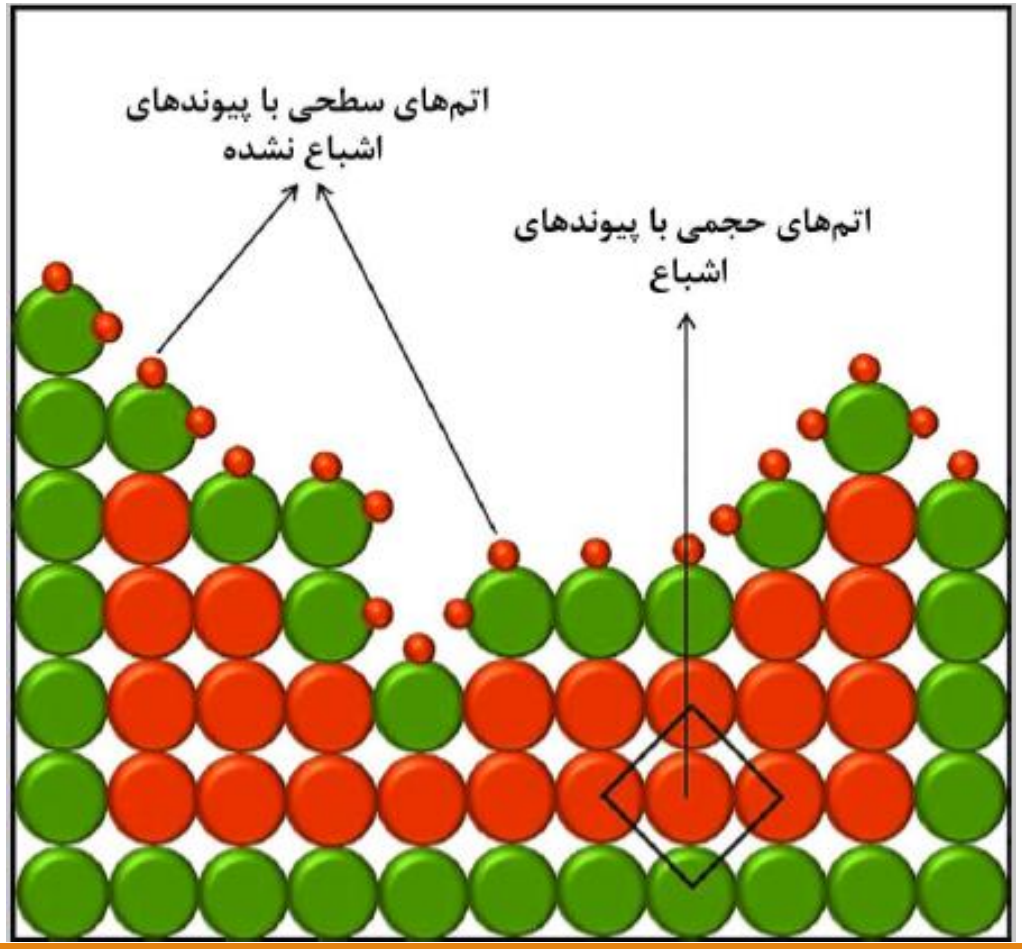
علت تغییر خواص در مقیاس نانو

۱- اثرات سطحی



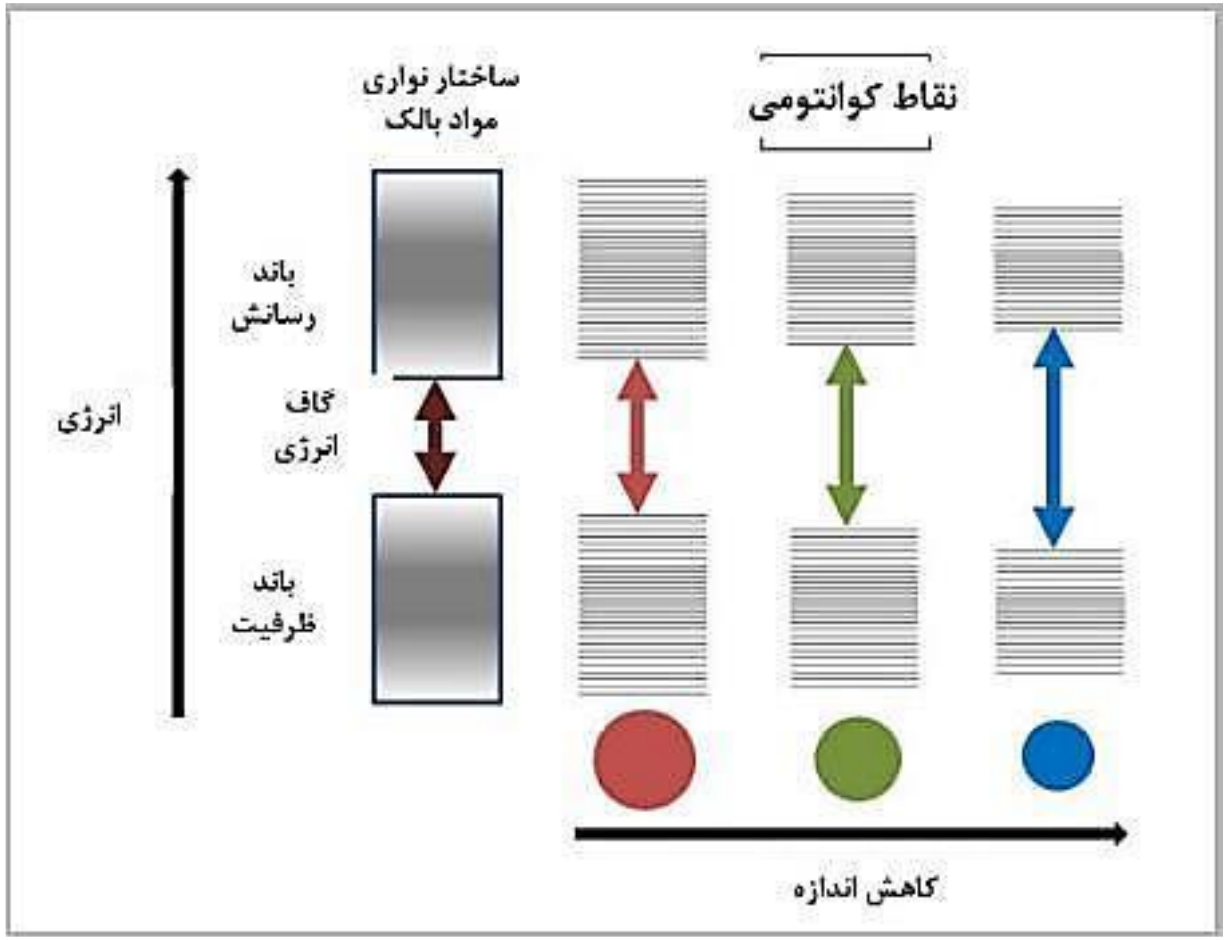
علت تغییر خواص در مقیاس نانو

تفاوت اتمهای سطحی و حجمی



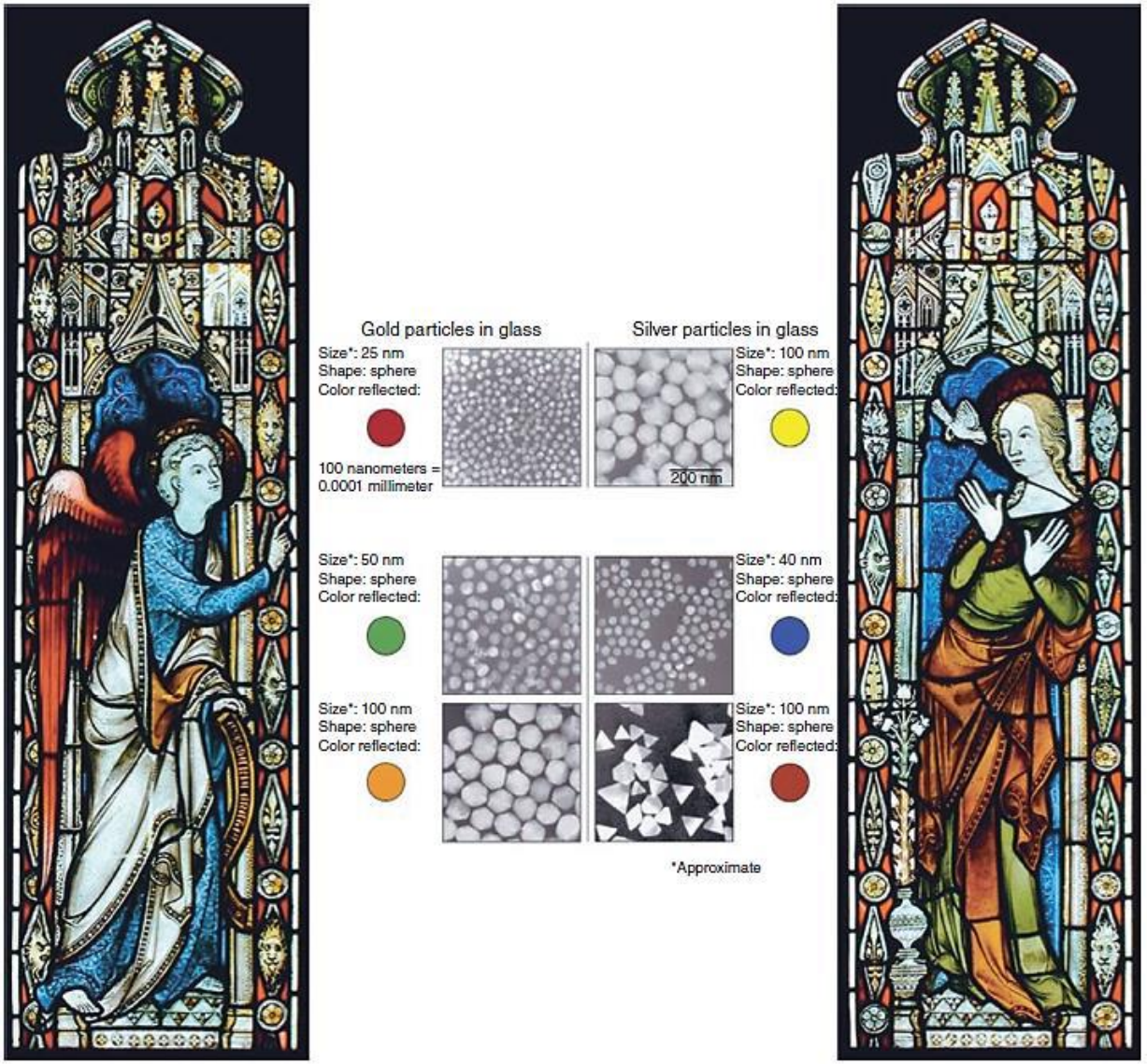
علت تغییر خواص در مقیاس نانو

۲- اثر کوانتوم

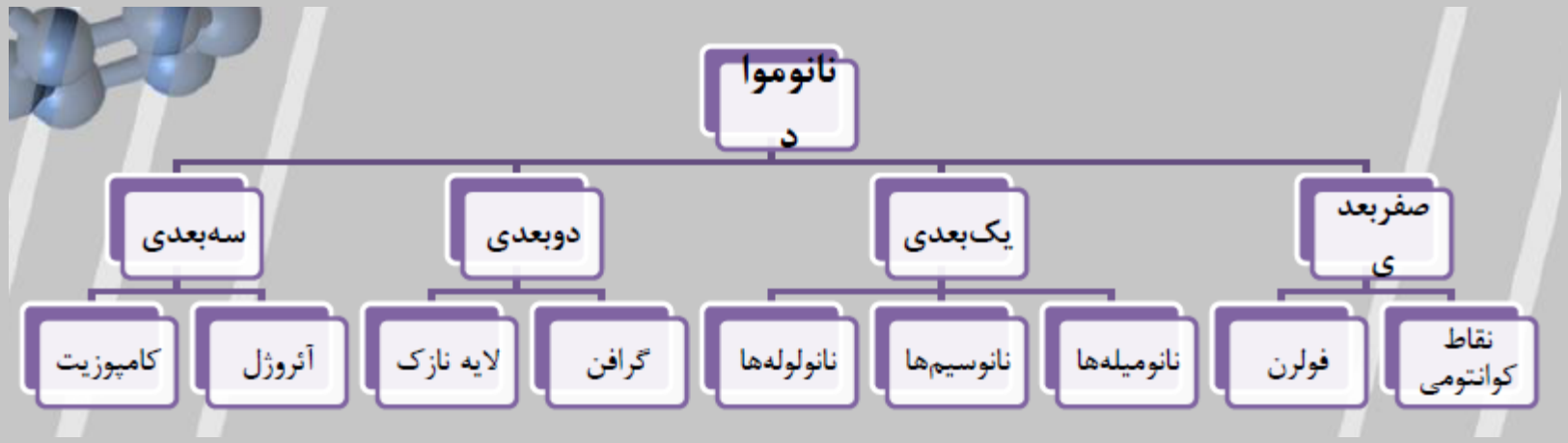


تغییر خواص در مقیاس نانو

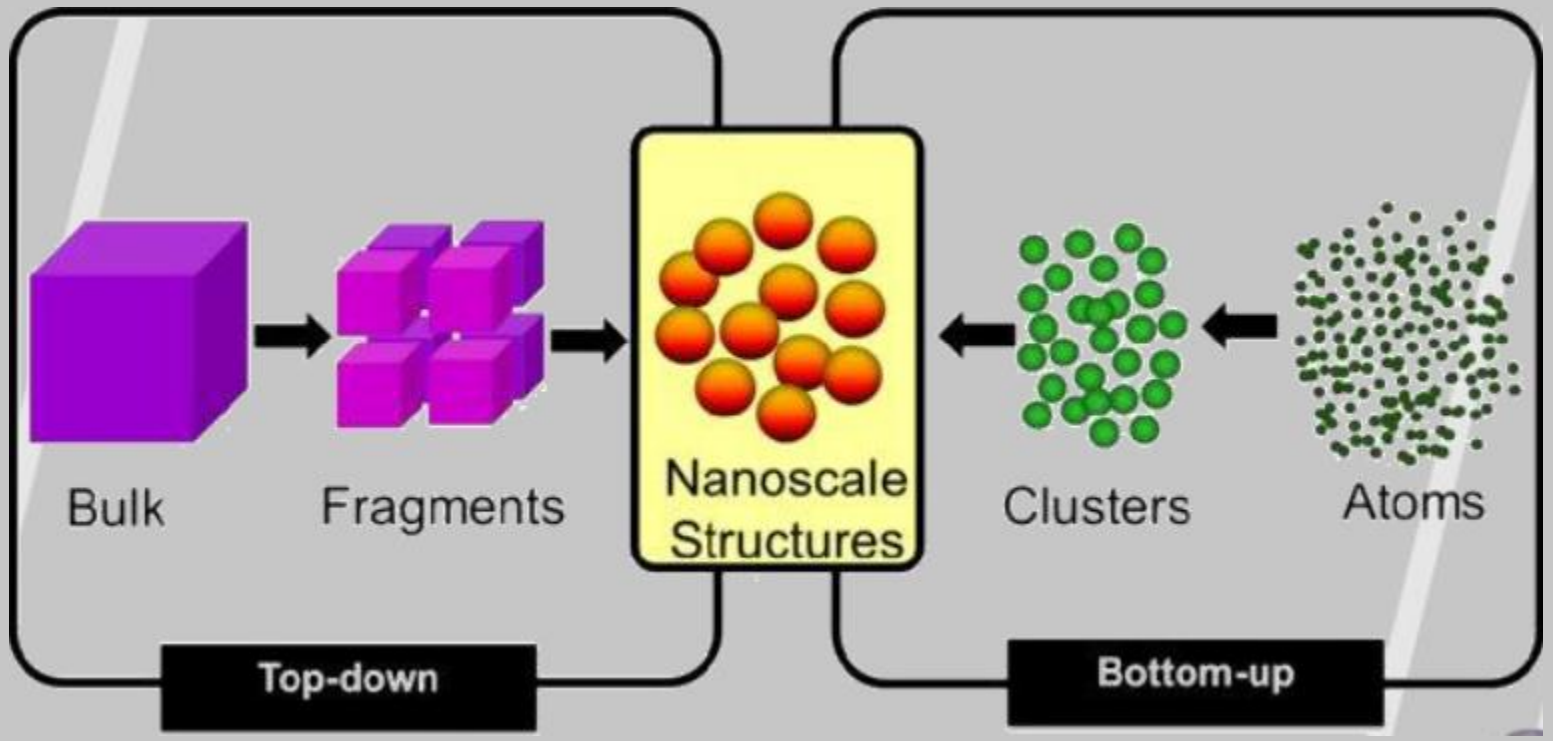
اثرات کوانتوم



دسته بندی نانو مواد



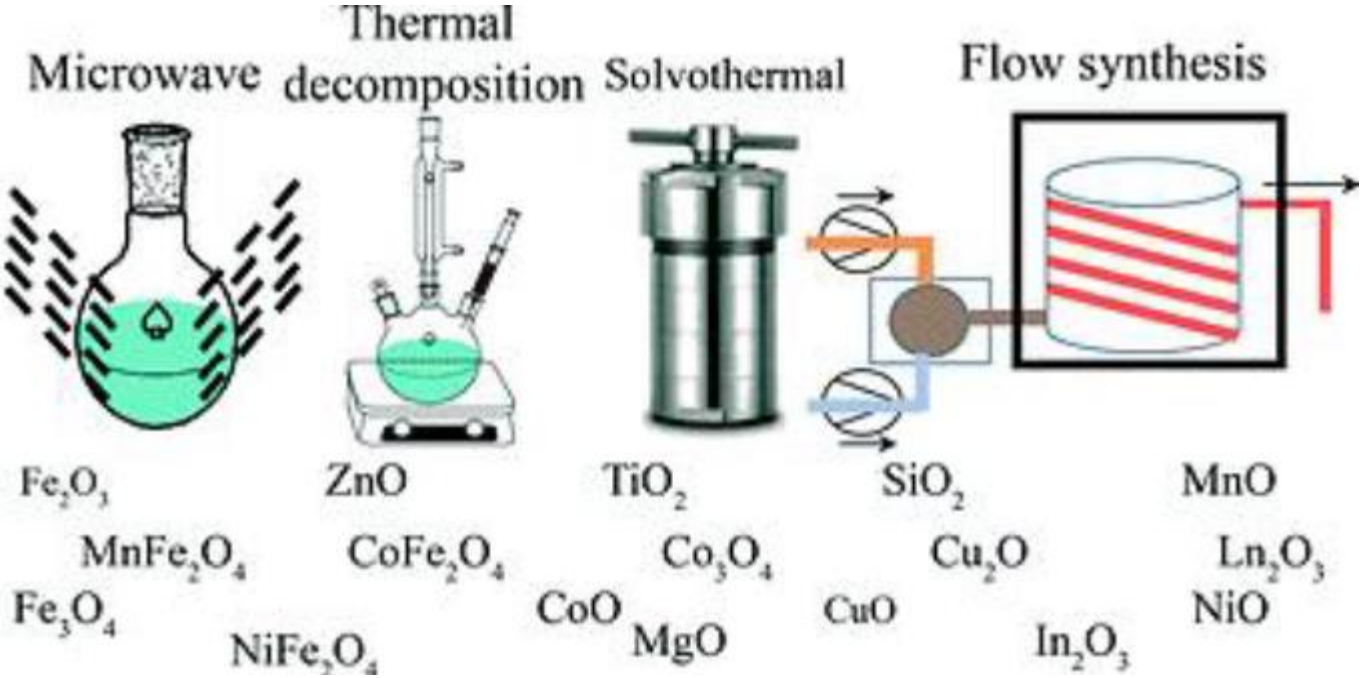
روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد



Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

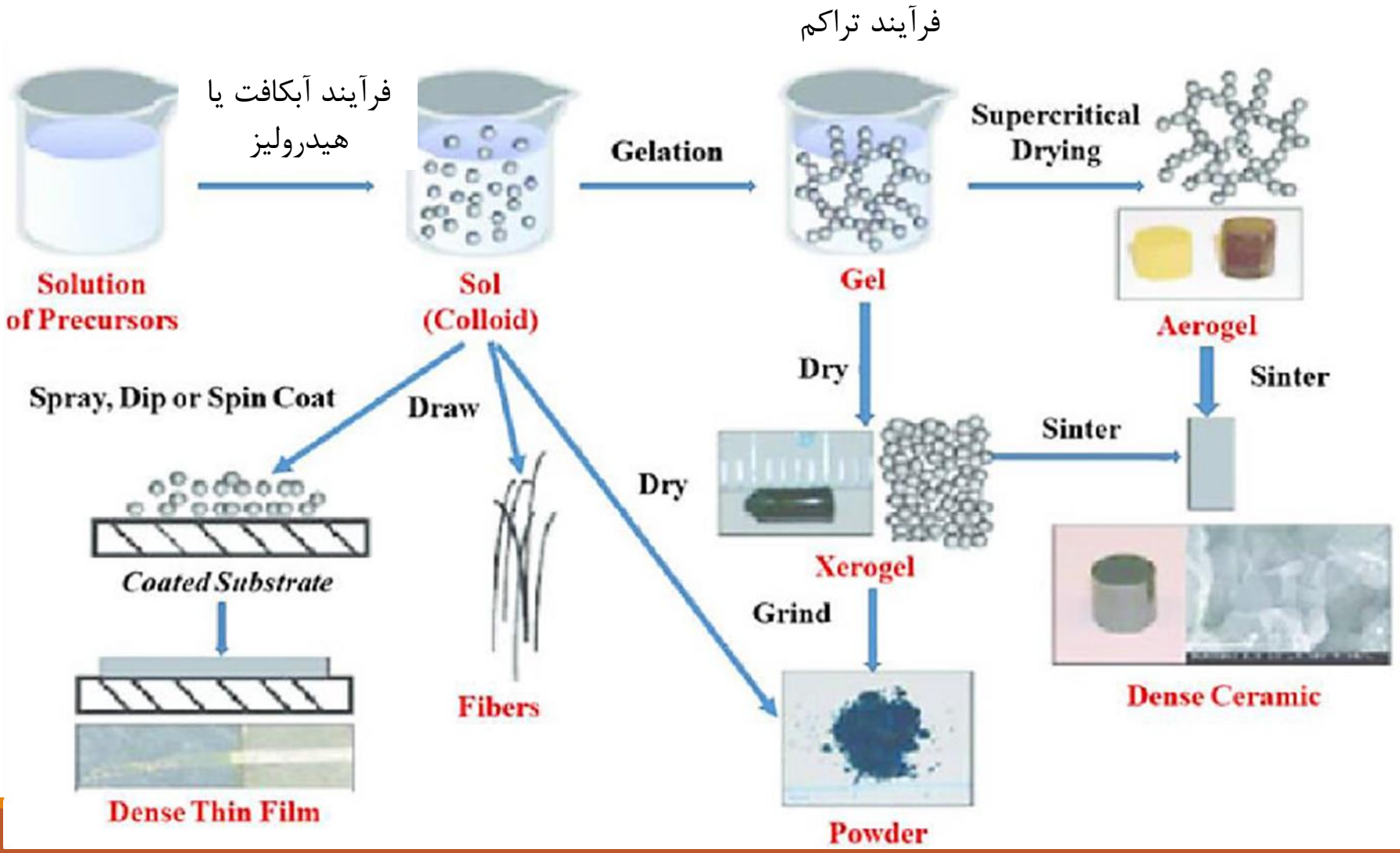
روش‌های سنتز شیمیایی



Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

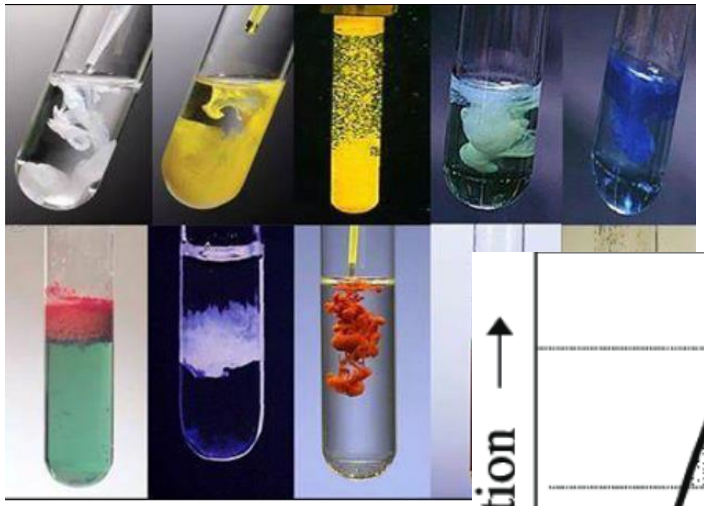
۱- سل-ژل

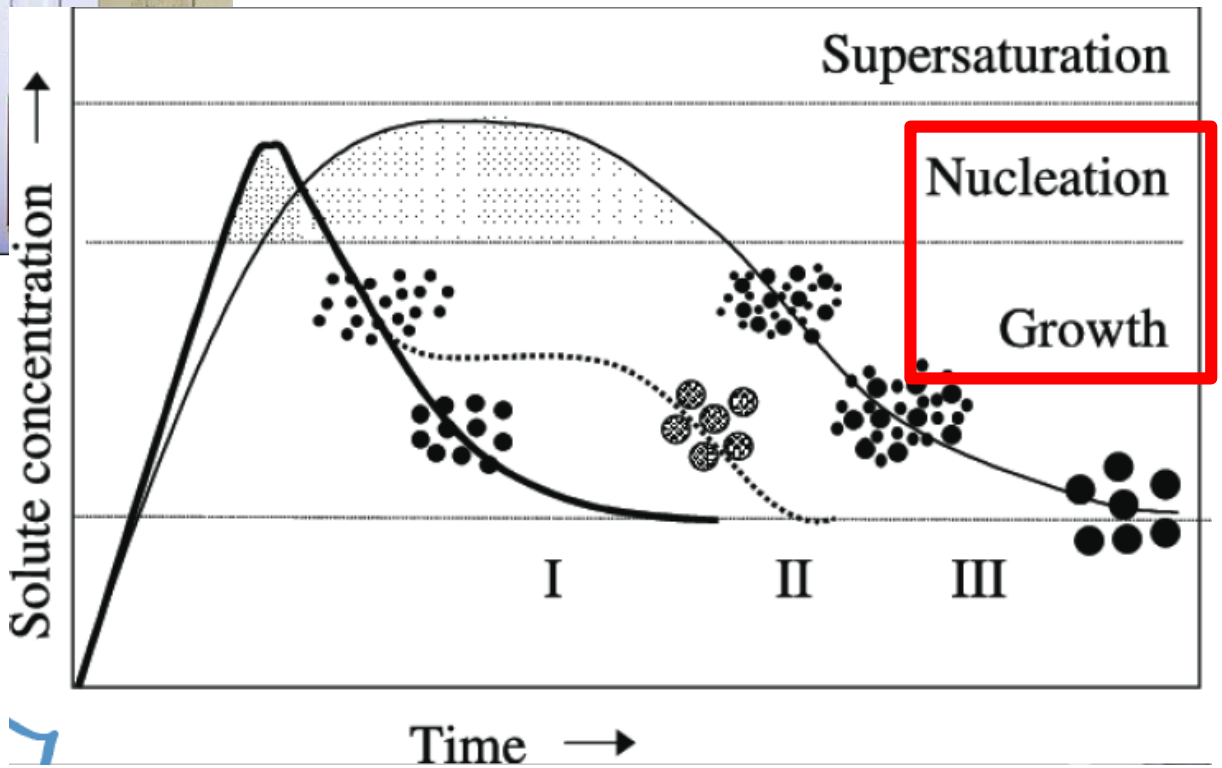


Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

۲- رسوب‌گذاری شیمیایی



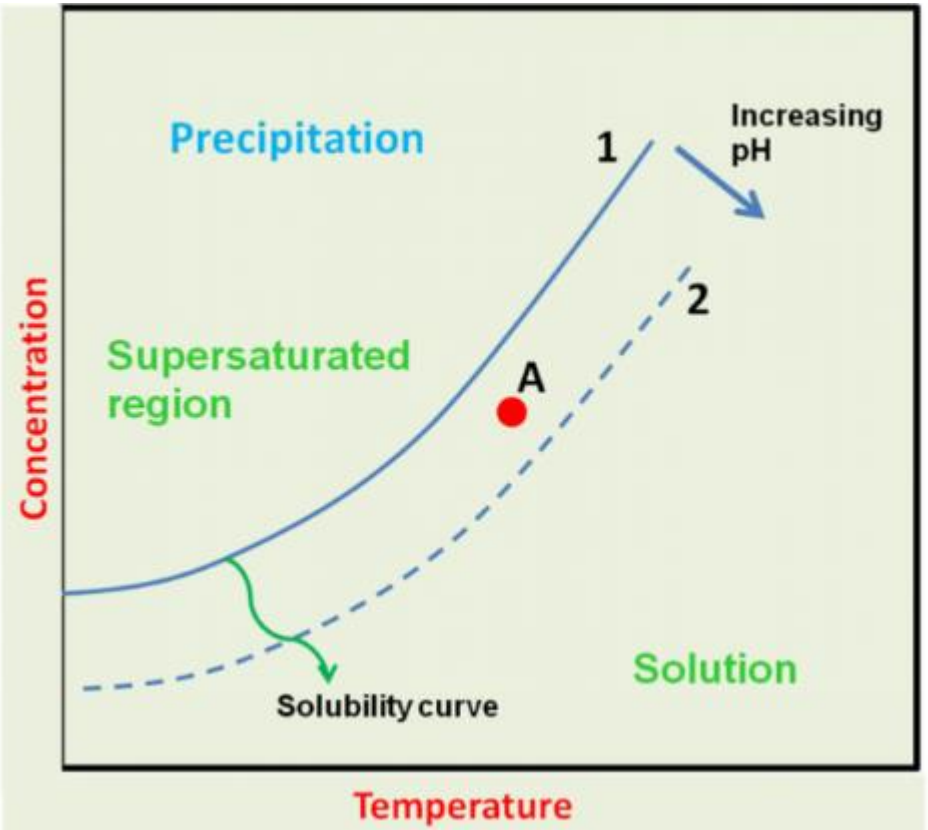


Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

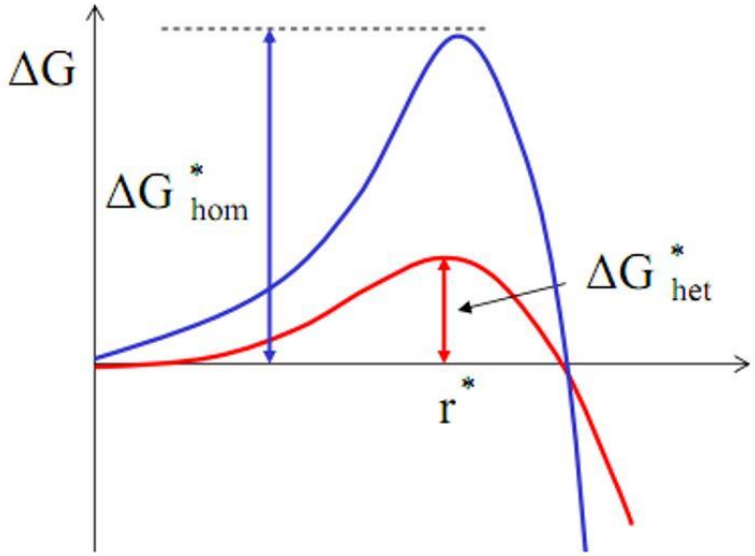
۲- رسوب‌گذاری شیمیایی

مرحله اول: فوق اشباع

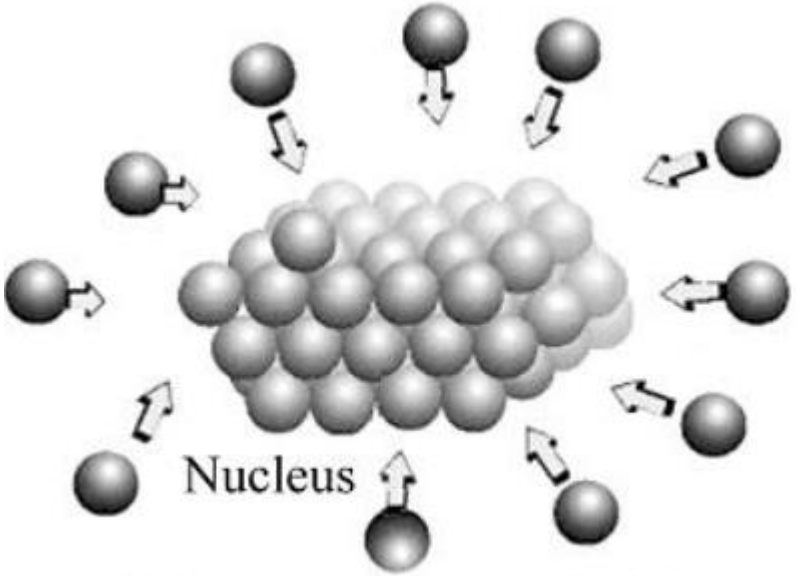


Bottom-up

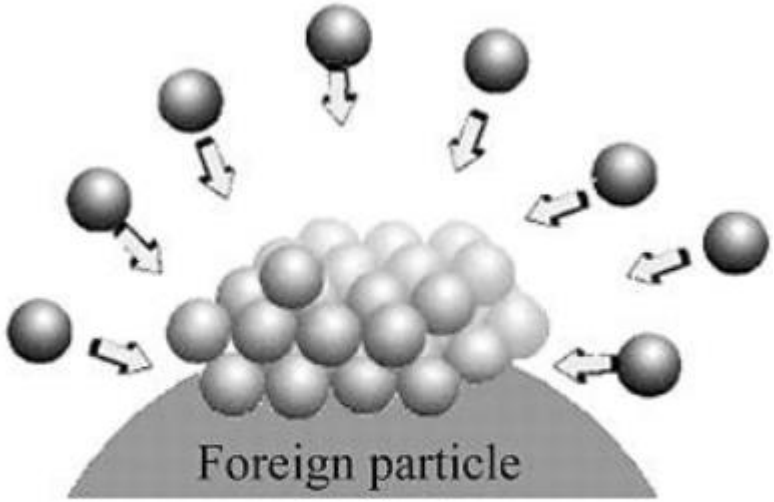
روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد



۲- رسوب‌گذاری شیمیایی
جوانه زنی



Homogeneous nucleation

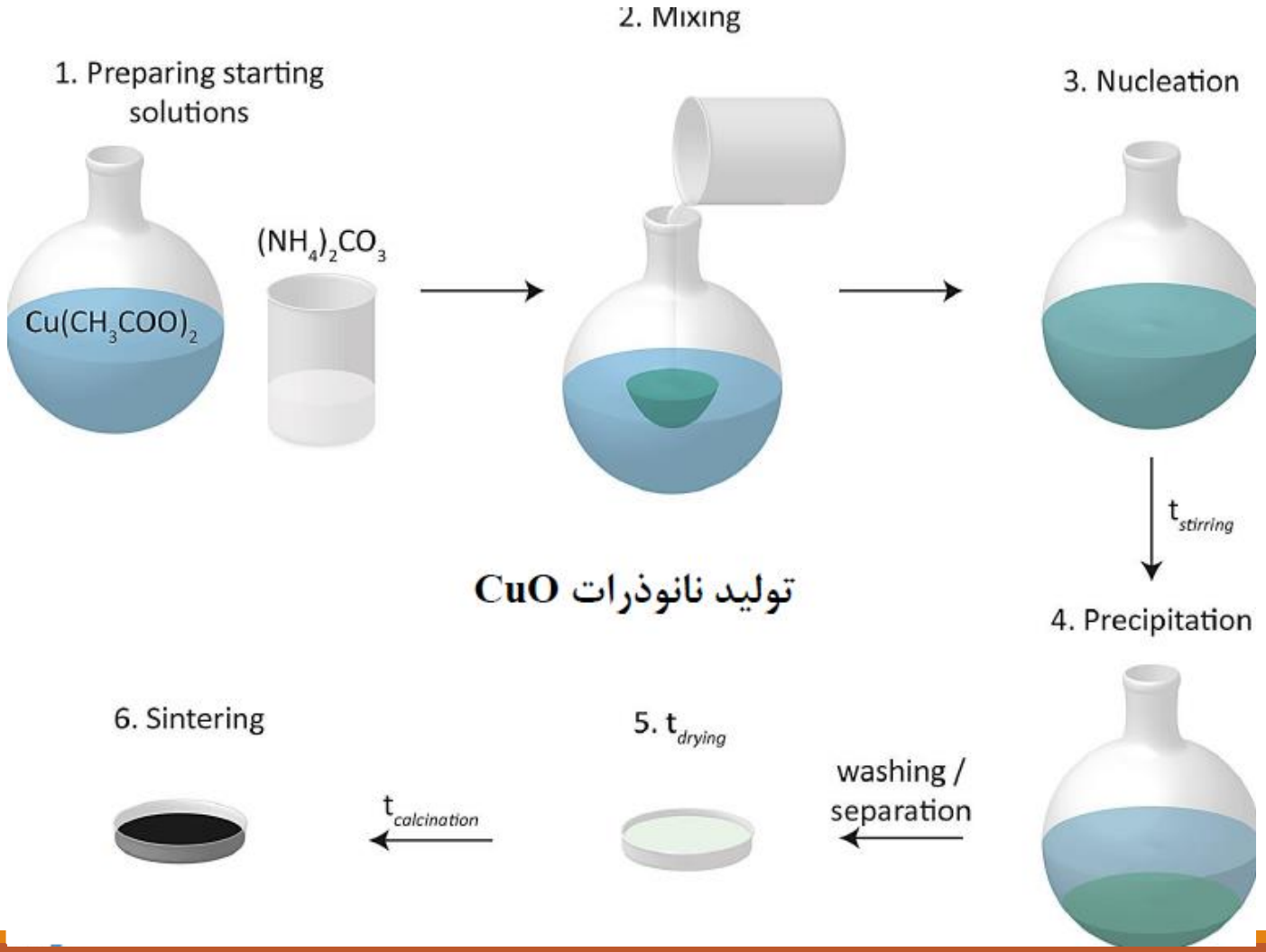


Heterogeneous nucleation

Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

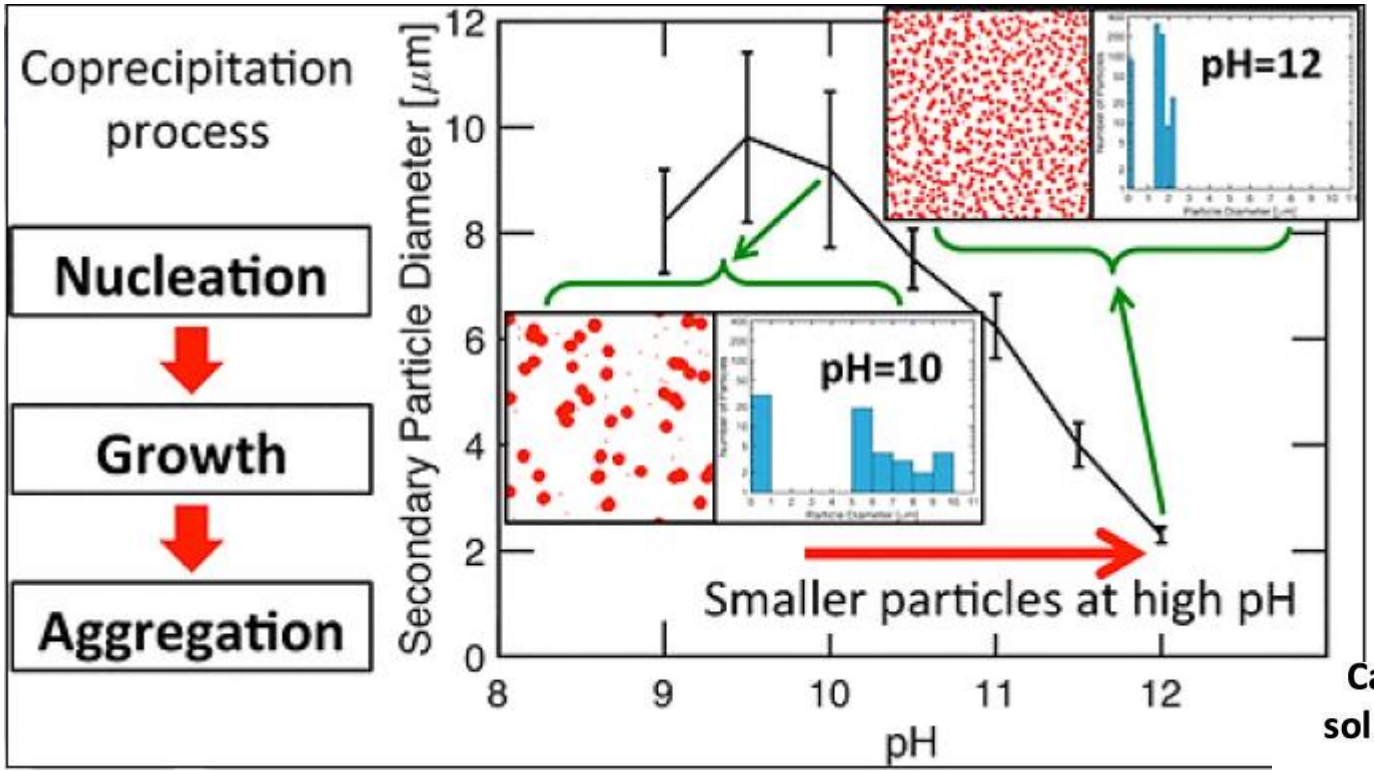
نمونه‌هایی از تولید نانوذرات با روش رسوب‌گذاری شیمیایی

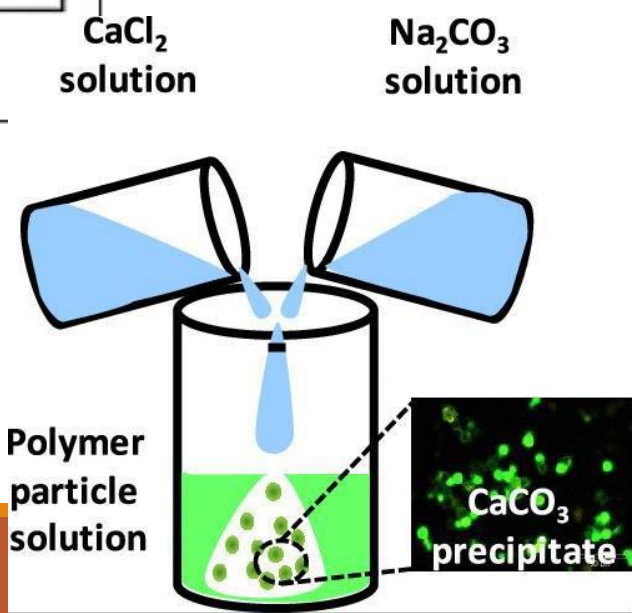


Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

هم‌رسوبی

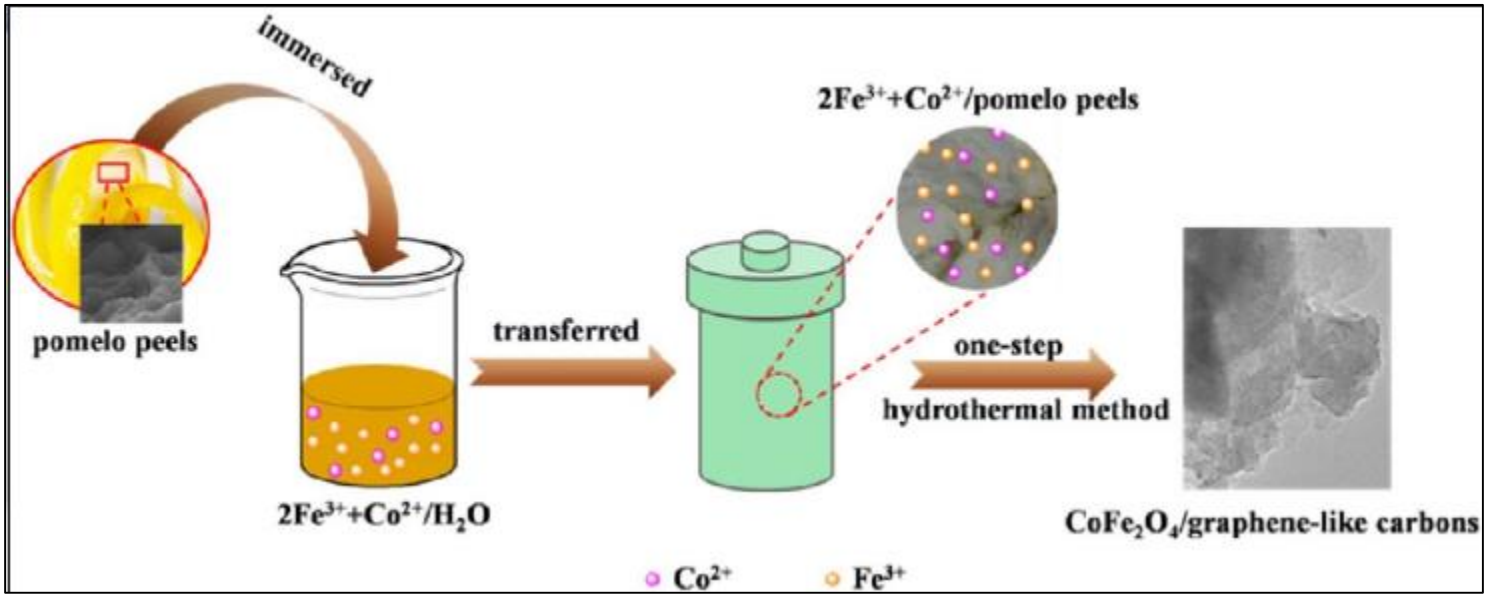


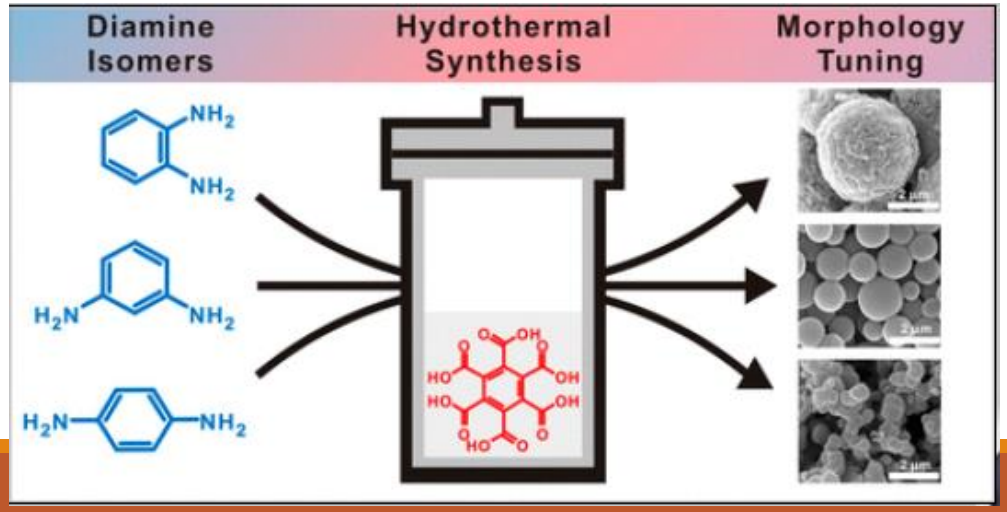


Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

فرآیند هیدروترمال

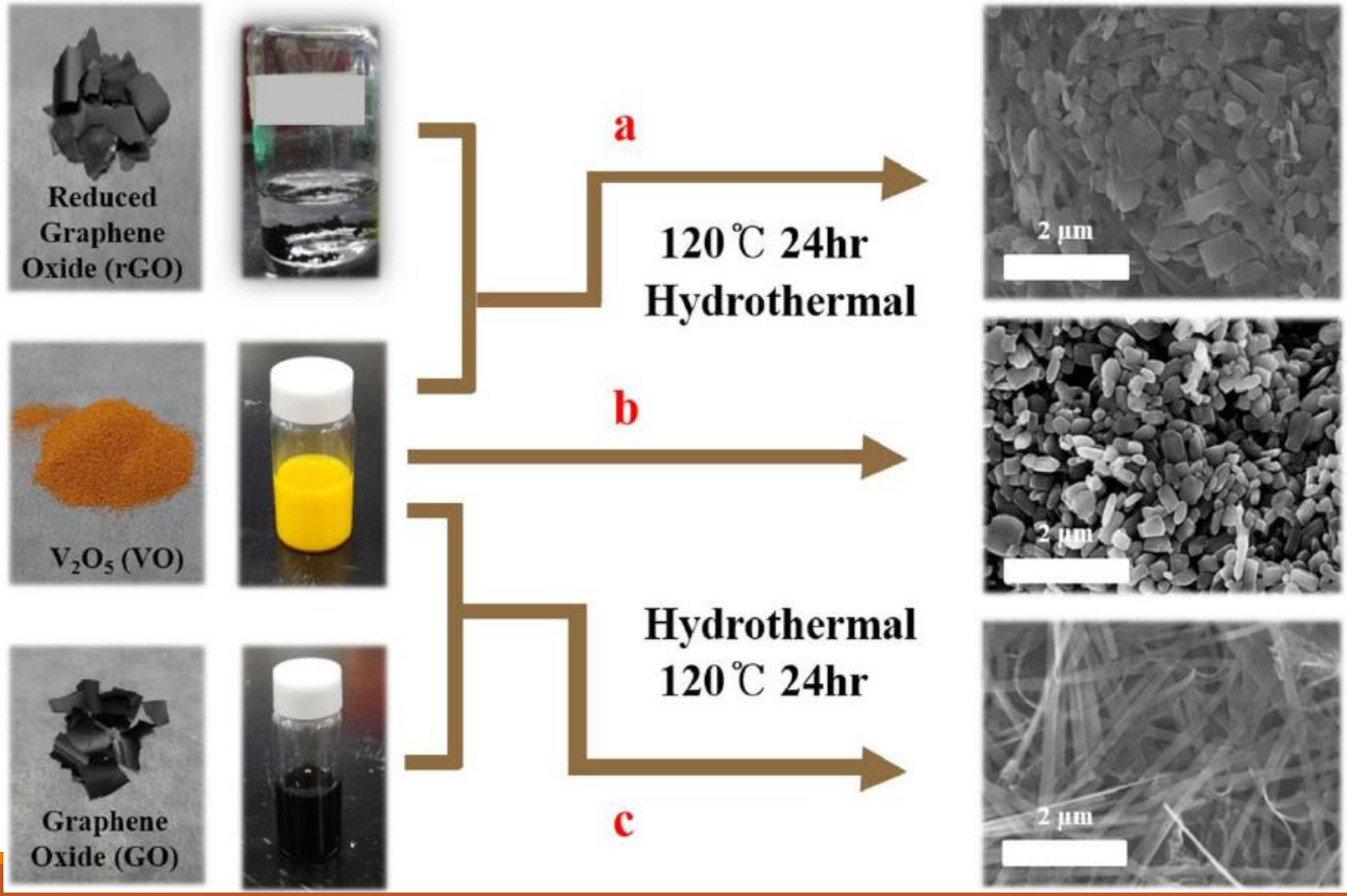




Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

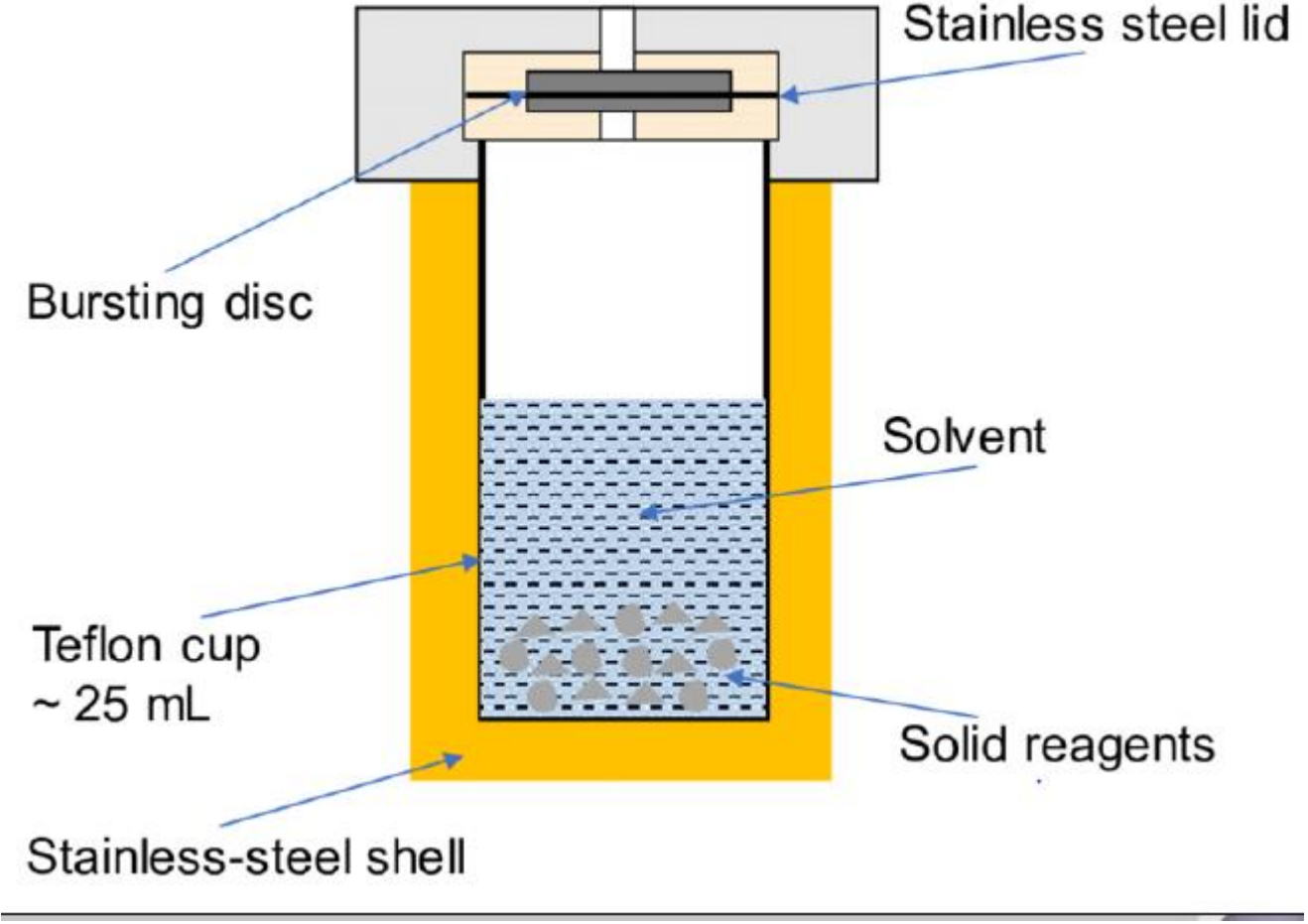
نمونه‌هایی از تولید نانوساختارها با روش هیدروترمال



Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

فرآیند سولوترمال



پارامترهای موثر

۱- ماهیت حلال

۲- دما

۳- فشار

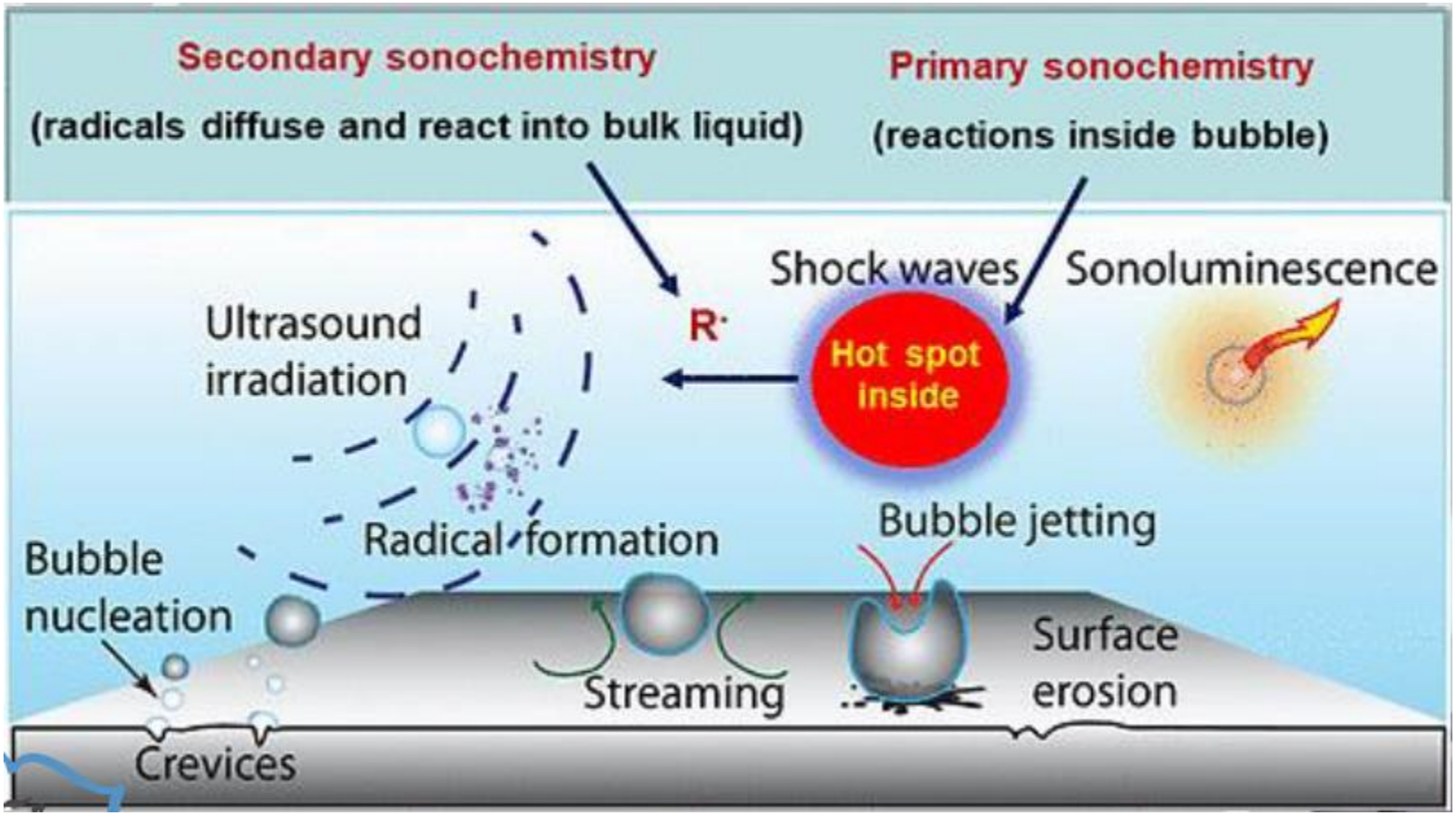
۴- زمان

۵- غلظت پیش ماده ها

Bottom-up

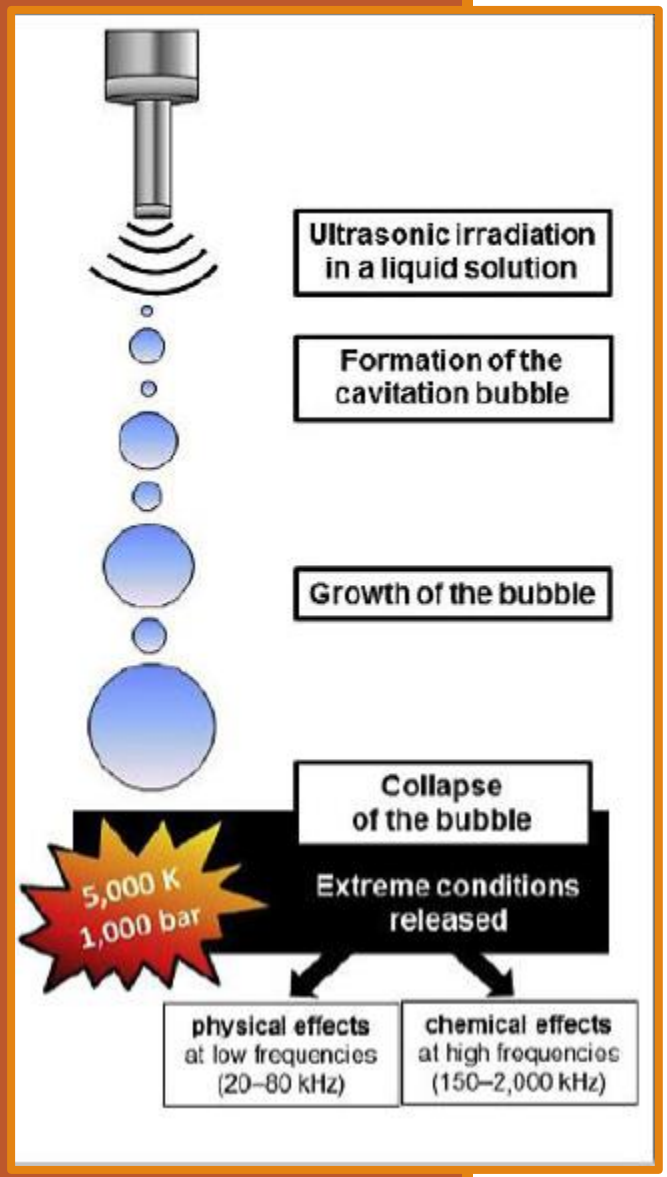
روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

روش‌های سونوشیمیایی



Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد



روش‌های سونوشیمیایی

براساس تئوری نقاط داغ تفسیر میشوند.
نقاط داغ ایجاد شده طول عمر کوتاهی دارند در حدود ۱۰۰ میکروثانیه ولی این حبابها دمایی در حدود ۵۰۰۰ K و فشار atm ۵۰۰-۱۰۰۰ دارند.

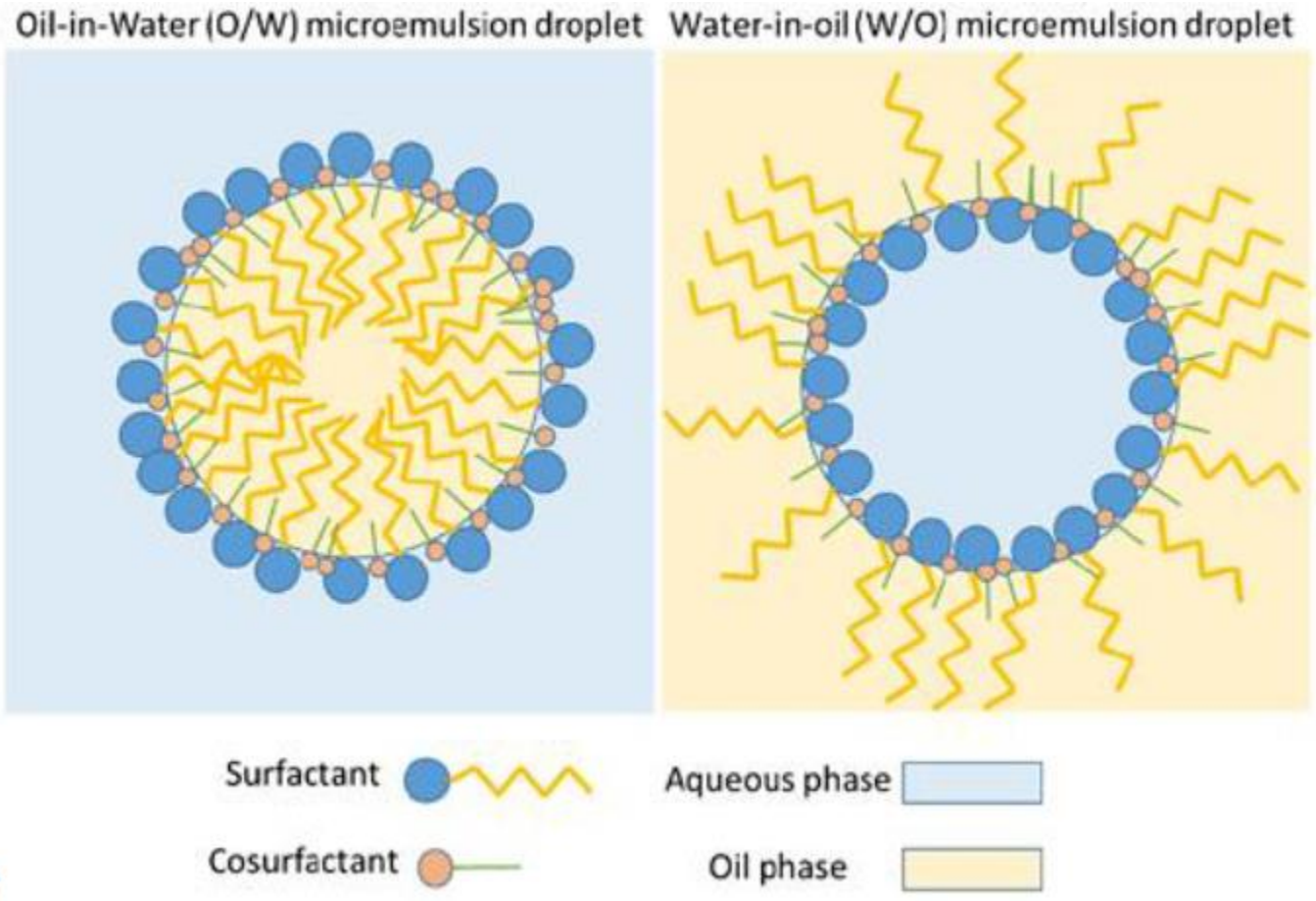
مراحل روش سونوشیمیایی

۱- مرحله هسته زایی
۲- رشد
۳- جداسازی

Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

روشهای میکروامولسیون و میسل معکوس

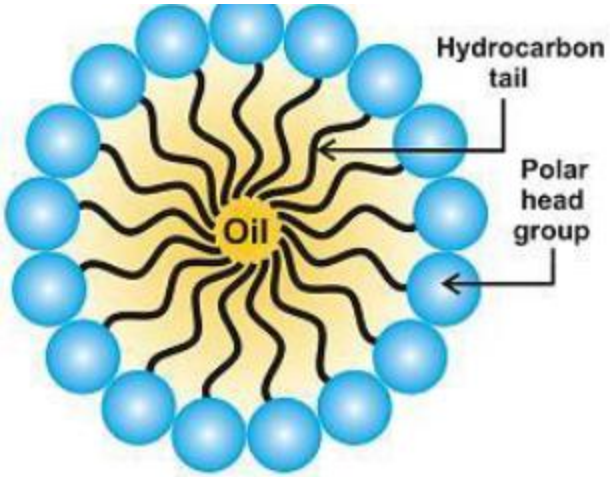


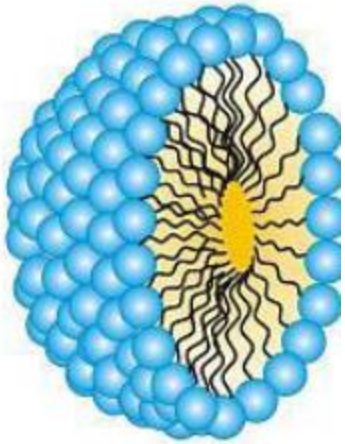
Bottom-up

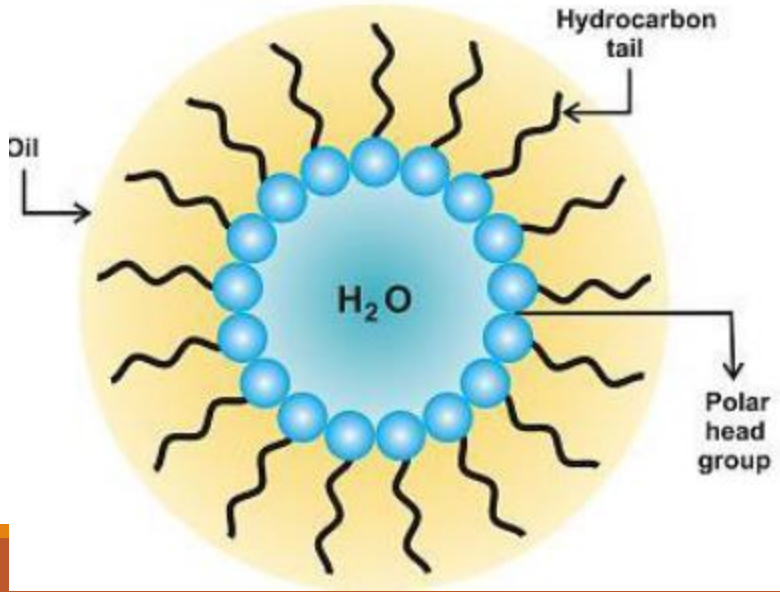
روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

روشهای میکروامولسیون و میسل معکوس

میسل معکوس



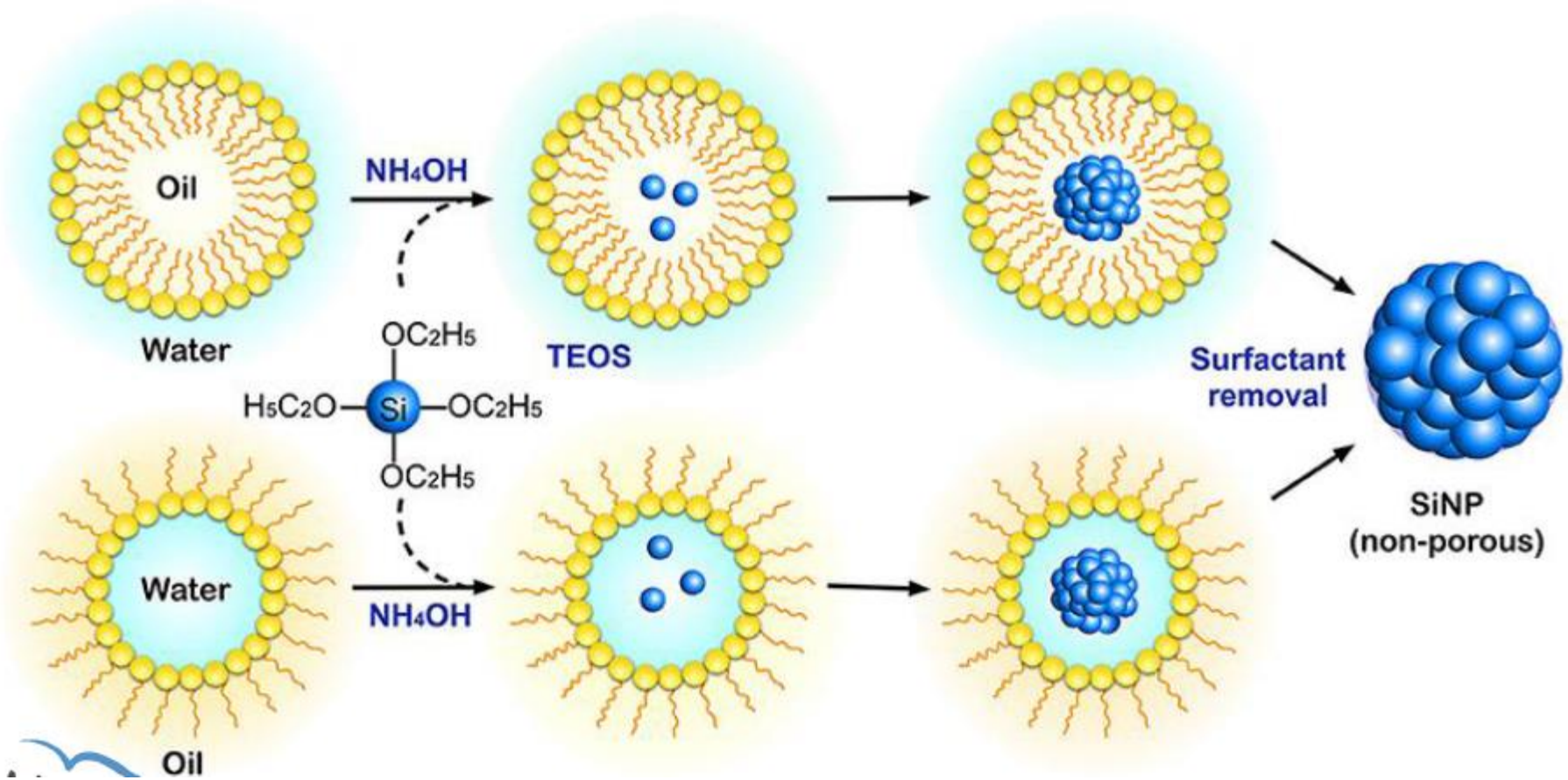




Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

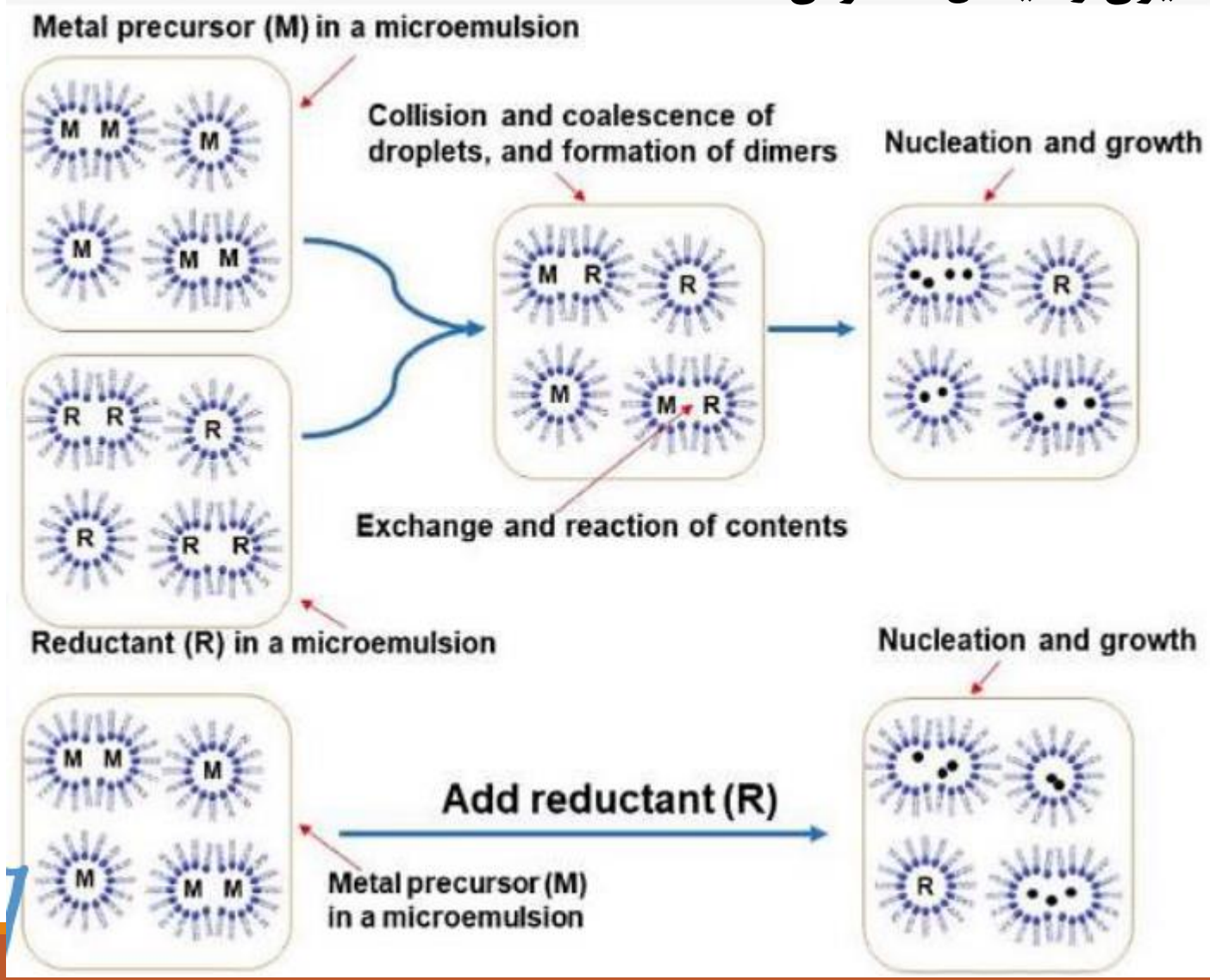
روشهای میکروامولسیون و میسل معکوس



Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

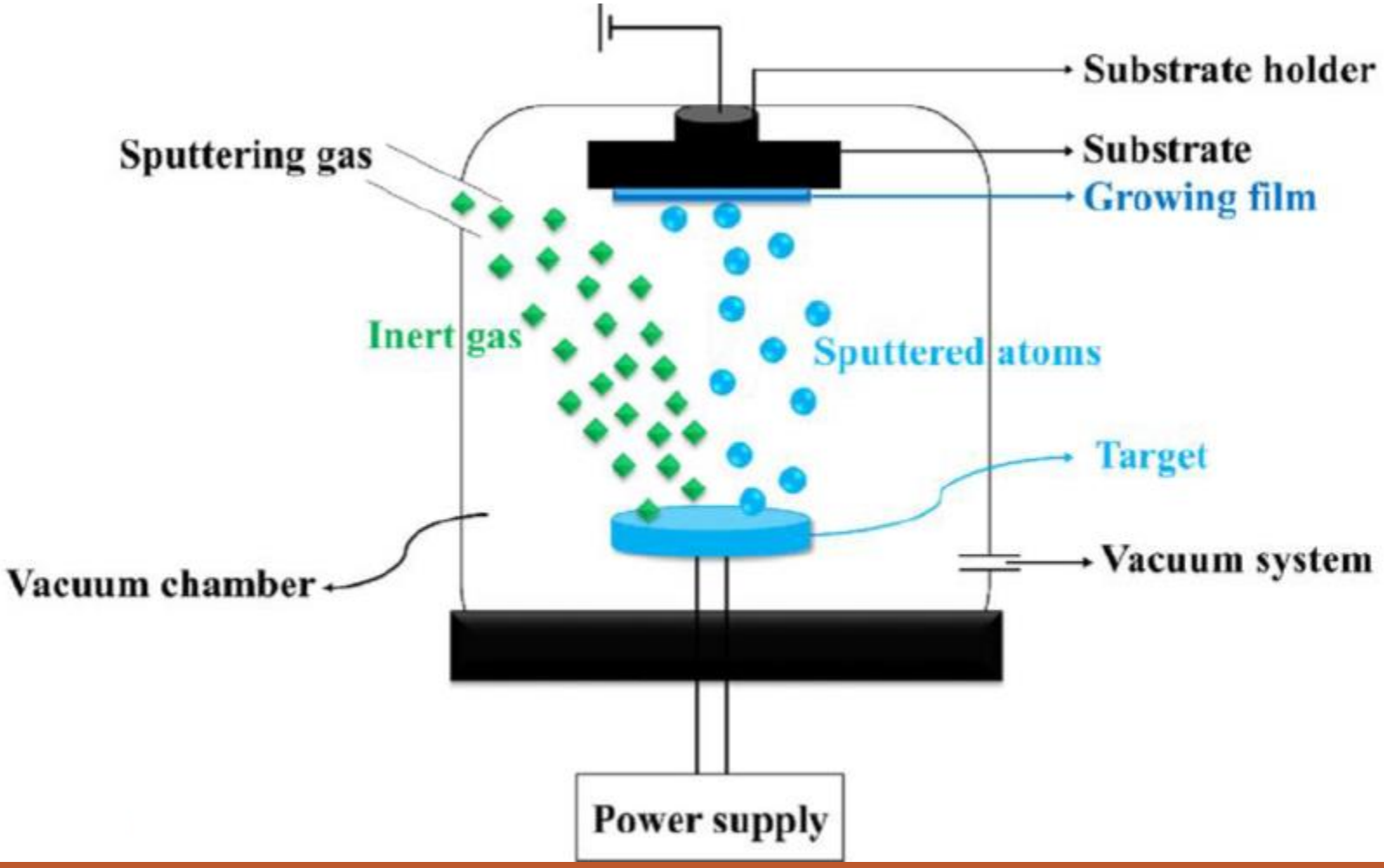
روشهای میکروامولسیون و میسل معکوس



Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

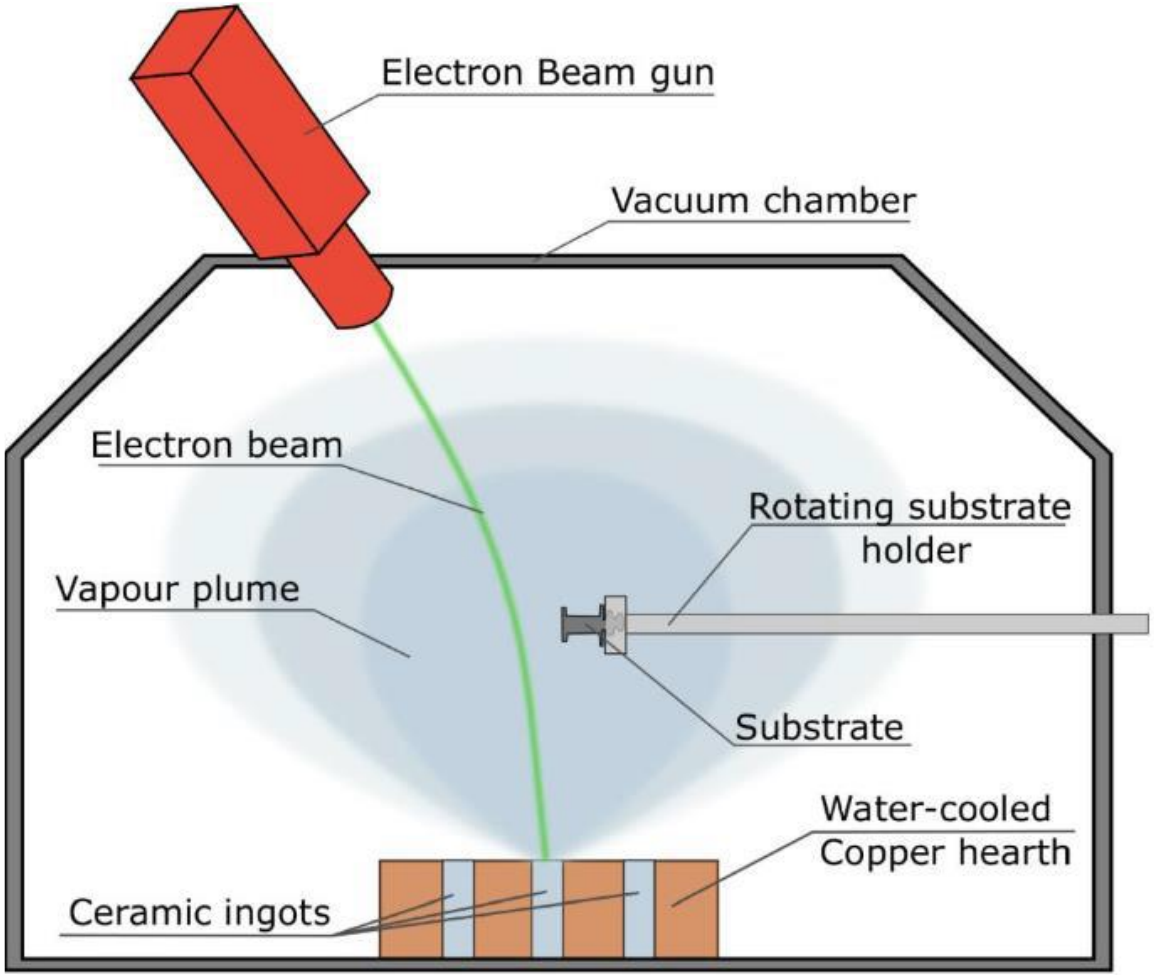
لایه‌نشانی فیزیکی از فاز بخار Physical Vapor Deposition (PVD)

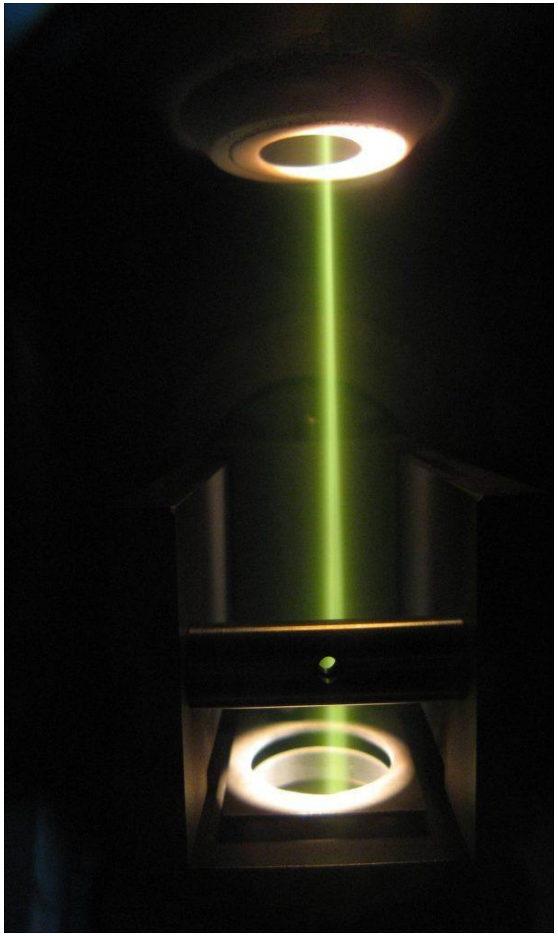


Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

لایه‌نشانی فیزیکی از فاز بخار با استفاده از باریکه الکترونی





Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

مزایا روش لایه نشانی تبخیری با باریکه الکترونی

- قابلیت تنظیم نرخ پوشش دهی لایه‌ها از یک نانومتر تا چند میکرومتر در دقیقه
- سرعت بالای فرآیند پوشش دهی
- وجود آسیبهای سطحی اندک در پوشش حاصل
- خلوص بالای پوشش تولیدی به دلیل لایه نشانی در خلأ
- قابلیت بالاتر در کنترل ریزساختار و مورفولوژی پوشش ها در مقایسه با سایر روش‌ها
- جلوگیری از گرمایش ناخواسته

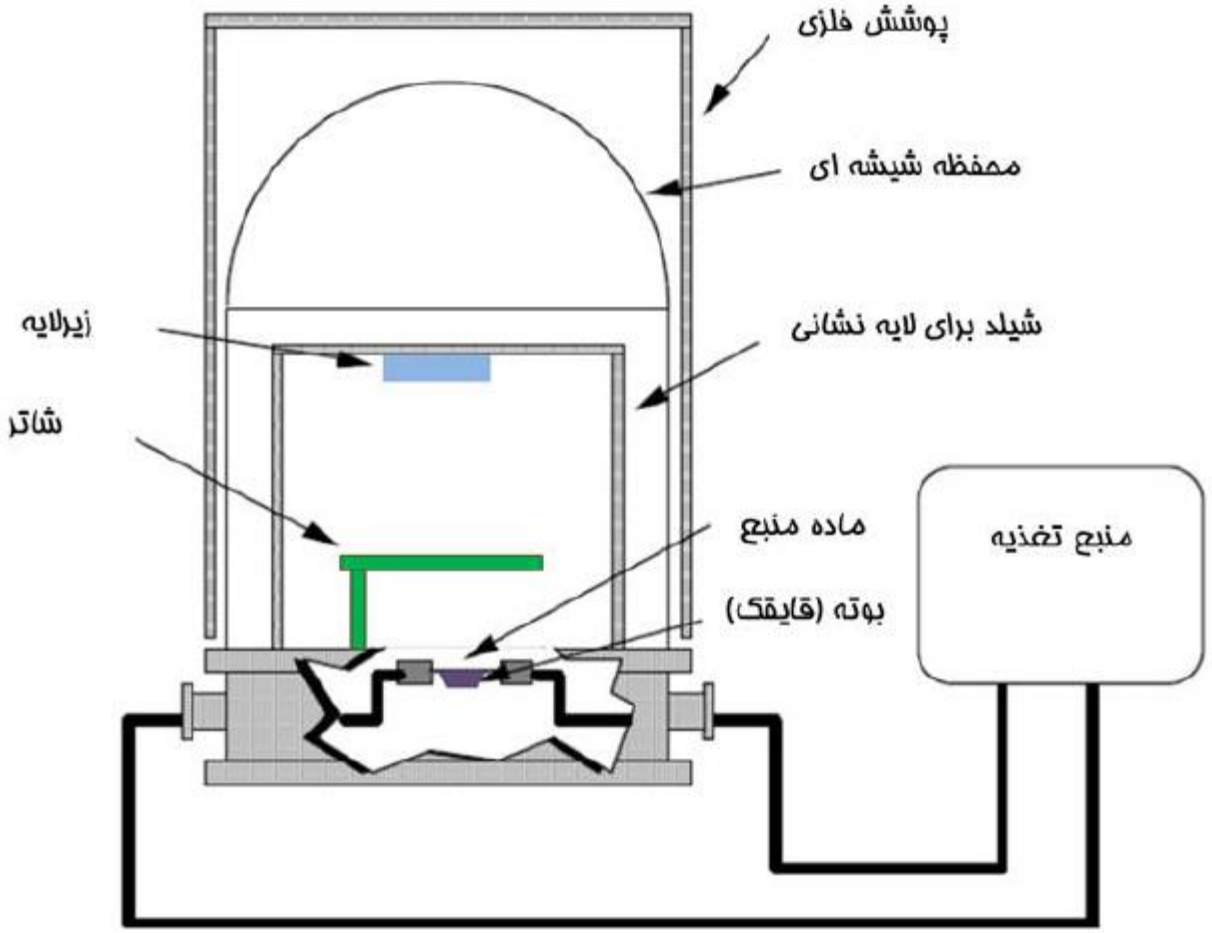
معایب روش لایه نشانی تبخیری با باریکه الکترونی

- عدم قابلیت پوشش دهی قطعاتی با هندسه پیچیده به دلیل انجام فرآیند در فشارهای بسیار پایین

Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

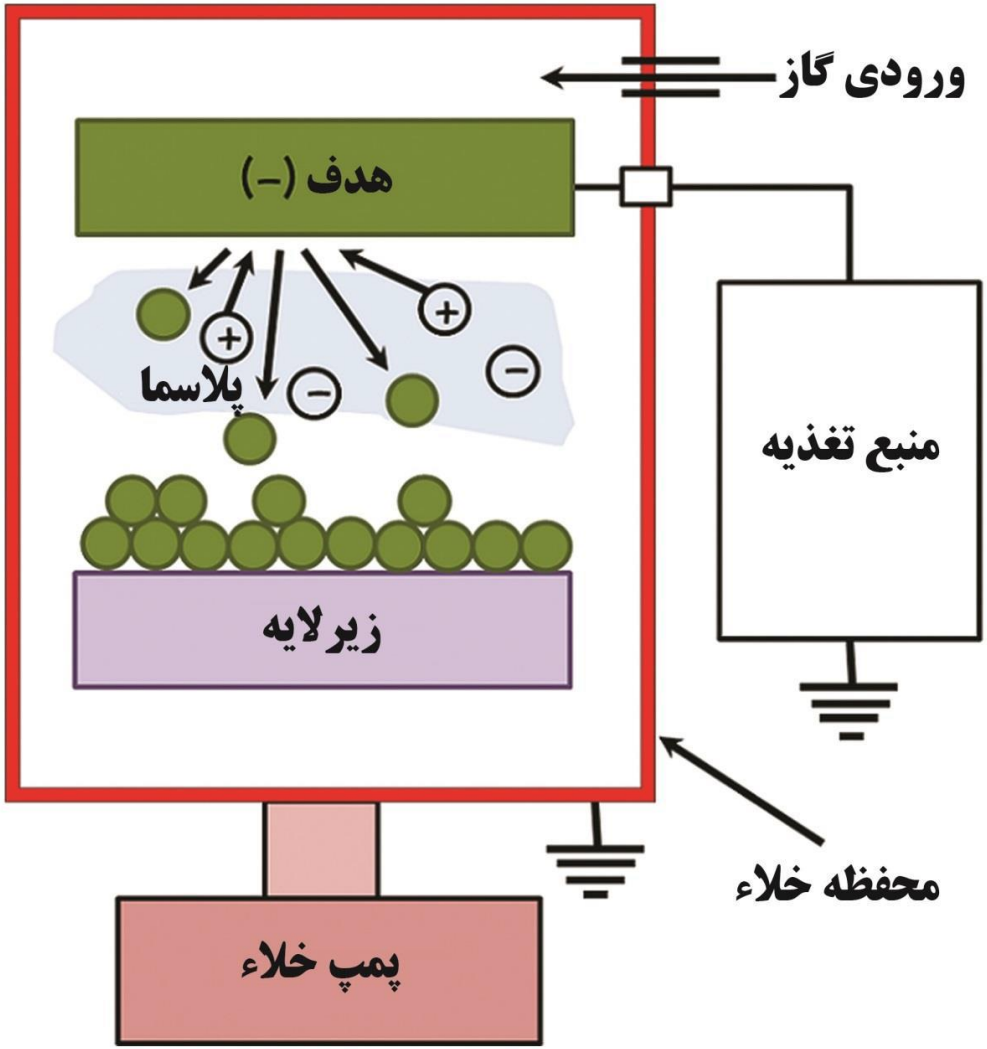
لایه‌نشانی تبخیر حرارتی مبتنی بر مقاومت الکتریکی



Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

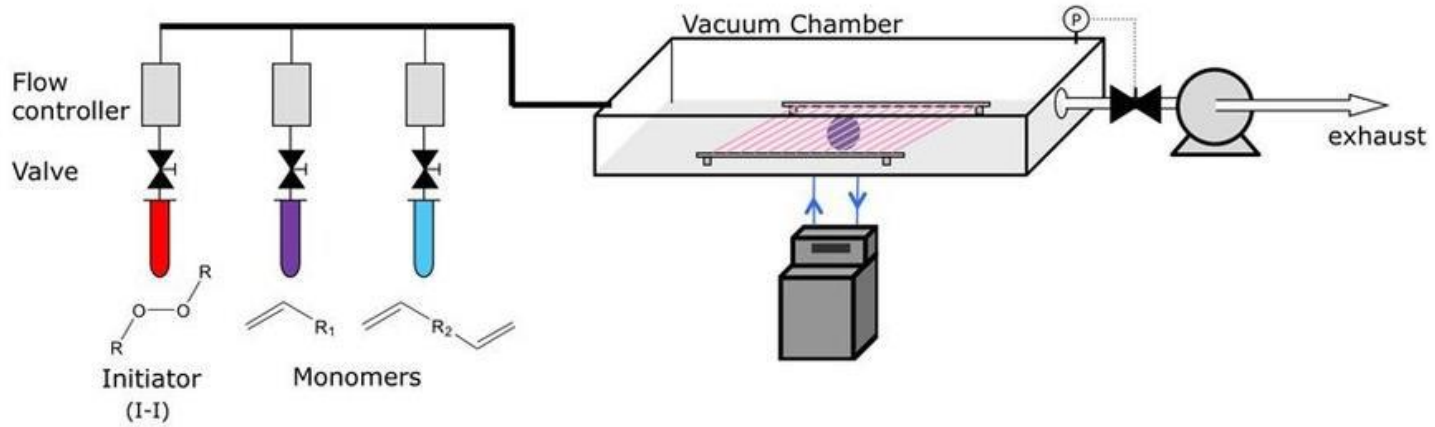
لایه‌نشانی به روش کندوپاش

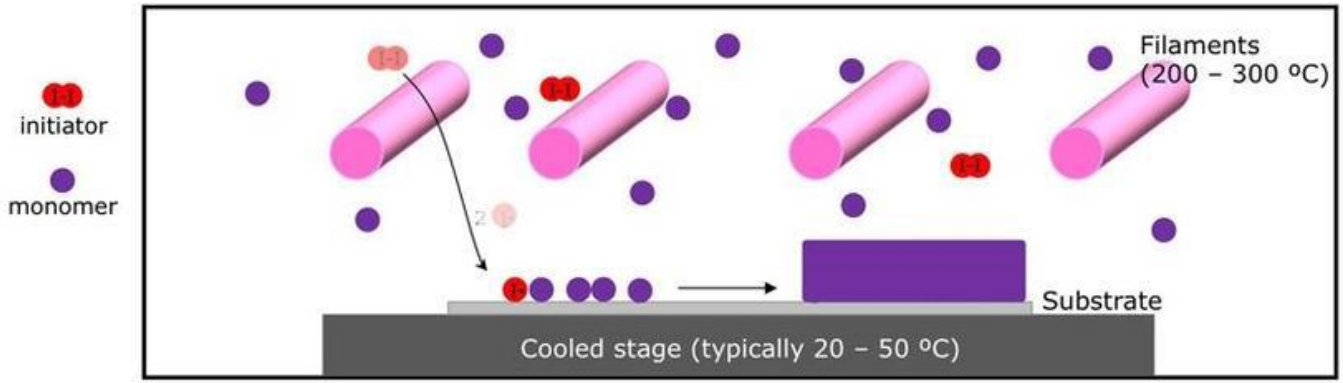


Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

رسوب‌دهی شیمیایی از فاز بخار (Chemical Vapor Deposition (CVD))





Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

مراحل روش CVD

Bottom-up

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

مزایای روش CVD

- پوشش یکنواخت
- امکان رسوب دهی گسترده
- قابل اجرا برای طیف وسیعی از مواد
- پوشش دهی با خلوص بالا
- پوشش دهی سریع
- عدم نیاز به خلا
- کنترل بیشتر روی مورفولوژی و ساختار بلوری و استوکیومتری

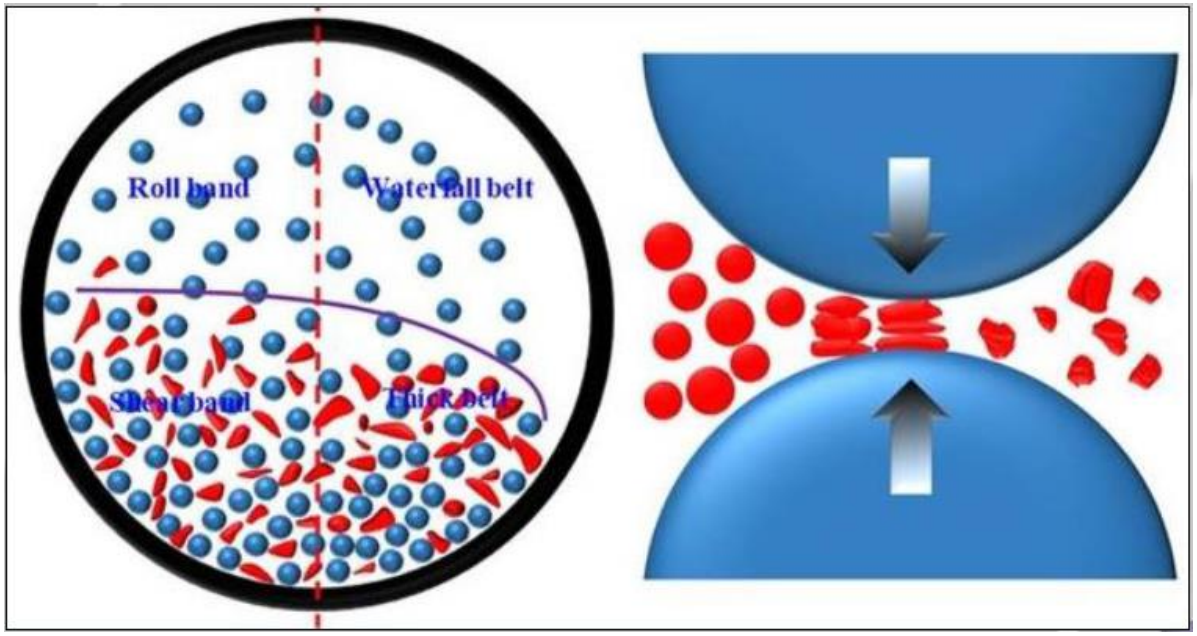
معایب

- ایمنی پایین به دلیل سمی بودن گازها و اشتعال پذیر بودن آنها
- هزینه بالا

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

Top-down

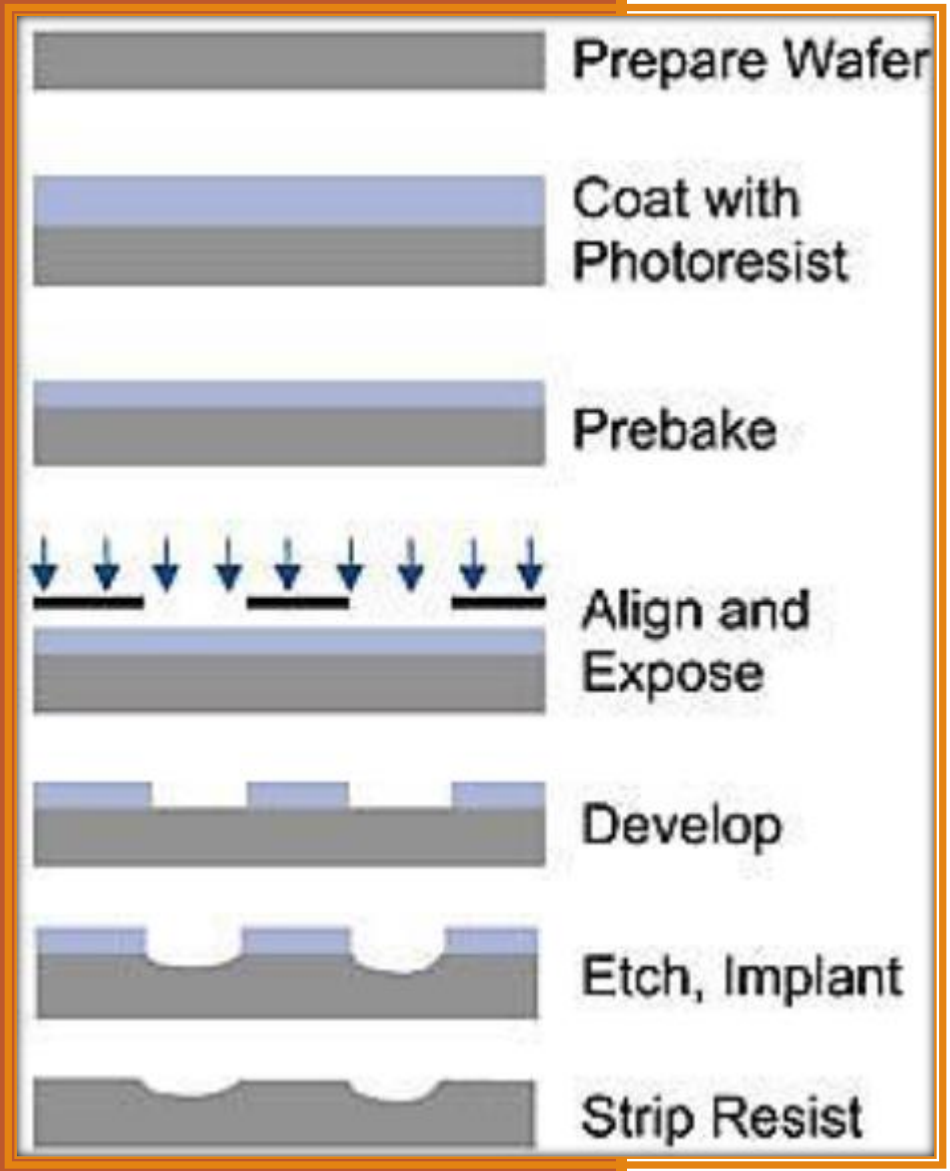
آسیاب کاری



منابع ورود آلودگی به پودرهای سنتز شده نهایی عبارتند از:
الف) ناخالصی موجود در ترکیب شیمیایی پودر اولیه،
ب) سایش برخی از اجزای آسیاب مانند دیواره داخلی محفظه و گلوله‌ها در اثر برخوردهای شدید در حین آسیابکاری،
ج) تجزیه اصلاح کننده‌های سطحی افزوده شده

Top-down

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد



لیتوگرافی

روش های لیتوگرافی بر اساس ابزار مورد نیاز، روش انتقال تصویر و استراتژی الگوگذاری به دو دسته کلی تقسیم می‌شود:

الف) نوشتن یا حکاکی مستقیم یا لیتوگرافی بدون ماسک: مثل لیتوگرافی باریکه الکترونی، لیتوگرافی روبشی

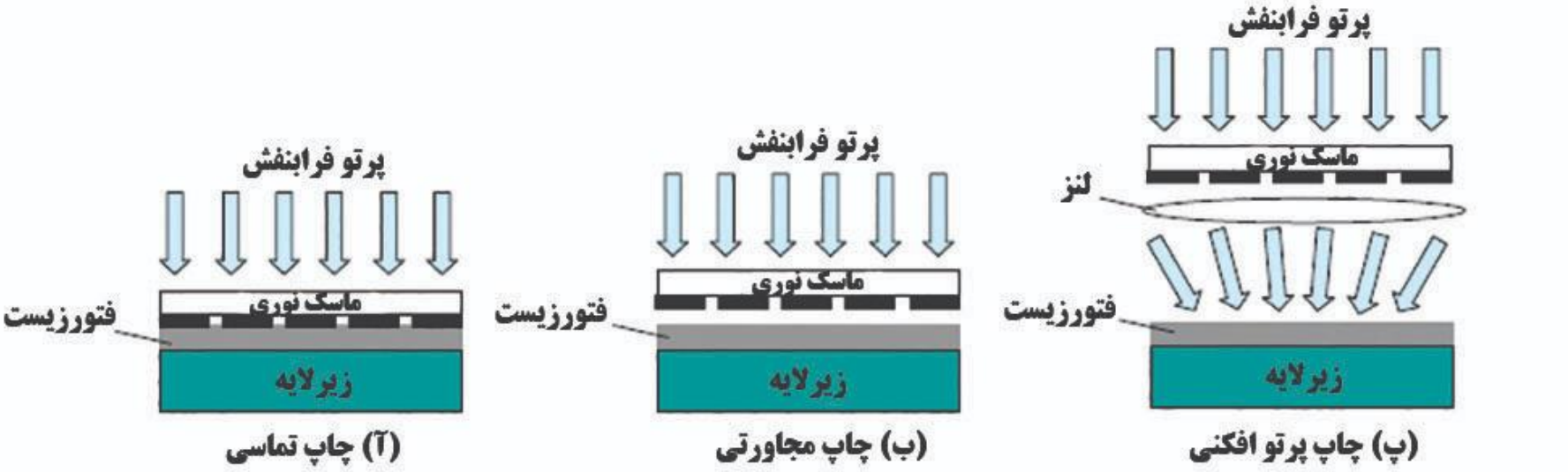
ب) انتقال طرح با ماسک نوری با استفاده از روشهای متداول تابش یا لیتوگرافی با استفاده از ماسک.

Top-down

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

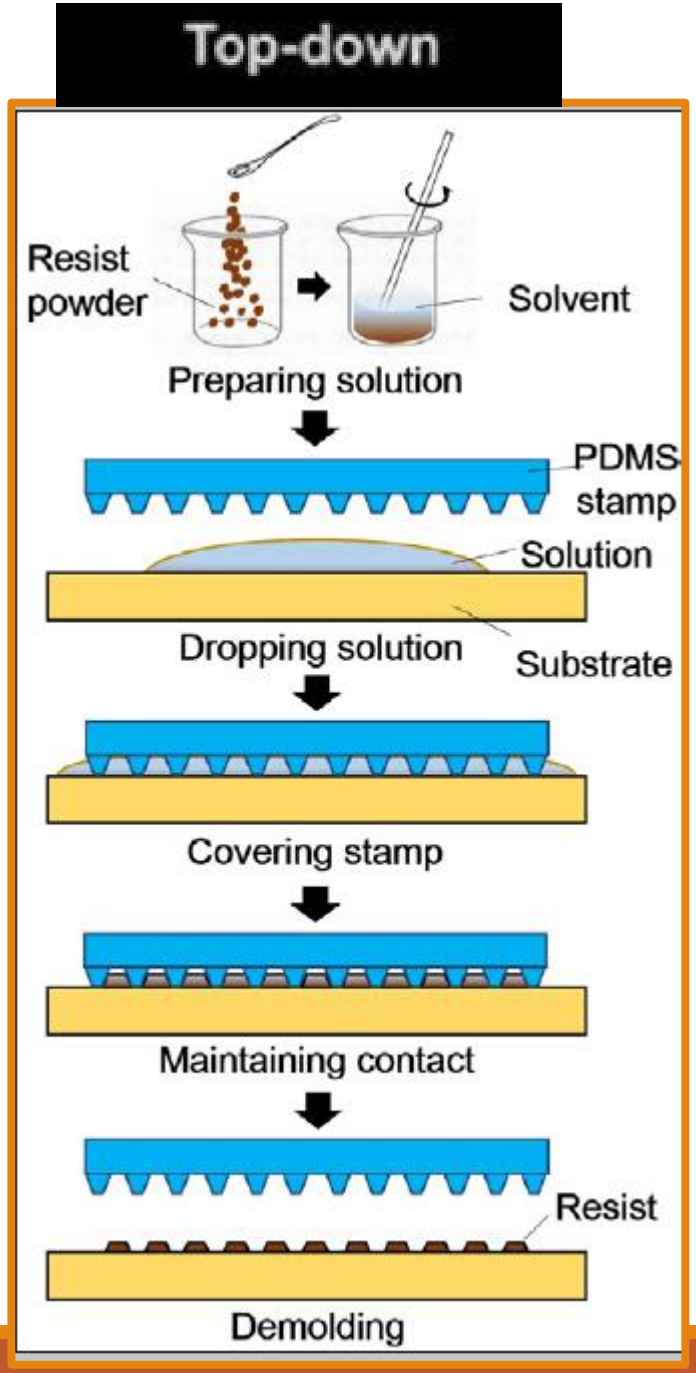
لیتوگرافی نوری

لیتوگرافی نوری به سه شکل مختلف انجام می شود:
الف) چاپ تماسی،
ب) چاپ مجاورتی
ج) چاپ پرتوافکنی



روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

لیتوگرافی مبتنی بر مُهر

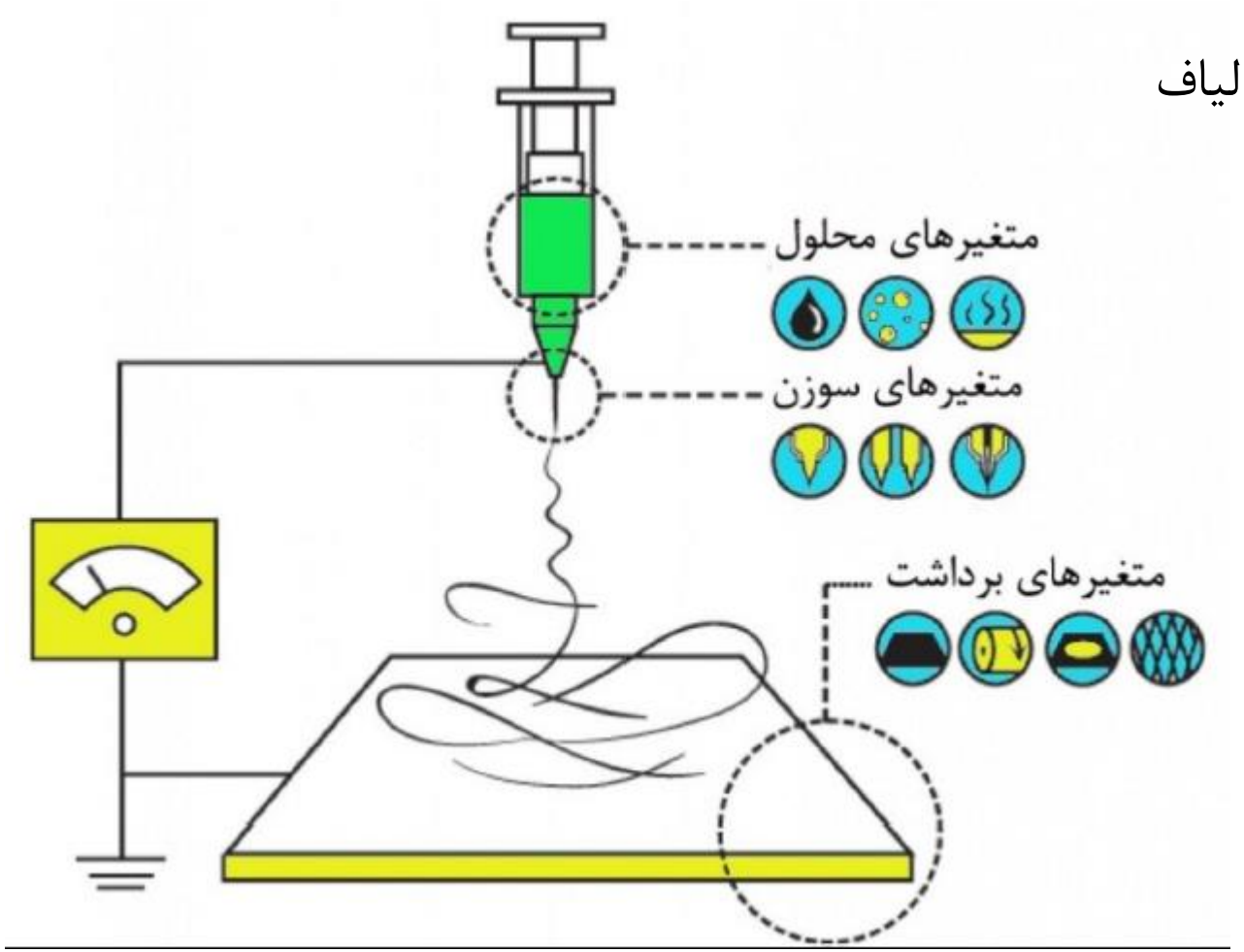


Top-down

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

الکتروریسی

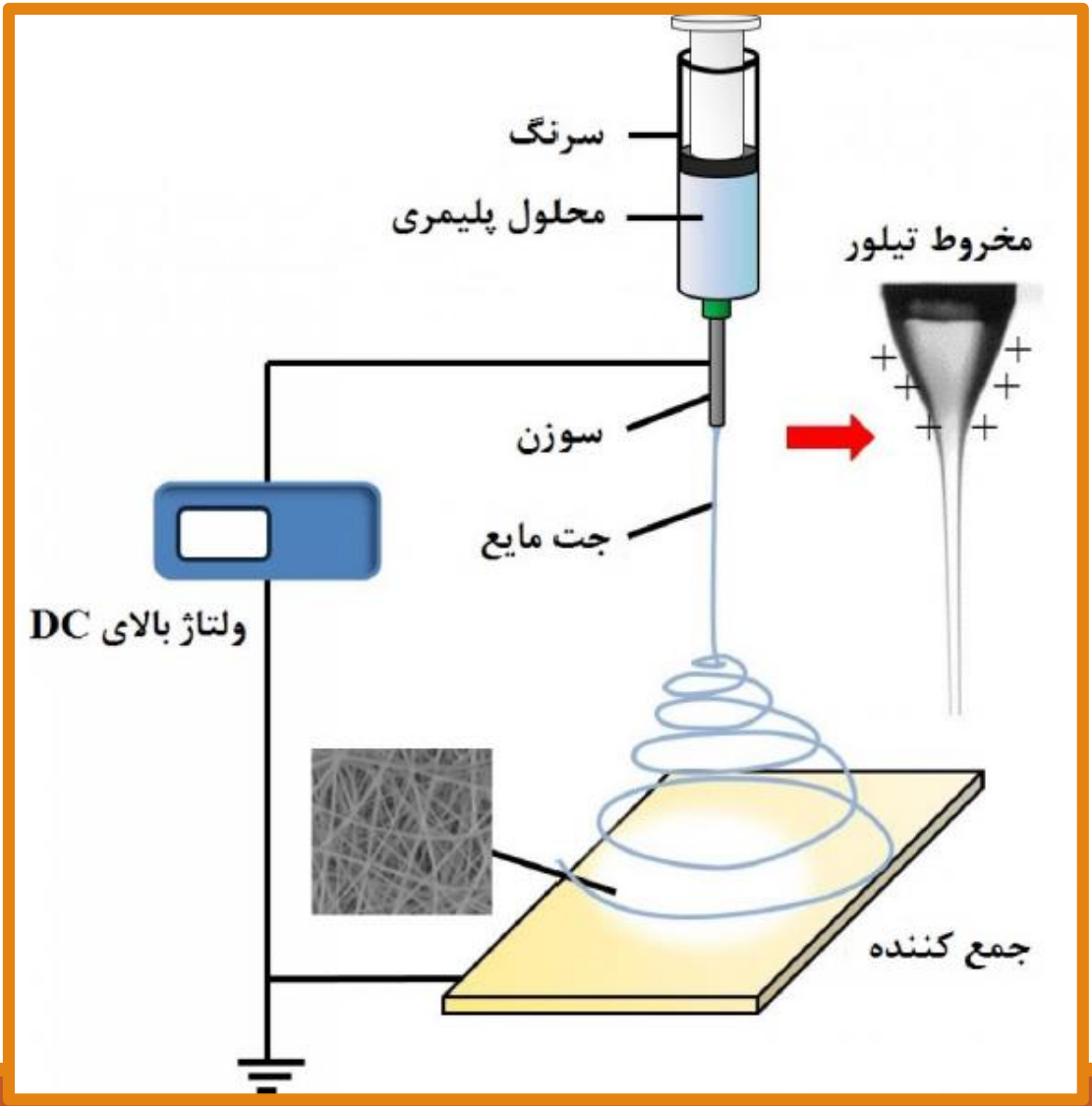
- تولید نانوالیاف



روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

Top-down

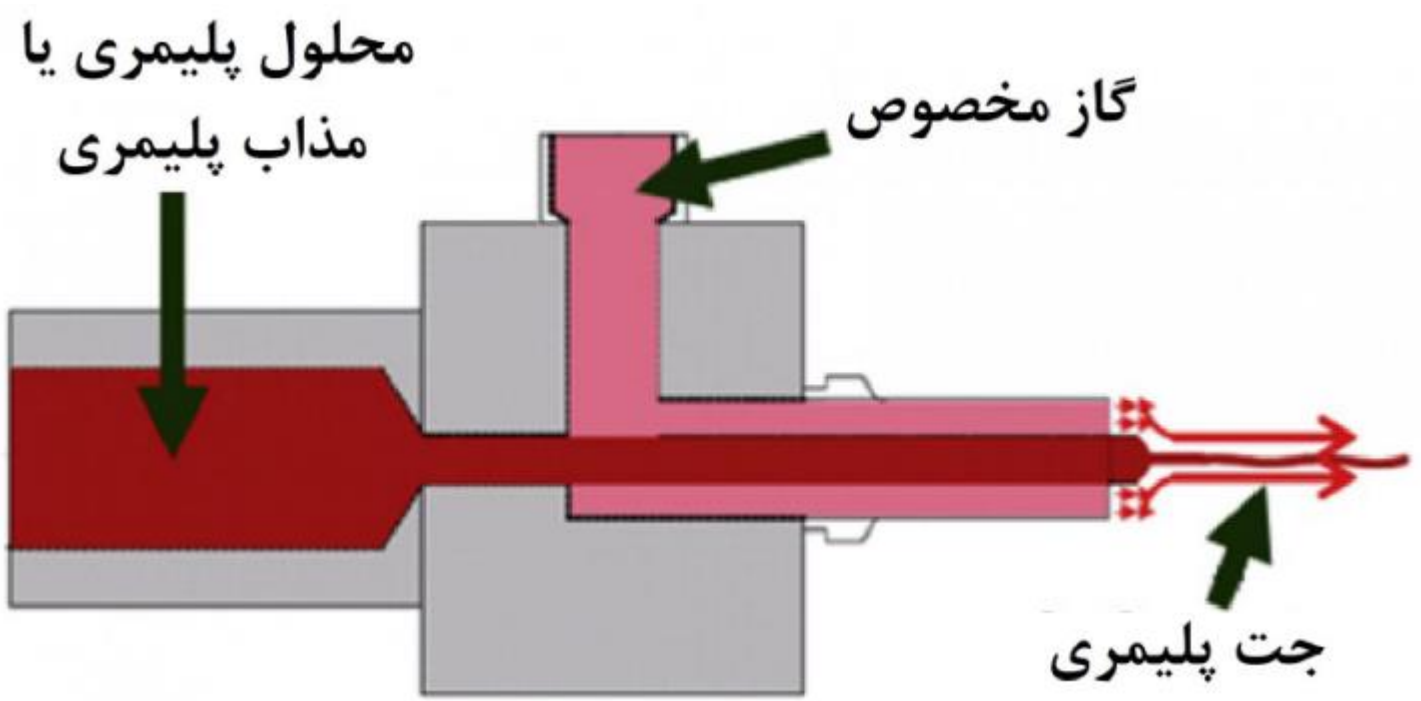
فرآیند متداول الکتروریسی



Top-down

روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

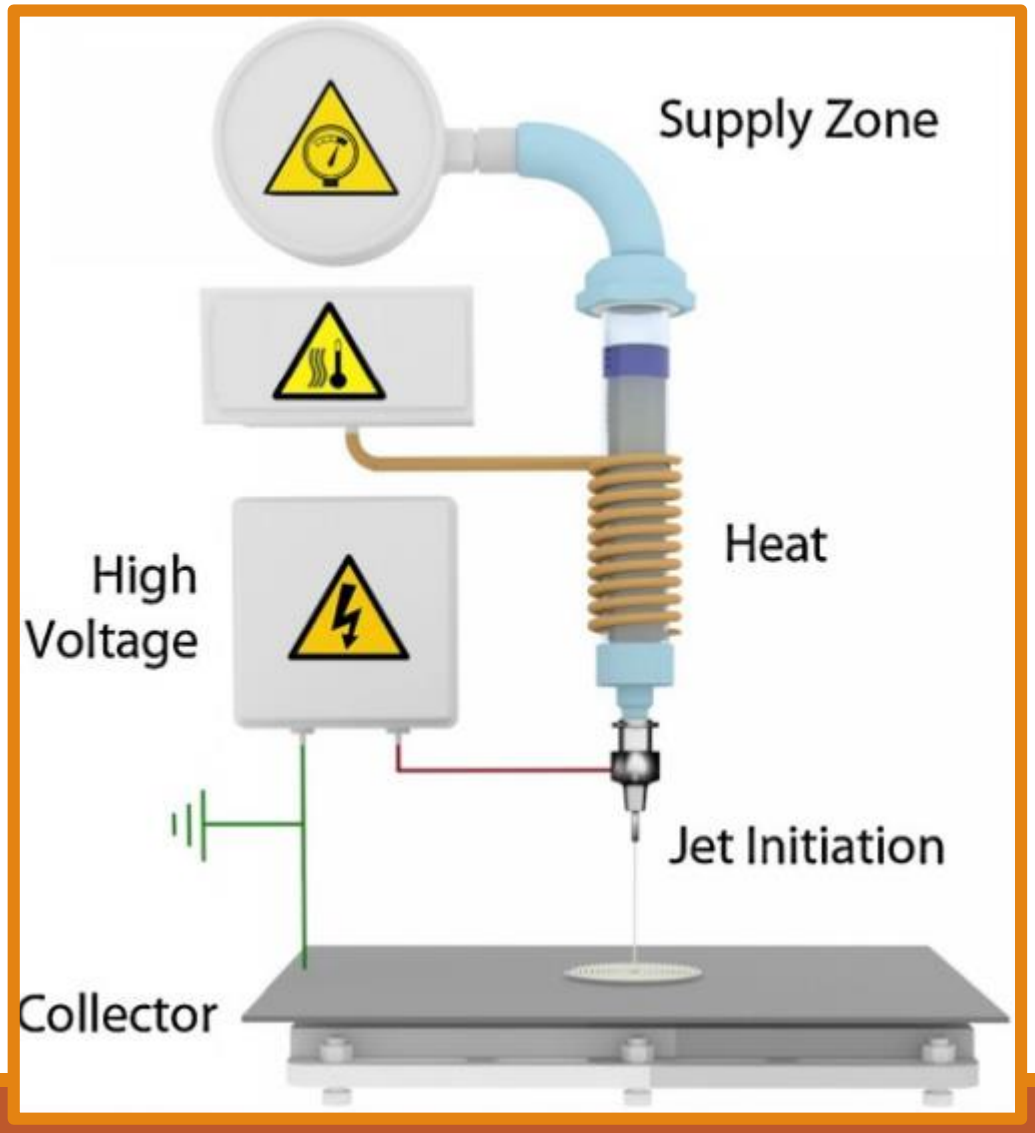
انواع روشهای الکتروریسی
الکتروریسی به کمک گاز



روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

Top-down

انواع روشهای الکتروریسی
الکتروریسی مذاب

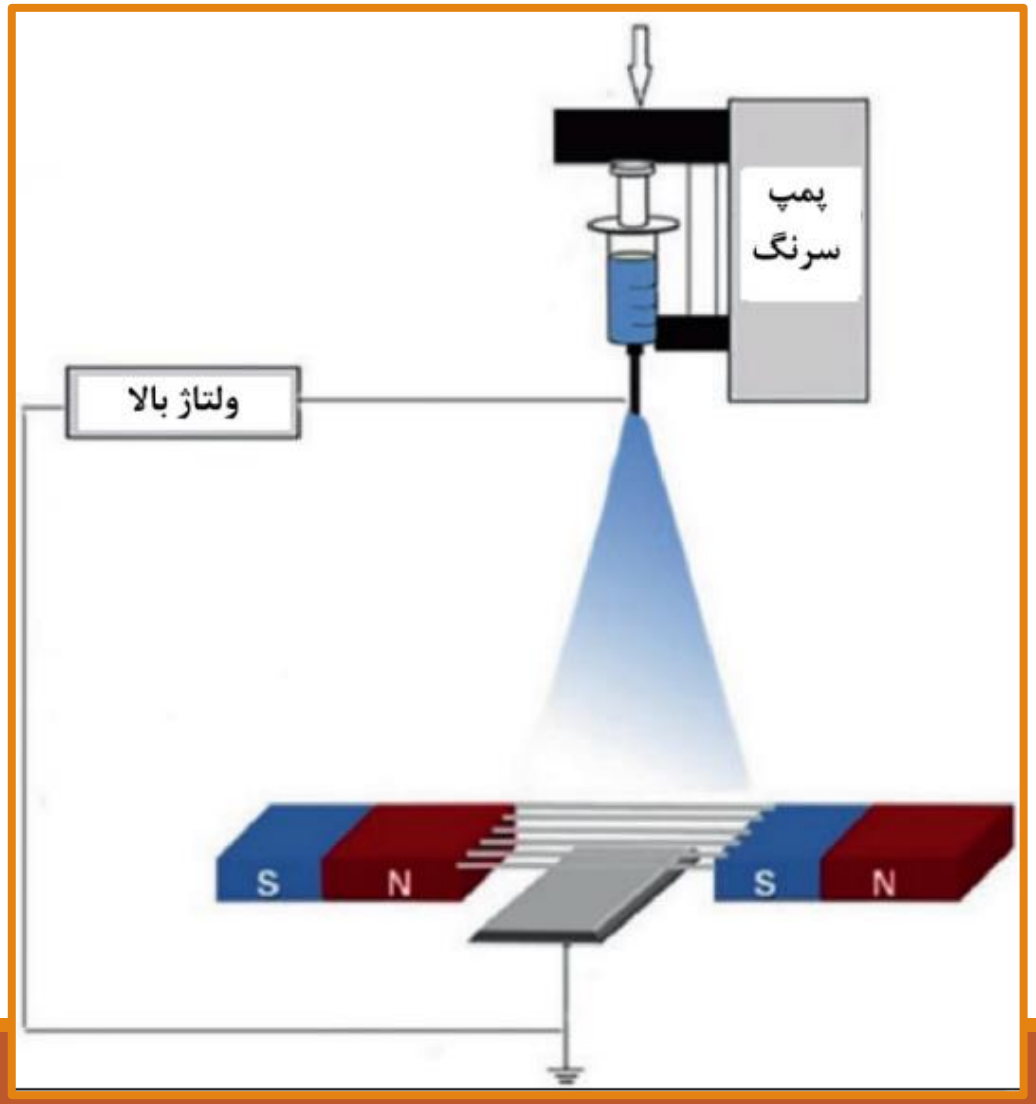


روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

Top-down

انواع روشهای الکتروریسی

الکتروریسی به کمک میدان مغناطیسی

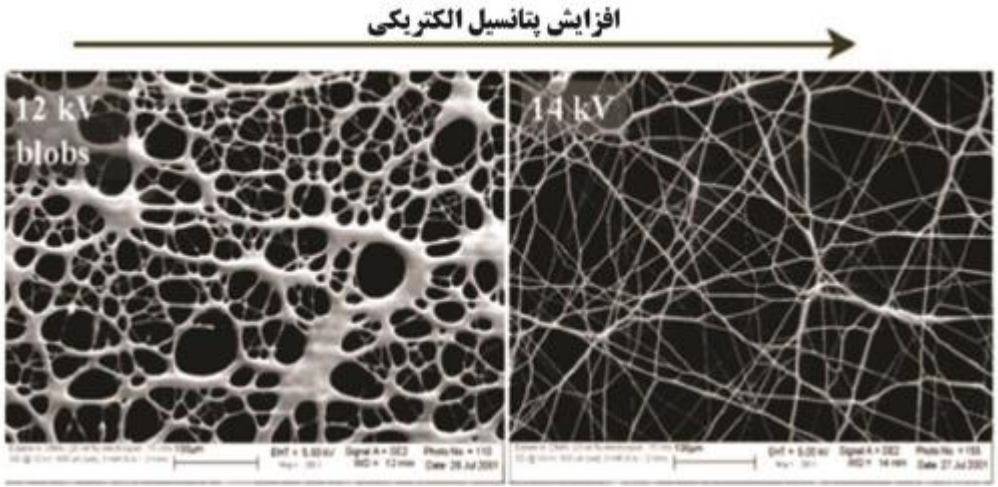


روش‌های ساخت و سنتز نانو مواد

Top-down

عوامل موثر بر مورفولوژی نانوالیاف الکتروریسی شده

- غلظت محلول
- وزن مولکولی محلول
- ولتاژ اعمالی
- نوع جمع کننده
- فاصله نوک سوزن و جمع کننده
- رطوبت و دما



Top-down

نمونه‌های از تولید نانوالیاف با روش الکتروریسی