



... بنده عرض نمی‌کنم که حتماً و ظرف دو سال یا سه سال بدین معنی به دبستان‌های اولی و ثانیه‌ای بریم - سال‌های گویم ریخت اول -
لیکن باید به این باشد: اولاً و ثانیاً، کشور از لحاظ علمی سطحش خارج شود. توفیر علم سنتی‌اش این است.
نابین به جایی بریم که در این مرزها، هر چه ممکن است، پیش برویم؛ هر چه ممکن است، منقسم، در باب علم مادی و علمی سعادت‌ناهن فرابردیم.
تفاوت نگاه دین - یعنی اسلام - به علم با نگاهی که دنیای مادی به علم می‌نگریست. و همین است... علم مادی نوایم برای سعادت بشر
برای رشد بشر، برای شکوفایی بشر، برای استمرار سعادت و آرزوهای قومی بشر.

بیانگت تمام معتمد رهبری و دیده‌ار وزیر علوم و استادان دانشگاه تهران

۱۳۸۹/۱۱/۱۳



تهیه نانوذرات مغناطیسی به روش شیمیایی



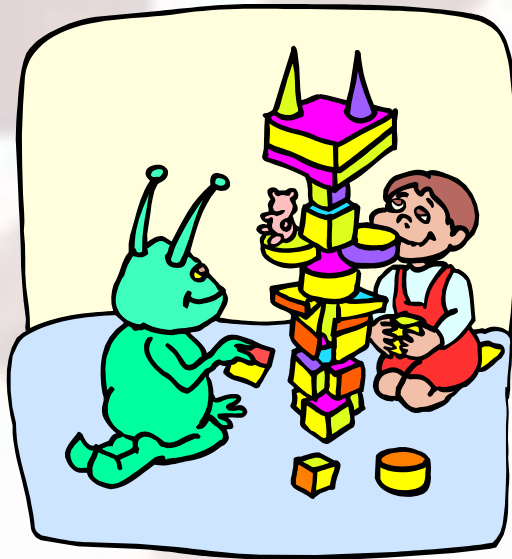
پژوهشکده نانو فناوری و مواد پیشرفته
دانشگاه صنعتی اصفهان

علیرضا علافچیان
دکترای شیمی

روشهای ساخت نانوذرات



• روش از بالا به پایین



• روش پایین به بالا

اتم به اتم ، مولکول به مولکول

روشهای متداول ساخت نانوذرات

- رسوب فیزیکی بخار

- سایش مکانیکی

- مسیرهای شیمیایی از محلول

مزایای روشهای شیمیایی

- طراحی سطح مولکولی مواد
- همگنی ترکیب شیمیایی در سطح ملکولی
- کنترل اندازه ذرات
- کنترل توزیع اندازه
- کنترل مورفولوژی
- کنترل اندازه متراکم شدن
- اصلاح سطح ذرات در طول سنتز و یا پس از سنتز

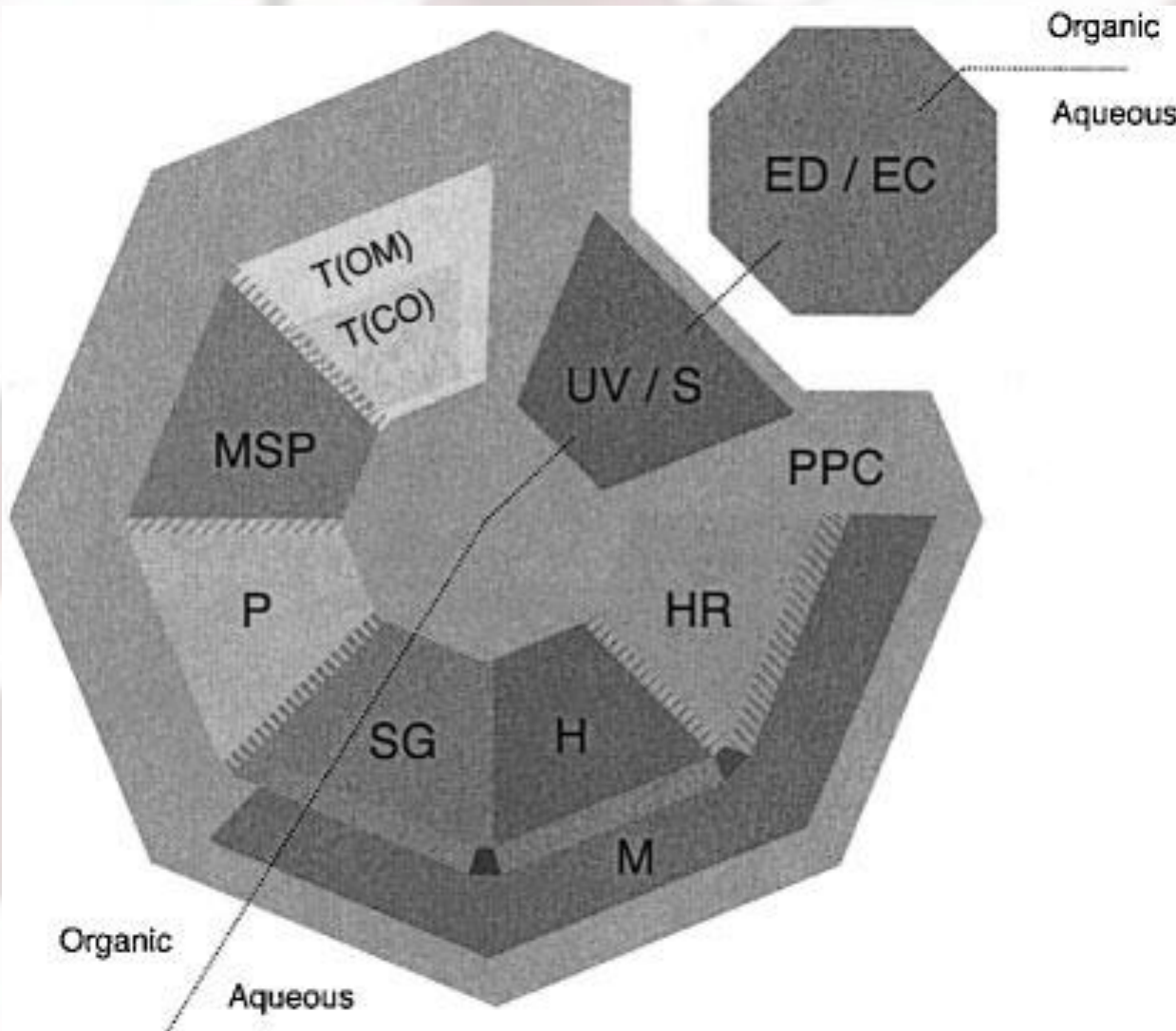
معایب روشهای شیمیایی

- سمی بودن
- آلودگی محصول
- احتمال به هم چسبیدن ذرات
- مشکل تولید در مقیاس بزرگ

روشهای شیمیایی

- همرسوبی : (P)
- تجزیه نوری : (UV)
- هیدروترمال (آبی - حرارتی): (H)
- سونو شیمی : (S)
- سولوترمال (حلالی - حرارتی): (H)
- سل ژل : (SG)
- کاهش هیدرید: (HR)
- الکتروشیمیایی : (EC)
- مایسل یا میکروامولسیون: (M)
- احتراقی
- تجزیه حرارتی (تجزیه آلی فلزی): (OM) T
- تجزیه حرارتی (تجزیه کربونیل): (OC) T

دیاگرام شماتیک تکنیک های سنتز شیمیایی نانوذرات مغناطیسی



1. هم رسوبی

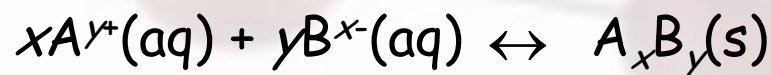
- هم رسوبی شامل وقوع همزمان هسته زایی، رشد، درشت شدن، و یا فرآیندهای تراکم است

- واکنش هم رسوبی شامل مراحل زیر است:

I. محصولات نامحلول تحت شرایط فوق اشباع بالا تشکیل شده.

II. هسته زایی یک گام کلیدی است، و تعداد زیادی از ذرات کوچک تشکیل خواهد شد.

III. فرآیندهای ثانویه مانند تجمع، به طور چشمگیری در اندازه، مورفولوژی و خواص محصولات تاثیر می گذارد.



عوامل موثر در روش هم رسوبی

• غلظت کاتیون فلزی

• نوع عامل رسوب دهنده

(عامل رسوب نه تنها در اندازه ذرات بلکه در خلوص فاز موثر است.)

اسید سیتریک

اسید اگزالیک

• دما

• سرعت همزدن محلول

• pH



M = منگنز، مس، روی و نیکل

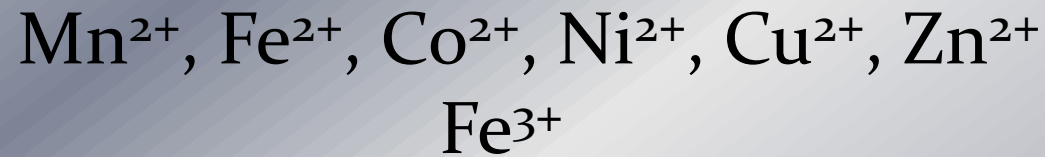
$Fe(OH)_3$ شروع رسوب گذاری در pH برابر 2.6

$Mn(OH)_2$ رسوب در pH بالاتر از 9.4

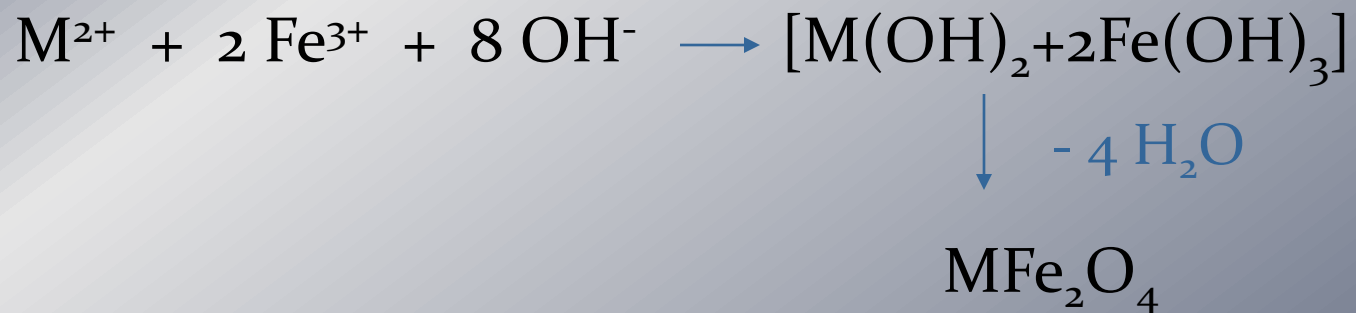
$Zn(OH)_2$ در pH برابر با 7.6

مثال

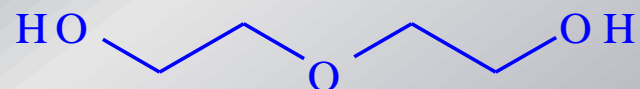
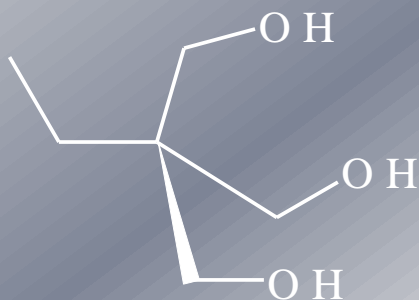
Metal chlorides – hydrated or anhydrous:



The reference reaction: co-precipitation in aqueous medium



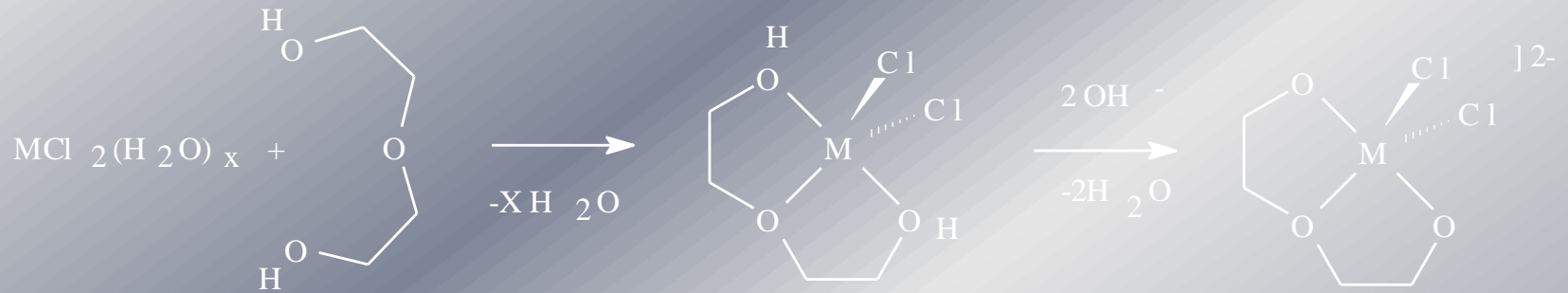
حالاها / عامل كمپكس دهنده



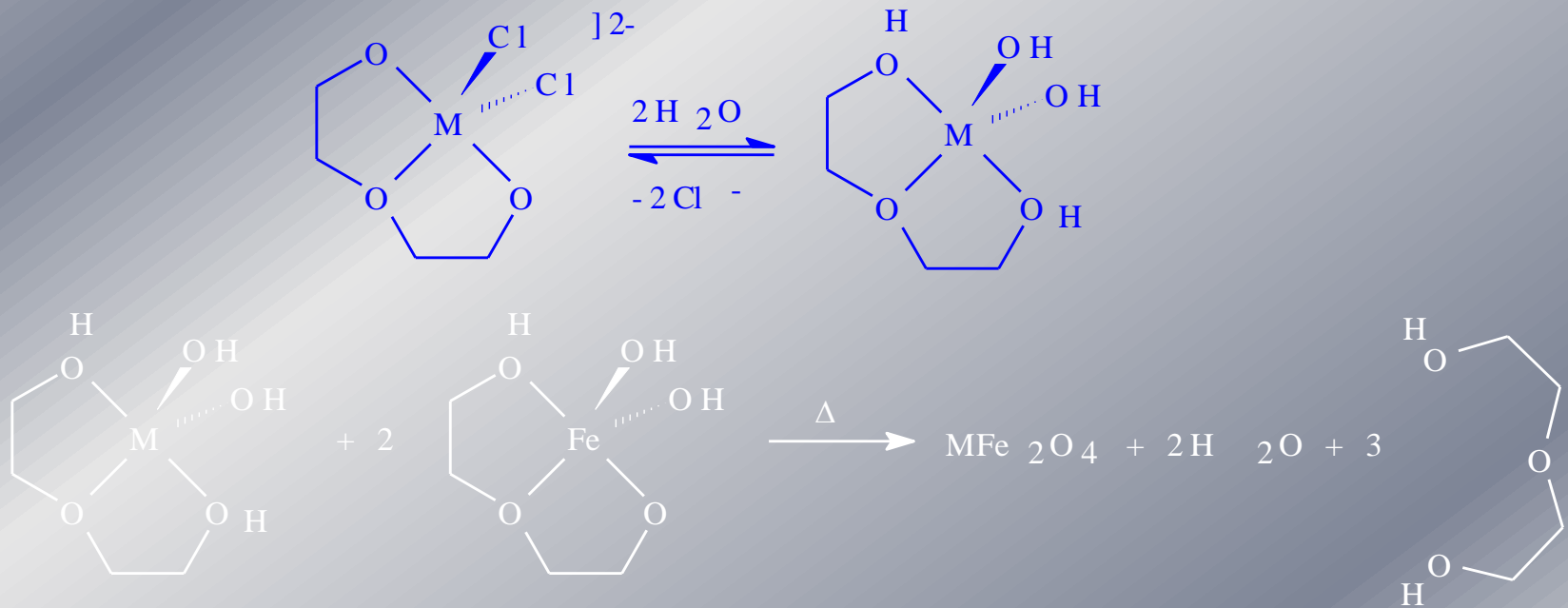
diethylene glycol: $\epsilon = 32$; b.p. 245°C

Reagents: $\text{MCl}_2 + 2 \text{FeCl}_3 + 8 \text{NaOH}$

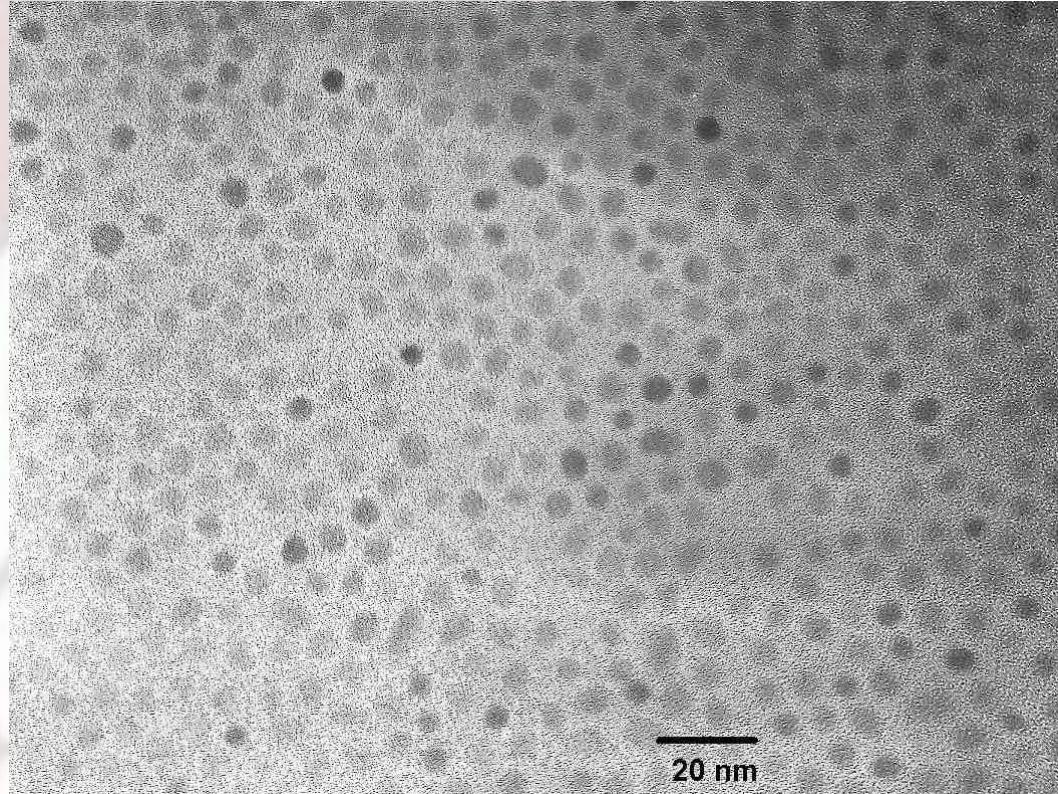
a) Formation of metal chelate alkoxide complexes in parent alcohol solutions



b) Nucleation and growth of the nanoparticles



TEM Image For FeFe_2O_4



معایب و مزایا

• مزیت

مقادیر زیادی از ذرات را می توان سنتز کرد
بسیار توسعه یافته
قابلیت کنترل بالا
تولید محصولات بسیار پیچیده

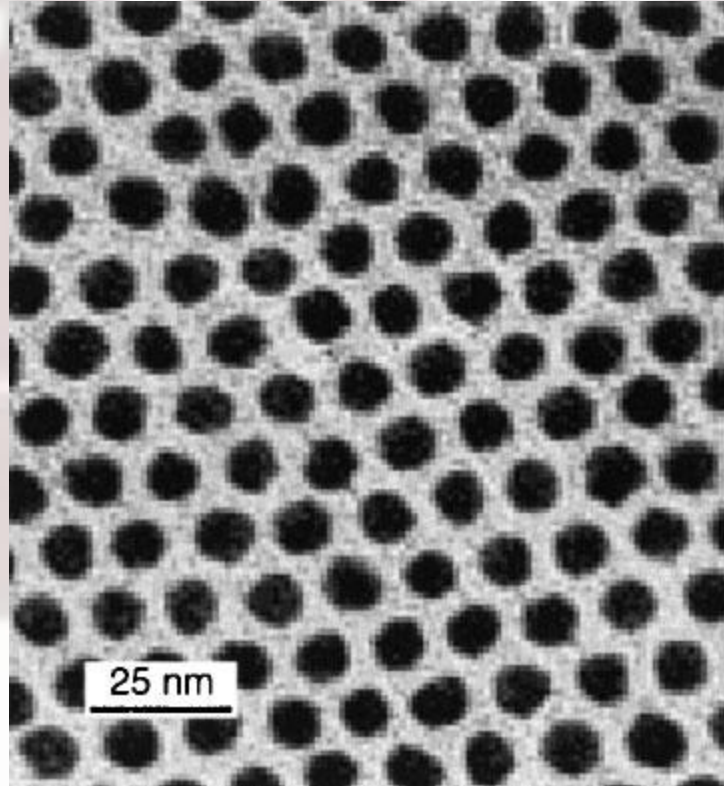
• معایب

احتیاج به مهارت نه تکنولوژی
نیاز به تعداد زیادی از گونه های شیمیایی و مراحل
به عنوان مثال، ایجینگ، فیلتر کردن، شستشو، خشک کردن، پخت (عملیات
حرارتی)

2. کاهش با استفاده از هیدرید

- کاهش نمک های فلزی با استفاده از سدیم بورهیدرید
- شیمی کاهش بسیار پیچیده است
- نانوذرات گروهی بسیار یکنواخت
- کنترل دقیق محتوای اتمسفر واکنش و آب در واکنش
- محلول های غیر آبی (دای متیل گلوکسیم، تتراهیدروفوران، و غیره)
- (آهن، نیکل، مس) آلیاژهای 10-20 نانومتر در قطر

مثال



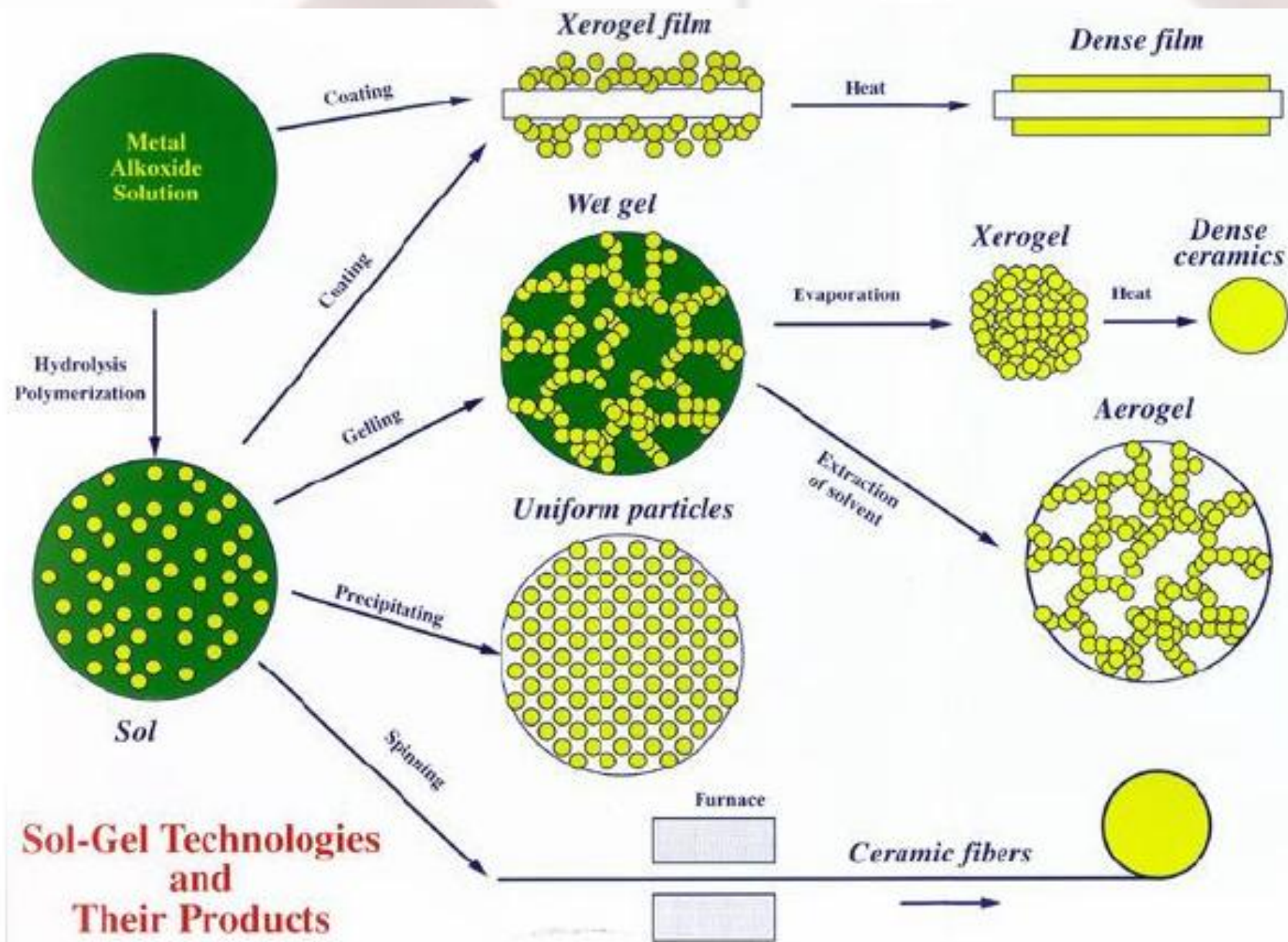
تصویر TEM از کبات توسط تزریق لیتیوم triethylborohydride به محلول اولئیک اسید گرم حاوی کلرید کبات و تثبیت کننده های آلی trioctylphosphene

3. سل ژل

- سل عبارت است از مخلوط کلوئیدی که ذرات جامد به صورت معلق در مایع قرار گرفته اند
- ژل ساختار پیوسته ای از ملکول های بزرگ آلی - فلزی است
- ژل حاصل محصول هیدرولیز سل است
- معمولاً مواد اولیه با لیگاند احاطه شده است.
- معمولاً از الکوکسیدهای فلزی و یا یونهای فلزی هیدروکسیل شده استفاده می شود

مراحل فرآیند سل ژل

- آماده سازی محلول همگن بوسیله حل سازی ماده اولیه آلی-فلزی (حل کردن نمک های معدنی در آب)
- تبدیل محلول همگن به سل با استفاده از عامل مناسب (آب خاص، HCl، NH_4OH ، NaOH)
- تبدیل سل به ژل با استفاده از واکنش های پلیمراسیون
- تبدیل ژل به محصول مانند فیلم نازک و قطعات حجیم به روش های متداول ذوب، خود احتراقی و غیره



عوامل موثر بر فرآیند

- نوع عامل کلیت کننده ← بر سرعت هیدرولیز موثر است (مورفولوژی و اندازه ذره)
- دمای تکلیس (مورفولوژی و اندازه ذره)
- ضریب کمپلکس دهنده ← در مقادیر کم ساختار آمورف و در مقادیر زیاد ساختار کریستالی است (خواص ذرات)
- pH

مثال

- نانو ذرات فریت نیکل

$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ (0.4 M), $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ (0.8 M), PAA
محلول شفاف سبز در $\text{pH}=3$



دمای 50 درجه
→

سل قهوه ای رنگ

دمای 400-300 درجه
→

فریت نیکل

معایب و مزایا

- سنتز در دمای کم
- خلوص بالا
- همگنی مناسب
- کنترل دقیق اندازه و توزیع ذرات
- امکان ساخت مواد کریستالی و غیر کریستالی جدید
- استوکیومتری دقیق در تولید ماده نهایی
- انعطاف پذیری تولید و کنترل محصول

معایب نمک های معدنی

- شیمی آبی یونهای فلزی تا حدودی پیچیده است
- وجود آنیونها در محلول ممکن است محصولات نا خواسته بدهد
- ایجاد رسوب از مواد اولیه معدنی مشکل است زیرا عواملی چون pH، غلظت محلول، نحوه اضافه کردن، میزان مخلوط شدن واکنشگرها، دما، هندسه ظرف واکنش و.. موثر است
- طولانی بودن زمان تولید
- عدم ساخت نانو ذرات غیر اکسیدی

معایب الکوکسیدهای فلزی

- قیمت بالا
- سمی بودن
- طولانی بودن زمان تولید
- عدم ساخت نانو ذرات غیر اکسیدی

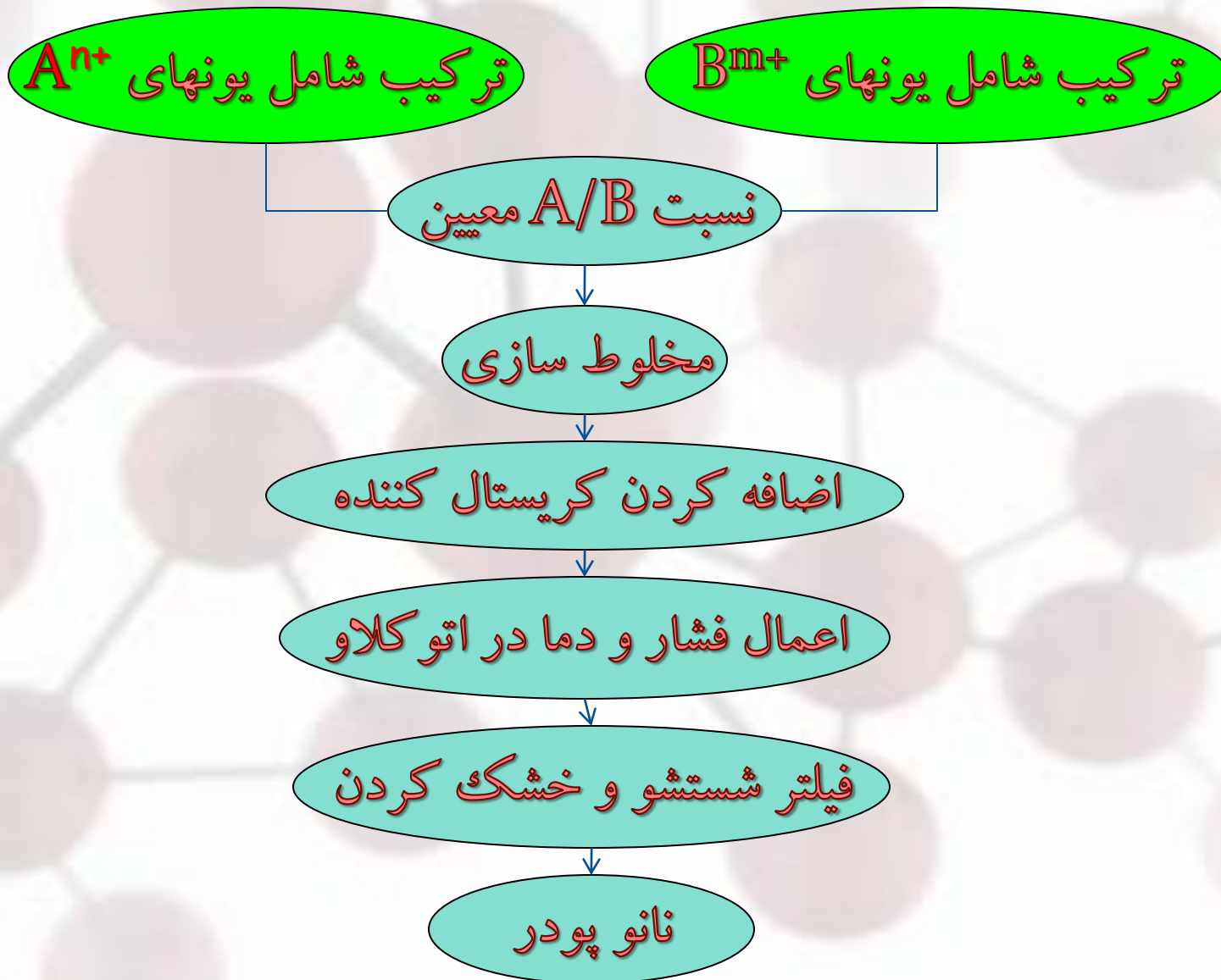
4. سولو ترمال (حلالی - حرارتی):

- آب به عنوان یک واکنش دهنده در شرایط بحرانی تسریع روند واکنش هیدرولیز را ممکن می سازد
- فرایندهای دما بالا عموماً باعث رشد ناخواسته دانه و تشکیل فازهای نامطلوب است
- استفاده از حلالهای تری اکتیل فسفین که برای تهیه نانو ذرات اکسیدی به کار گرفته می شود به دلیل نقطه جوش بالا مشکلاتی چون سمی بودن و گران بودن و کار کردن مشکل با این حلالها مطلوب نیست
- برای استفاده از یک حلال در دمایی بالاتر از نقطه جوش از روش سولو ترمال استفاده می شود
- در یک ظرف مهر و موم شده (بمب، اتوکلاو، و غیره)، حلال می توان به درجه بالاتر نقاط جوش خود برسد.
- مکانیزم در فرایند سولو ترمال حل کردن و تبلور مجدد است

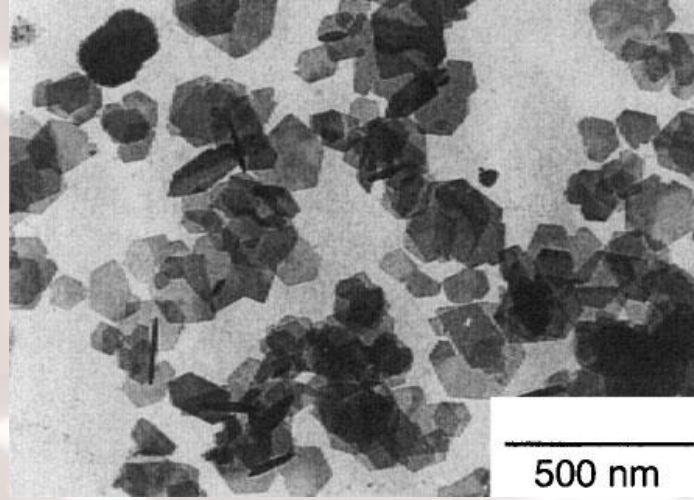
سولوترمال (حلالی - حرارتی):

- وجود محلول بخار و یا سیال تحت دما و فشار بالا اثرات زیر را دارد
- نقش کاتالیزور واکنش را دارد
- محیطی برای انتقال فشار، دما و انرژی مکانیکی است
- محیط انجام واکنش است
- هیدروکسیدها، اکسیدها و یا نمک ها را می توان تولید کرد

مراحل تولید نانوذرات



سولوترو مال (حلالی - حرارتی):



- ماده اولیه: $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $Ni(NO_3)_2$
- کریستال کننده: $NaOH$
- حلال: آب
- دما: 200 درجه
- زمان: 6 ساعت
- اندازه ذرات: 80 نانومتر

عوامل موثر بر فرآیند

- نوع و میزان ماده اولیه
- دما و زمان
- pH
- عوامل دیگر مانند ترتیب اضافه کردن

مزایا و معایب

- امکان جوانه زنی همگن ذرات در محلول
- تولید ذرات مشخص با خلوص بالا
- تولید پودرهایی با فاز کریستالی بیشتر
- توزیع یکنواخت اندازه ذرات
- چگالی بالای ذرات (کم بودن تخلخل های داخلی)
- همگنی بالای ذرات
- تغییر استوکیومتری
- طولانی بودن زمان فرایند
- عدم توانایی تولید عناصر خالص فلزی
- وجود عوامل متعدد

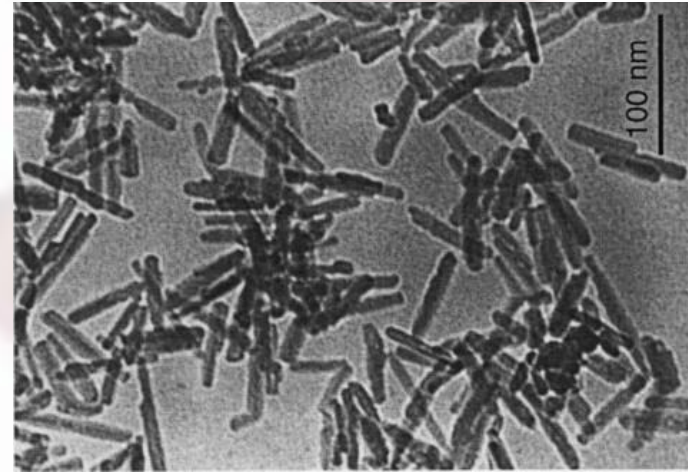
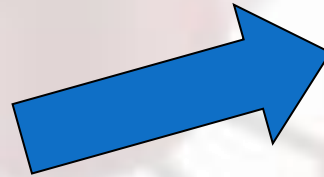
5. سونو شیمی

- تشکیل حباب در داخل سیال
- دمای حدود 5000 کلوین
- فشار بسیار زیاد ($\sim 20\text{MPa}$)
- سرعت سرمایش زیاد

Examples: sonochemical synthesis



20 kHz sonochemical processor



Fe_3O_4 nanorods prepared sonchemically in aqueous solution containing iron (II) acetate and b-cyclodextrin (TEM)

مثال واکنش های تولید Fe_3O_4

- $H_2O \rightarrow H^\circ + OH^\circ$
- $H^\circ + H^\circ \rightarrow H_2$
- $OH^\circ + OH^\circ \rightarrow H_2O_2$
- $Fe(CH_3COO)_2 \rightarrow Fe^{2+} + 2CH_3COO^-$
- $Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^-$

عوامل موثر بر فرآیند

● توان امواج ماورا صوت

● نیروی جاذبه زمین

● افزودنی ها و عوامل فعال سطحی

● زمان

مزایا و معایب

- نرخ تولید زیاد
- قابل کنترل بودن فرآیند
- تولید نانو ساختار با شکل یکنواخت خلوص بالا
- توزیع باریک اندازه ذرات
- امکان تولید بسیاری از نانو ذرات اکسیدی
- امکان توده ای شدن نانو ذرات تولیدی
- سمی بودن مواد مصرفی

6. رسوب دهی الکترو شیمیایی

● اساس روش بر انجام واکنش های اکسیداسیون و احیا در فاز مایع توسط اعمال جریان و ولتاژ مناسب است

● روش پالسی

● ولتاژ رسوب دهی

● زمان رسوب دهی

● pH

● دما

● غلظت الکترو لیت

● افزودنی های آلی

رسوب دهی الکترو شیمیایی

- nickel nanoparticles , 2–250 nm
- iron oxide nanoparticles , 3–8 nm
 - Fe_2O_3
 - Fe_3O_4
 - Co_3O_4
 - NiO
 - CoFe_2O_4

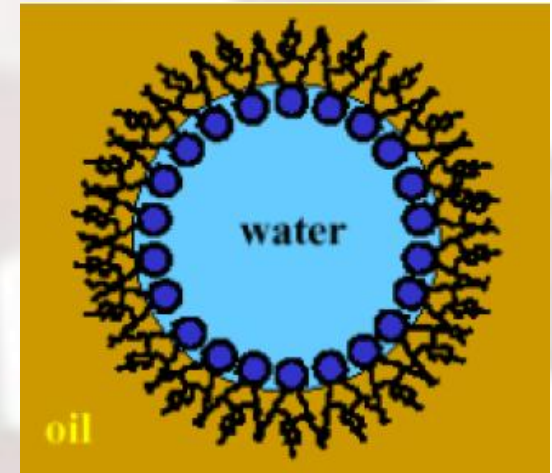
مزایا و معایب

- سهولت و عدم پیچیدگی فرایند تولید
- امکان کنترل خواص نانوذرات بوسیله کنترل شرایط تولید
- خلوص بالا
- پایداری ذرات تولید شده و تنوع مواد قابل تولید
- سرعت تولید زیاد و هزینه نسبی کم
- لزوم استفاده از زیر لایه مناسب
- لزوم حذف زیر لایه
- امکان توده ای شدن پس از حذف زیر لایه
- سمی بودن الکترولیت های مورد استفاده عدم کارایی در تولید موادی که پتاسیل احیا آنها بالاست

7. میکروامولسیون

میکروامولسیون مخلوطی از دو مایع آب در روغن و یا بالعکس است که یکی در دیگری به صورت قطرات ریز پخش شده است

- cetyltrimethylammonium bromide (CTAB)
- sodium dodecylsulphate (SDS)
- polyethoxylates (Igepal, Brij, Tween, $C_{12}E_5$)



$(Mn,Zn)Fe_2O_4$, $(Ni,Zn)Fe_2O_4$, $ZnFe_2O_4$, and $BaFe_{12}O_{19}$

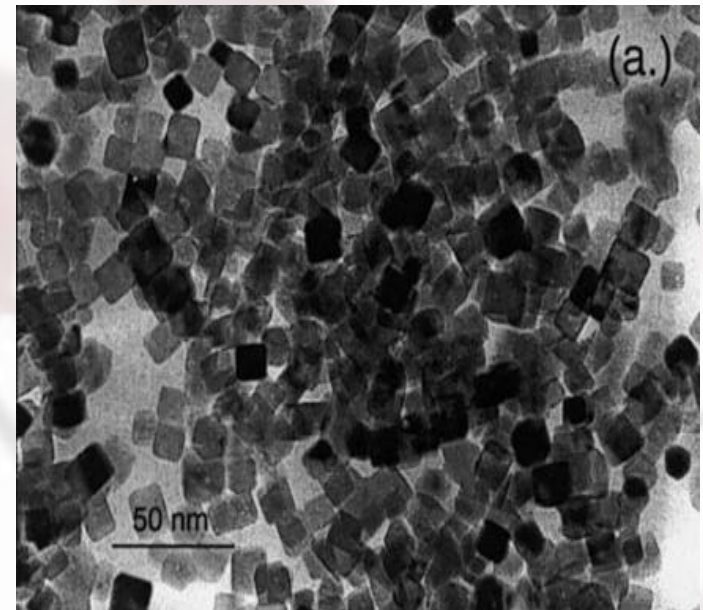
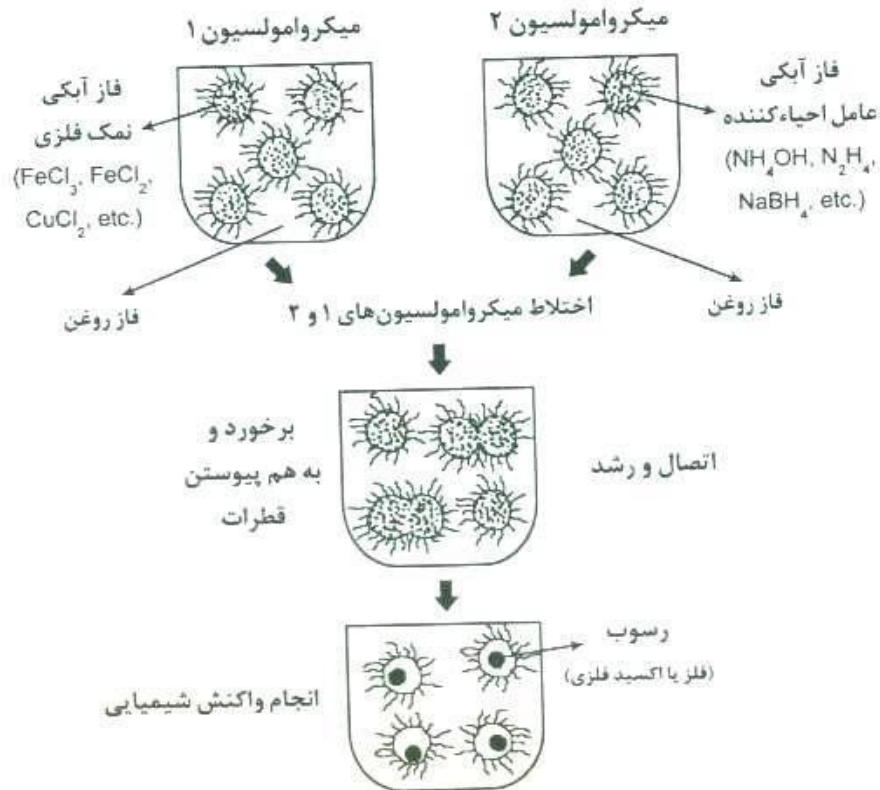
➤ 5 and 50 nm

➤ spheroidal morphology

➤ typical size variations of 10%,

امکان کنترل دقیق اندازه ذرات و توزیع آن

میکروامولسیون



TEM of $KMnF_3$ nanoparticles synthesised using reverse micelles

8. سنتر احتراقی دمای پایین

- سل ژل احتراقی، خوداحتراقی نیترات-سیترات، پیرولیز سل ژل

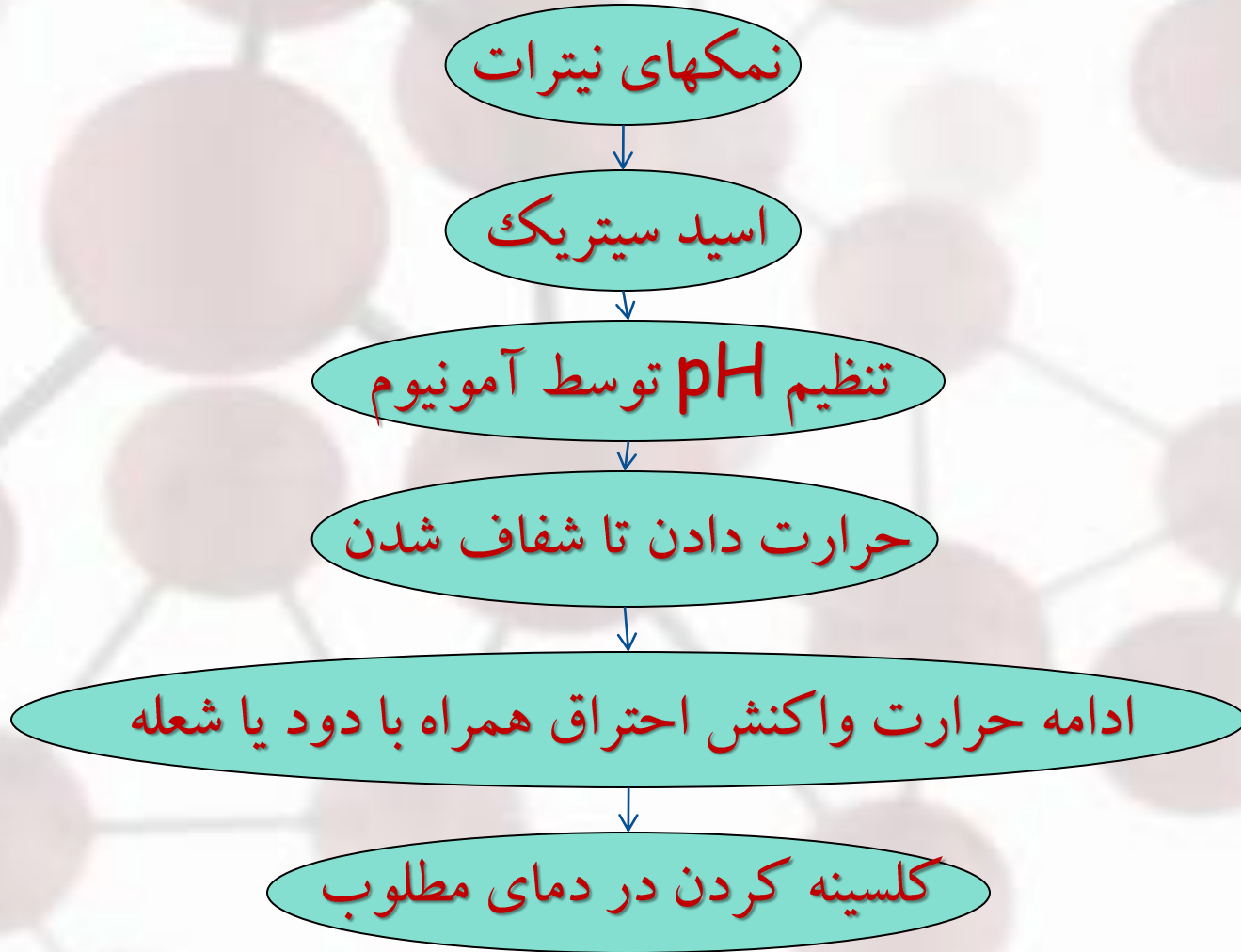
- نیترات فلزات

- نیترات آمونیوم و یا آمونیوم پرکلرات

- یک سوخت آلی مانند اسید سیتریک، اوره و یا کربوهیدرازید

عموما از سیتریک اسید استفاده می شود زیرا تنها به عنوان ماده احیا کننده (سوخت) عمل می کند بلکه عامل کیفیت کننده نیز هست

مراحل تولید نانو ذرات



عوامل موثر بر فرآیند

- مواد اولیه
- نسبت مواد اولیه به سوخت آلی
هرچه سوخت آلی کمتر ذرات درشتتر
- pH محلول
- افزایش pH ذرات درشت تر
- دمای کلسینه کردن

مزایا و معایب

- عدم پیچیدگی فرایند تولید
- هزینه کم
- همگنی ترکیب شیمیایی زیاد
- خلوص بالا
- ذرات ریز با توزیع یکنواخت

9. تجزیه حرارتی و تجزیه نوری

- یکی از ساده ترین روش برای آماده نانوذرات تجزیه از پیش سازهای آلی فلزی است. این تجزیه ممکن است توسط گرما و یا نور (تجزیه شیمیایی بر اثر نیروی تابشی) باشد

- دمای تجزیه کنترل رشد نانوذرات را بر عهده دارد. از آنجا که اندازه و مورفولوژی در خواص نانوذرات اثر دارد ، کنترل این خواص هدف اصلی است

بررسی مواد نانوذرات تولید شده توسط تکنیک های مختلف سنتز شیمیایی

Compound*	Method†	Size, nm	Morphology	Characterisation‡	Ref.
Fe	PPC	<200	Agglomerates	TEM, XRD, ICP, SQUID	355
α -Fe (β -FeOOH)	PPC and M	30-180	Needles	TEM, XRD, VSM	356
Fe (Fe_3O_4)	PPC	20-200	Spheres	TEM, XRD, FTIR, VSM, ACSus	357
α -FeOOH	PPC	7-48	...	XRD, BET, MS	358
α -FeOOH	PPC	20-200	Needles	TEM, XRD, FTIR	359
α -FeOOH	PPC	10-150	Needles	SEM, XRD, SAXS, SQUID,	360
β -FeOOH	PPC	10-450	Needles	TEM, XRD, EXAFS, BET, ICP	361
γ -FeOOH	PPC	<400	Needles	TEM, XRD, ICP, FTIR	362
δ -FeOOH	PPC	10-100	Platelets	TEM, XRD, FTIR	363
MgFe_2O_4	PPC	5-20	...	XRD, ND, ICP, MS, SQUID	319, 339
MnFe_2O_4	PPC	~40	Spheres?	TEM, XRD, ND, EELS	254
MnFe_2O_4	PPC	4-15	Spheres	TEM, XRD, BET, DSC, SQUID	327
MnFe_2O_4	PPC	7-25	Spheres	TEM, XRD, magnetic fluxmeter	25
MnFe_2O_4	PPC	5-15	Spheres	TEM, XRD, VSM	26
Fe_3O_4	PPC	<80	Spheres	TEM, XRD, ICP, FTIR	362
Fe_3O_4	PPC	<10	Spheres	TEM, XRD, SQUID, ACSus	364
Fe_3O_4 /surfactant	PPC	<10	Spheres	TEM, XRD, SQUID, ACSus	320

Compound*	Method†	Size, nm	Morphology	Characterisation‡	Ref.
Fe ₃ O ₄ , CoFe ₂ O ₄	PPC	3–15	Spheres, self-assembled (SA)	TEM, XRD, XPS, SQUID	365
CoFe ₂ O ₄	PPC	7–12	Spheres	TEM, VSM	24
CoFe ₂ O ₄	PPC	5–20	Spheres	TEM, XRD, magnetic fluxmeter	25
CoFe ₂ O ₄	PPC	5–130	Spheres, needles	TEM, XRD, VSM	26
CoFe ₂ O ₄	PPC	600–1000	Spheres	TEM, XRD, XPS, FTIR, AA, magnetic susceptibility	366
Co _{1-x} Ni _x Fe ₂ O ₄	PPC	<30	...	TEM, XRD, VSM	367
Co _{1-x} M _x Fe ₂ O ₄ (M=Gd, Pr)	PPC	6–87	...	XRD, TGA, VSM	368
NiFe ₂ O ₄	PPC	4–15	...	XRD, VSM, MS	369
NiFe ₂ O ₄	PPC	50–200	Spheres	SEM, XRD, TGA, BET	370
NiFe ₂ O ₄	PPC	4–6	...	XRD, SQUID	371
NiFe ₂ O ₄	PPC	3–5	Spheres	TEM, XRD, magnetic birefringence	372
NiFe ₂ O ₄	PPC	700–900	Spheres	TEM, UVvis, Zeta potential, VSM?	373
ZnFe ₂ O ₄	PPC	<100	Spheres	SEM, XRD, TGA	374
Mn _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄	PPC	3–20	...	TEM, XRD, TGA, FTIR, ESR, SANS, VSM	28, 375
Mn _{0.66} Zn _{0.34} Fe ₂ O ₄	PPC	~9	...	TEM, XRD, AA, FMR, VSM	348
Ni _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄	PPC	10–20	Spheres	TEM, XRD, AA, FTIR, VSM	29
Ni _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄ /α-Fe/α-Fe ₂ O ₃	PPC	~20	Spheres	TEM, SEM, XRD, MS, VSM	376
Ni _{0.8} Zn _{0.2} Fe ₂ O ₄	PPC	14–1000	Spheres, agglomerates	SEM, XRD, VSM	377
Ni _{0.5} Zn _{0.5} Fe ₂ O ₄	PPC	~9	...	TEM, XRD, AA, FMR, VSM	348
α-Fe ₂ O ₃ /γ-Fe ₂ O ₃	PPC	20–50	Spheres	SEM, XRD	378
γ-Fe ₂ O ₃	PPC	4–12	...	XRD, ND, SANS, FMR	350
γ-Fe ₂ O ₃	PPC	2–9	Spheres	TEM, XRD	379
γ-Fe ₂ O ₃	PPC	6–12	Spheres	TEM, VSM	24
γ-Fe ₂ O ₃	PPC	2–15	Spheres	TEM, XRD, AA, DLS, SQUID	380
γ-Fe ₂ O ₃	PPC	<100	Platelets, rods	TEM, XRD, XPS, MS	381
LiFe ₅ O ₈	PPC	~10	...	XRD, FTIR, VSM	382
SrFe ₁₂ O ₁₉	PPC	35–40	Spheres	TEM, XRD, TGA, DTA, SQUID	383
BaFe ₁₂ O ₁₉	PPC	250–1000	...	SEM, XRD, TGA, DTA, XPS	384
BaFe ₁₂ O ₁₉	PPC	100–500	Hexagonal platelets, agglomerates	SEM, XRD, MS	351
BaFe ₁₂ O ₁₉	PPC	100–3000	Hexagonal platelets, agglomerates	SEM, XRD, DTA, VSM	385
BaFe ₁₂ O ₁₉	PPC	10–50	...	TEM, XRD, MS, VSM	20
BaFe ₁₂ O ₁₉	PPC	10–500	Hexagonal platelets, agglomerates	HRTEM, TEM, XRD, TGA, DTA, Raman, VSM	386
BaFe ₁₂ O ₁₉	PPC	400–3000	Hexagonal platelets	SEM, XRD, TGA, DTA, VSM	387
BaFe ₁₂ O ₁₉	PPC	10–3000	Platelets	TEM, XRD, TGA, VSM	388
(Fe,Ni,Cu)	HR	10–200	Spheres	TEM, XRD, TMA	38
Fe, γ-Fe ₂ O ₃	HR	~40	Wires	TEM, HRTEM, SEM, XRD, VSM, MS	389
Co	HR	20–100	Spheres	TEM, XRD, ICP	390
Co	HR	<40	Agglomerates	TEM, XRD, ICP, DSC, BET, SQUID	32
Co	HR	3–8	Spheres, SA	TEM, XRD, SAXS, SQUID	391
CoB ₂ , CoFe ₂ O ₄ , Fe ₃ O ₄ , γ-Fe ₂ O ₃	HR	2–5	Spheres	TEM, XANES, SAXS	56
Ni	HR	25–30	...	XRD, ICP	34
Ni	HR	2–5	Spheres	TEM, XRD, UVvis	392
CoPt (L1 ₀)	HR	20–25	Spheres	TEM, XRD, ICP, EDX, VSM, SQUID	393
(Fe,Zr,B) (Fe ₃ B) (ZrO ₂)	HR	5–15	...	SEM, XRD, EDX, EXAFS, AA, FTIR, DSC, MS, SQUID	394
(M,B) (M=Fe, Co, Ni, Mn)	HR	7–12	...	XRD, MS, ACSus	35

Compound*	Method†	Size, nm	Morphology	Characterisation‡	Ref.
(Fe,Ni,B)	HR	<50	Agglomerates	TEM, MS	36
(Fe,B) amorphous	HR	50–150	Spheres	TEM, DSC, BET, ICP, MS	395
Fe _{80-x} Cr _x B ₂₀	HR	20–200	Spheres	TEM, XRD, TGA, MS, SQUID	396
Fe _{80-x} Cr _x B ₂₀ amorphous	HR	3–200	Spheres, agglomerates	TEM, XRD, MS, SQUID	397, 398
(Co,B) amorphous	HR	~40	Spheres	TEM, XRD, XPS, ICP, MS	399
ϵ -Co	HR	~5	Spheres, SA	SEM, TEM, XRD, SQUID	40
ϵ -Co	HR	~11	Spheres, SA	HRTEM, XRD	41
ϵ -Co	HR	7–10	Spheres, SA	HRTEM, XRD, SQUID	345
ϵ -Co	HR	~5	Spheres, SA	TEM, XRD	39
MnFe ₂ O ₄	H	~25	...	XRD, FB	400
MnFe ₂ O ₄	H	~540	Spheres, polyhedra	TEM, MS, SQUID	401
Fe ₃ O ₄	H	~340	Polyhedra	TEM, MS, SQUID	401
Fe ₃ O ₄	H	30–200	Polyhedra	TEM, XRD, AA	402
Fe ₃ O ₄	H	50–150	Spheres	SEM, XRD, BET	46
Fe ₃ O ₄	H	12–59	...	TEM, XRD, FTIR, TGA, VSM	403
CoFe ₂ O ₄	H	~400	Spheres, polyhedra	TEM, MS, SQUID	401
CoFe ₂ O ₄	H	5–25	Spheres	TEM, XRD, TGA, EDAX, SQUID	404
NiFe ₂ O ₄	H	20–100	Polyhedra	TEM, XRD, AA	402
NiFe ₂ O ₄	H	~680	Polyhedra	TEM, MS, SQUID	401
MFe ₂ O ₄ (M=Cu, Ni, Zn)	H	3–10	...	XRD, VSM	405
ZnFe ₂ O ₄	H	~300	Polyhedral	SEM, XRD, EDAX, VSM	47
ZnFe ₂ O ₄	H	20–80	Polyhedra	TEM, XRD, AA	402
Mn _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄	H	5–200	Spheres, polyhedra	TEM, SEM, XRD, AA, DTA, TGA, AES, FB	48
Mn _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄	H	10–17	...	XRD, ICP	406
Mn _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄ / α -Fe ₂ O ₃	H	<12	Spheres, large α polyhedra	TEM, XRD, VSM	407
Ni _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄	H	40–70	Spheres	SEM, XRD, VSM	408
SrFe ₁₂ O ₁₉	H	50–2000	Hexagonal platelets	SEM, XRD, AA, VSM	49
SrFe ₁₂ O ₁₉	H	8–30	Spheres	TEM, XRD, DTA, EPR	409
BaFe ₁₂ O ₁₉	H	100–1900	Hexagonal platelets	SEM, XRD	410
BaFe ₁₂ O ₁₉	H	50–800	Hexagonal platelets	SEM, XRD, VSM	51
BaFe ₁₂ O ₁₉	H	200–1000	Hexagonal platelets	SEM, XRD	411
BaFe ₁₂ O ₁₉	H	150–1500	Hexagonal platelets	SEM, XRD, BET, VSM	412
BaFe ₁₂ O ₁₉	H	150–10000	Hexagonal platelets, needles	TEM, SEM, XRD, DLS, DTA, TGA, VSM	50
BaFe ₁₂ O ₁₉	H	40–700	Hexagonal platelets	TEM, XRD	413–415
BaFe ₁₂ O ₁₉	H	100–200	Hexagonal platelets	TEM, XRD	52
BaFe ₁₂ O ₁₉ /Ba ₅ Fe ₈ O ₁₇	H	<1000	Polyhedra, spheres	TEM, XRD, VSM?	44
REFeO ₃ /RE ₃ Fe ₅ O ₁₂ (RE=Er-Lu)	H	<80	Spheres	TEM, XRD	45
α -Fe	M	10–100	Spheres	TEM, XRD, EELS, AGM, MS	62
Fe	M	2–15	Spheres	HRTEM, SAD	63
Fe	M	5–150	Needles	TEM, XRD, SAD, VSM	355
Fe	M	<5	Spheres	TEM, XRD, optical absorption, VSM, SQUID	416
α -Fe	M	50–150	Spheres	TEM, XRD, VSM?	417
α -Fe	M	20–1000	Spheres, needles	TEM, XRD, VSM	418, 419
α -Fe (β -FeOOH)	M	10–200	Polyhedra, spheres, needles	TEM	420

Compound*	Method†	Size, nm	Morphology	Characterisation‡	Ref.
Fe/FeB	M	<3	...	TEM, XPS, BET, MS	421
Co	M	<10	Spheres	TEM, XRD, SQUID	34, 422
Co	M	5–110	Spheres	TEM, Conductivity, AGM	64
Co	M	5–10	Spheres, SA	SEM, SQUID	423, 424
β -Co	M	2–10	Spheres	TEM, STM, XRD, SAXS, SQUID	425–427
Co	M	5–12	Spheres, SA	TEM, SEM, SQUID	428
β -Co	M	<5	Spheres	TEM, XRD, SQUID	317
Co/Au (core/shell)	M	5–25	Spheres	TEM, AFM, UVvis	429
Ni	M	2–16	Spheres	TEM, XRD, SQUID	249
(Fe,Cu)	M	5–50	Spheres	TEM, XRD, EDS, Conductivity, EELS, AGM, MS, SQUID	430
FePt ₃	M	8–10	Spheres	TEM, XRD, SQUID	431
(Fe,Cu,B)	M	5–30	Spheres	TEM, SEM, XRD, EDS, EELS, MS, AGM, SQUID	432, 433
Co ₂ B	M	2–20	Spheres	TEM, SAD, UVvis, AGM	434
FeOOH	M	<80	Needles	SEM, XRD, UVvis, Conductivity	60
MgFe ₂ O ₄ , CoFe ₂ O ₄	M	10–30	Spheres	TEM, ND, MS, SQUID	71
MnFe ₂ O ₄	M	5–10	Spheres	TEM, XRD, ND, ICP, MS, SQUID	435
MnFe ₂ O ₄	M	3–10	Spheres	TEM, XRD, SQUID	318
Fe ₃ O ₄	M	3–15	Spheres	TEM, DSC, TGA, SANS, SQUID	435
Fe ₃ O ₄	M	3–10	Spheres	TEM, XRD, SQUID	318
Fe ₃ O ₄	M	3–12	Spheres	TEM, XRD, AGM, MS, VSM	436
Fe ₃ O ₄	M	3–12	Spheres	TEM, XRD, VSM	437
Fe ₃ O ₄	M	5–20	...	TEM, XRD, AA, DLS, SQUID	438
Fe ₃ O ₄ (α -FeOOH)	M	8–100	Spheres, needles	TEM, XRD, BET, DSC, VSM	439
CoFe ₂ O ₄	M	<15	...	TEM, XRD, ND, ICP, SQUID	70
CoFe ₂ O ₄	M	3–10	Spheres	TEM, XRD, SQUID	318
CoFe ₂ O ₄	M	10–18	Spheres	TEM, XRD, EXAFS, SQUID	440
CoFe ₂ O ₄	M	2–8	Spheres	TEM, XRD, XANES, SAXS, Conductivity, MS, AGM, SQUID	352, 441–443
CoFe ₂ O ₄	M	2–15	Spheres	TEM, XRD, EDS, MS, SQUID	444, 445
CoFe ₂ O ₄	M	2–8	...	TEM, XRD, SAXS, EDS, SQUID	446
CoFe ₂ O ₄	M	5–35	Spheres	TEM, XRD, ND, ICP, MS, SQUID	253, 447
CoFe ₂ O ₄	M	5–20	Spheres	TEM, XRD, VSM	448
Co _x Fe _{3-x} O ₄	M	6–11	Spheres	TEM, XRD, SAD, MS	449
Co _{1-x} RE _x Fe ₂ O ₄ (RE=Ce–Er)	M	17–23	...	XRD, SQUID	450
Zn _{1-x} Fe _{2+x} O ₄	M	2–6	Spheres	TEM, EDS, MS, SQUID	451
Zn _{1-x} Fe _{2+x} O ₄	M	2–50	Spheres	TEM, XRD, DLS, BET, ICP, SQUID	452
Mn _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄	M	25–130	Spheres	TEM, XRD, BET, PCS	65
Mn _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄	M	3–1000	Agglomerates	SEM, XRD, BET, DTA, TGA	453
Co _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄	M	<7	Spheres	TEM, SAD, EDS, AGM, FMR, SQUID	454, 455
Ni _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄	M	20–150	Spheres	TEM, XRD, BET, PCS	65
γ -Fe ₂ O ₃	M	3–12	Spheres	TEM, XRD, AGM, MS, VSM	436
γ -Fe ₂ O ₃	M	4–20	Spheres	TEM, SEM, XRD, MS, SQUID	456
γ -Fe ₂ O ₃ /Fe ₃ O ₄	M	2–14	Spheres	TEM, XRD, VSM	457
SrFe ₁₂ O ₁₉	M	9–120	Hexagonal platelets	TEM, XRD, BET, DTA, TGA, VSM	21
SrFe ₁₂ O ₁₉	M	65–1000	Hexagonal platelets, agglomerates	TEM, XRD, BET, DTA, TGA, FTIR, MS, VSM	73
SrFe ₁₂ O ₁₉	M	3–100	...	TEM, XRD, DTA, TGA, SQUID	458

Compound*	Method†	Size, nm	Morphology	Characterisation‡	Ref.
BaFe ₁₂ O ₁₉	M	3–15	...	TEM, XRD, VSM	66
BaFe ₁₂ O ₁₉	M	5–100	Spheres	TEM, XRD, DTA, TGA, VSM	459
Co[Fe(CN) ₅ NO]	M	22–31	Polyhedra	TEM, FTIR	66
Cr ₃ [Cr(CN) ₆] ₂ ·H ₂ O	M	15–200	Polyhedra	TEM, FTIR	66
Co ₄ [Fe(CN) ₆] ₄	M	12–22	Polyhedra	TEM, FTIR	66
Co/PVP	T(OM)	<2	Spheres	TEM, HRTEM, SQUID	74
Co	T(OM)	3–5	Spheres, SA	HRTEM, WAXS, SQUID	93
		17 × 10	rods		
Ni/PVP	T(OM)	<5	Spheres, SA	TEM, EELS, FTIR, EDS	460
Ni/PVP	T(OM)	<5	Spheres, SA	HRTEM, WAXS, SQUID	85
Ni	T(OM)	4 × 15	Rods	TEM, SQUID	92
Ni	T(OM)	10–15	Rods	TEM, SQUID	93
CoPt, CoPt ₃ , Co/Pt (core/shell)	T(OM)	<10	Spheres	TEM, SQUID	96
Co _x Pt _{1-x} /PVP	T(OM)	1–5	Spheres	TEM, FTIR, WAXS, SQUID	88
CoO, Co ₃ O ₄ /PVP	T(OM)	5–12	Spheres	TEM, HRTEM, WAXS, SQUID	75
γ-Fe ₂ O ₃	T(OM)	6–7	Spheres	TEM, XRD	91
CoFe ₂ O ₄	T(OM)	4–9	Spheres, SA	TEM, XRD, SQUID	98
SrFe _{12-x} O _{19-1.5x}	T(OM)	200–500	...	XRD, DTA, TGA, FTIR, FB	461
Fe	T(CO)	5–8	Spheres	TEM, SQUID	95
Fe/TOPO	T(CO)	2–11	Needles	TEM, SQUID	82
Fe/polymer (core/shell)	T(CO)	<100	Spheres	TEM, DSC, ICP, FTIR, NMR, SQUID	322
Fe, γ-Fe ₂ O ₃	T(CO)	10–15	Spheres	TEM, XRD	97
Co, CoO	T(CO)	4–5	Spheres	TEM, EELS	80
Co	T(CO)	50–100	Spheres	TEM, SQUID	94
Co	T(CO)	5–12	Spheres	TEM	462
Co	T(CO)	~12	Spheres	TEM, SQUID, FMR	463
Co, ε-Co	T(CO)	3–17	Spheres, rods, cubes, SA	TEM, XRD, EELS, HRTEM	78, 79
Co, ε-Co	T(CO)	8–12	Spheres, discs	TEM, XRD, HRTEM, SQUID	89
Co/PS	T(CO)	5–30	Agglomerates	TEM, FTIR	83
Co/HPS	T(CO)	2–15	Spheres	TEM, XRF, FMR	81
ε-Co/TOPO	T(CO)	4–25	Spheres, rods, SA	TEM, XRD	77
ε-Co/TOPO	T(CO)	15–25	Spheres, polyhedra	TEM, XRD	76
MnO	T(CO)	5–10	Spheres	TEM, XRD, SQUID	464
β-Fe ₂ O ₃ , γ-FeOOH	T(CO)	~30	Spheres	TEM, XRD, XPS, FTIR	465
Fe	UV	2–15	Chains	STM, ESR	198
Fe/PPO	S	1–12	Spheres	HRTEM, SQUID	466
Fe/SiO ₂	S	3–8	Agglomerates	TEM, XRD, DSC, TPD, TPR	102
(Fe,Co)		10–20			
Fe/Thiol	S	3–25	SA monolayers	AES, XRD, XANES, XPS, DSC, TGA, FTIR, MS	105, 106, 111
Fe/PVP	S	3–8	Spheres	TEM, SQUID	101
Fe amorphous	S	<30	Spheres	TEM, XRD, TGA, DSC, SQUID	99, 467
Fe, Co, (Fe,Co)	S	2–20	Spheres	TEM, XRD, DSC	100
Co	S	5–10	Spheres	TEM, FTIR, SQUID	468
Co	S	30–200	Platelets	TEM, SAD, Lorentz microscopy	108

Compound*	Method†	Size, nm	Morphology	Characterisation‡	Ref.
Ni	S	5–20	Spheres	TEM, XRD, TGA, DSC, SQUID	109
Ni/SiO ₂	S	10–50	Spheres	TEM, AFM	107
(Fe,Co)	S	<10	Spheres	TEM, SANS, DSC	103
(Fe,Ni)	S	<25	Agglomerates	TEM, XRD, TGA, DSC, BET, MS, SQUID	104
(Co,Ni)	S	<10	SA monolayers	TEM, SEM, XRD, TGA, BET, VSM	110
Fe ₃ O ₄ /PVA	S	12–20	Spheres	TEM, AFM, XRD, DSC, TGA, MS, SQUID	114
Fe ₃ O ₄	S	<20	Spheres	TEM, XRD, TGA, MS, SQUID	116
Fe ₃ O ₄	S	20–80	Rods	TEM, XRD, TGA, CHN, MS, VSM	119
Fe ₃ O ₄ , γ-Fe ₂ O ₃	S	7–11 × 17–21	Needles	TEM, SEM, XRD, MS, VSM	118
Co ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄	S	5–30	Polyhedra	TEM, XRD, DRS, BET	115
NiFe ₂ O ₄	S	<25	Agglomerates	TEM, XRD, BET, ESR, TGA, DSC	112
Fe ₂ O ₃ /UDA/OPA/DSA/OTS	S	5–25	Spheres	TEM, XRD, FTIR, EPR, TGA, MS, SQUID, VSM	113, 117
M _{1-x} P _x (M=Fe,Co,Ni)	SG	2–10	Hexagonal platelets	TEM, XRD	469
Fe/SiO ₂	SG	<10	Agglomerates	TEM, XRD, MS, VSM	134
(Ni/Pd)/PVP	SG	1–5	Spheres	HRTEM, XRD, XPS, VSM	108
Fe ₂ O ₃ /SiO ₂	SG	5–15 c	Spheres	TEM, Fluorescent microscopy	470
Fe ₃ O ₄ /SiO ₂		2–100 s			
CoFe ₂ O ₄	SG	10–50	...	XRD, MS, VSM	121
Co _{0.9} Mn _{0.1} Fe ₂ O ₄	SG	10–50	...	TEM, XRD, MS, VSM	123
Co _{1-x} Cr _x Fe ₂ O ₄	SG	5–20	Spheres	TEM, XRD, ICP, VSM	124
CoBi _{0.1} Fe _{1.9} O ₄	SG	10–80	...	AFM, XRD, RBS, TGA, MS, VSM	125
CoGd _{0.1} Fe _{1.9} O ₄	SG	11–30	...	XRD, MS, VSM	127
CoNd _{0.1} Fe _{1.9} O ₄					
Co _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄	SG	10–90	Agglomerates	SEM, XRD, MS, VSM	128
CoY _{0.1} Fe _{1.9} O ₄	SG	6–30	...	XRD, MS, VSM	126
CoLa _{0.1} Fe _{1.9} O ₄					
NiFe ₂ O ₄ /SiO ₂	SG	5–20	Agglomerates	XRD, TGA, FTIR, ESR, MS, VSM	136
NiFe ₂ O ₄	SG	5–30	Spheres?	TEM, XRD, DTA, BET, SQUID	122
Ni _{0.25} Cu _{0.25} Zn _{0.5} Fe ₂ O ₄	SG	40–50	Agglomerates	TEM, XRD, DTA, FTIR, ACPPerm	471
Ni _{0.5} Zn _{0.5} Fe ₂ O ₄ /Mg ₂ SiO ₄	SG	100–200	Agglomerates	SEM, XRD, ACPPerm	472
α-Fe ₂ O ₃	SG	20–60	Spindles, spheres	TEM, XRD, SAXS	473
α-Fe ₂ O ₃	SG	50–3300	Spheres, platelets	TEM, SEM, XRD, ICP, EDX, FTIR, UVvis	474
Fe ₂ O ₃ /SiO ₂	SG	9–50	Agglomerates	TEM, ESR, BET	135
BaFe ₁₂ O ₁₉	SG	100–250	Polyhedra	TEM, XRD, VSM	475
Ba ₄ Co ₂ Fe ₃₆ O ₆₀	SG	10–100	Spheres, cubes	TEM, XRD, XPS, BET, VSM	131
BaFe ₁₂ O ₁₉	SG	80–400	Hexagonal platelets	TEM, XRD, VSM	476
BaFe ₁₂ O ₁₉	SG	10–25	Platelets	TEM, XRD, TGA, DTA, SQUID, VSM	477
Ba _{1-x} Sr _x Fe ₁₂ O ₁₉	SG	80–85	Hexagonal platelets	SEM, XRD, MS, VSM	129
BaZnCoFe ₁₆ O ₂₇	SG	5–500	Spheres	TEM, XRD, VSM	130
La _{0.67} Ca _{0.33} MnO ₃	SG	30–60	Agglomerates	TEM, XRD, TGA, XPS, FTIR, VSM	133
Y ₃ Fe ₃ O ₁₂	SG	30–4520	Agglomerates	TEM, SEM, XRD, VSM, SQUID	132
Fe, Ni, Co, (Fe,Co), (Fe,Cu), (Co,Cu)	P	5–50	Spheres	TEM, SEM, XRD	149, 158
Fe, (Fe,Co), (Fe,Ni), (Co,Ni,Fe)	P	5–250	Spheres	SEM, XRD, VSM	141
Co	P	~1200	Agglomerates	SEM, XRD, FMR	166
Co	P	25–150	...	TEM, XRD, CHN, SQUID	171
Co/Mica	P	1–500	Agglomerates	SEM, XRD, UVvis, IR	163

Compound*	Method†	Size, nm	Morphology	Characterisation‡	Ref.
Co, Pt, CoPt, CoPt ₃	P	1–3	Spheres	TEM, XRD	160
Co/Ni/LDH	P	5–20	Turbostratic aggregate	TEM, XRD, TGA, DTA, FTIR, UV-NIR	165
Co, Ni, (Co,Ni)/PVP	P	100–600	Spheres	SEM, XRD, TGA, VSM	152
Co, (Co,Ni), (Co,Ni,Fe)	P	30–1000	Spheres	SEM, XRD, EDS, FMR, ACPPerm	143
Ni, Co	P	20–500	Spheres	TEM, XRD	169
Ni/montmorillonite	P	8–45	Spheres	HRTEM, XRD, VSM	161
Ni/PVP	P	5–2000	Spheres	SEM, XRD, FTIR, TPD	151
(Fe,Co)	P	~20	Spheres	TEM, XRD, EELS, ACPPerm	150
(Ni,Co)	P	200–700	Spheres	SEM, XRD, TGA	156
(Ni,Co)	P	200–2000	Spheres	SEM, XRD, VSM, Permeability	139, 140
(Ni,Co)	P	150–700	Spheres	SEM, XRD, TGA	157
(Ni,Co)	P	210–260	Spheres	TEM, SEM, XRD, EDS, Microwave permeability	144
(Ni,Co)	P	60–500	Spheres	TEM, XRD	148
(Ni,Co)	P	25–600	Spheres	SEM, XRD, WAXS, VSM	167
(Ni,Co)	P	200–500	Spheres	SEM, XRD, WAXS, VSM	478
(Fe,Ni)	P			XRD, TGA, FTIR, VSM	479
(Ni,Co), (Fe,Ni)	P	200–500	Spheres	TEM, XRD	142
(Ni,Co), (Fe,Ni,Co)	P	25–2000	Spheres	TEM, SEM, ACPPerm	145
(Ni,Co), (Fe,Ni,Co)	P	20–40	Spheres	TEM, SEM, SQUID, ACPPerm	146
(Ni,Co), (Fe,Ni,Co)	P	25–250	Spheres	TEM, FMR, ACPPerm	147
(Ni,Co), (Fe,Ni,Co)	P	25–3000	Spheres	SEM, XRD, XRF, TGA, GPC, TPD/MS, SQUID, ACPPerm	164
(Ni,Pd)/PVP	P	35–65	Spheres	TEM, XRD, XPS, TGA	480
(Co,Cu)	P	20–30	Spheres	TEM, XRD, NMR, EXAFS, VSM	137, 138
Co ₂ FeO ₄	P	4–8	Spheres	TEM, XRD, XANES, MS, DCSus	159
α-Fe ₂ O ₃	P	50–100	Spheres	SEM, XRD, FTIR	481
γ-Fe ₂ O ₃	P	2–8	Spheres	TEM, XRD, FTIR	173
γ-Fe ₂ O ₃ , α-Fe ₂ O ₃	P	80–100	Spheres	SEM, XRD, DRS	153, 155
Fe ₂ O ₃ , CoO	P	30–300	Spheres	SEM, XRD	154
Co	ED	3–5	Templated nanowires	TEM, HRTEM, VSM	177
Co	ED	~200	Templated nanowires	SEM, XRD, CV, VSM	178
Co	ED	40–50	Nanowires	TEM, FMR, SQUID	201
Co, (Co,Fe)	ED	18–78	Templated nanowires	HRTEM, TEM, XRD, VSM	184
Ni	ED	~6	Templated nanowires	TEM	186
Ni	ED	1–20	Wires	TEM	202
Ni	ED	25–30	Wires	TEM, SQUID	203
Ni	ED	50–100	Spheres	SEM	196
Ni, Co	ED	18–500	Templated nanowires	TEM, SEM, SQUID, VSM	179, 185
Ni, Co	ED	35–500	Templated nanowires	MFM, SQUID	182
Ni	ED	<70	Templated nanowires	TEM, Conductivity	180
Ni	ED	20–600	Spheres	SEM, TEM, CV	194
Ni, (Pd,Fe)	ED	<40	...	XRD, γγ angular spectroscopy	190
Fe ₂₆ Ni ₇₄	ED	~18	Templated nanowires	TEM, SEM, XRD, VSM	176
Cu/Co, Fe ₂₀ Ni ₈₀ , Co	ED	5–10	Wires	TEM, STEM, XRD, EELS, EDAX	200
CoPt, FePt	ED	25–100	Wires	TEM, XRD, VSM	183
CoPt	ED	40–60	Wires	SEM, XRD, VSM	5482

Compound*	Method†	Size, nm	Morphology	Characterisation‡	Ref.
Fe, Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄	ED	4–12	Wires	TEM, VSM, SQUID	483
Fe ₂ O ₃ , NiO, Co ₃ O ₄ , CoFe ₂ O ₄	ED	2–30	...	TEM, XRD, DLS, BET	189
SrFe _w O _z	ED	2–50	Agglomerates	SEM, XRD, ICP, SQUID	192
Fe, Ni, (Co,Ni)	EC	10–10000	Agglomerates	TEM, SEM, XRD, XRF, MS, SQUID	195
α-Fe, γ-Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄	EC	9–55	...	XRD, MS	249
Mn _x Zn _y Fe ₂ O _w	EC	20–2000	...	SEM, XRD, ICP-MS, SQUID	193
γ-Fe ₂ O ₃	EC	1–25	Agglomerates	TEM, XRD, FTIR, BET, Raman, MS, SQUID	191
α-Fe, Co, Ni, FePt	MSP	6–10	Spheres, SA	HRTEM, WAXS, VSM, SQUID	211
β-Co, hcp Co, mt-fcc Co	MSP	2–10	Spheres, SA	HREM, WAXS, SAXS, XRD, SQUID	206
(Fe,Pt)	MSP	2–5	Spheres, SA	TEM, PEELS, ICP, RBS, SQUID	3, 207
FePt	MSP	2–50	Spheres, triangular platelets	TEM, SEM, XRD	218
FePt/Fe ₃ O ₄	MSP	2–10	Spheres, SA	HRTEM, XRD, VSM, SQUID	214
FePt (L1 ₀)	MSP	3–6	Spheres, SA	HRTEM, XRD, SQUID	208, 213, 344
FePt (L1 ₀)	MSP	3–10	Spheres, SA	HRTEM, EXAFS, SQUID	215
FePt (L1 ₀)	MSP	2–8	Spheres, SA	TEM, SQUID	216
FePt (L1 ₀)	MSP	2–6	Spheres	TEM, XRD, RBS, XPS, MS	484
FePt (L1 ₀)	MSP	1–4	Spheres, SA	TEM, VSM, SQUID	209
FePt (L1 ₀)	MSP	2–5	Spheres, SA	TEM	210
FePt (L1 ₀)	MSP	3–5	Spheres	TEM, XPS, MS, VSM	212
FePt/Pt-Fe ₂ O ₃	MSP	8–12	Spheres	TEM, XPS	223
Pt-Fe ₂ O ₃	MSP	~10	Spheres	TEM, XRD, XPS	222
CoPt ₃ /ACA	MSP	1–50	Spheres, Wires	HRTEM, TEM, SEM, XRD, ICP, AES	221
FePd, CoPt, (Fe,Co)Pt (L1 ₀)	MSP	2–11	Spheres, SA	TEM, SEM, XRD, AGM, VSM	217, 220
(Fe ₄₉ Pt ₅₁) ₈₈ Ag ₁₂ (L1 ₀)	MSP	2–5	Spheres	TEM, XRD, VSM	485
Mn _{52.5} Pt _{47.5}	MSP	~3	Spheres	TEM, XRD, XRF, SQUID	219
(Sm,Co), (Nd,Fe)	MSP	~9	Clusters	TEM, SQUID	204
Fe ₃ O ₄	MSP	3–20	Spheres, SA	TEM, XRD	486

*ACA: 1-adamentanecarboxylic acid; DSA: dodecylsulphonic acid; HPS: hyper-cross-linked polystyrene; LDH: layered double hydride; mt-fcc: multi-twinned face centred cubic; OPA: octylphosphonic acid; OTS: octadecyltrichlorosilane; PPO: poly(dimethylphenylene oxide); PS: polystyrene; PVA: polyvinyl alcohol; PVP: polyvinylpyrrolidone; RE: rare earth; SDS: sodium dodecylsulphate; TOPO: trioctylphospheneoxide; UDA: 10-undecanoic acid.
 †EC: electrochemical; ED: electrodeposition; H: hydrothermal; HR: hydride reduction; PPC: precipitation; M: micellar or microemulsion; MSP: multisynchrotron processing; P: polyol; S: sonolysis; SG: sol-gel; T(CO): thermolysis – carbonyl decomposition; T(OM): thermolysis – organometallic; UV: photolysis.
 ‡AA: atomic absorption spectroscopy; ACPem: alternating current permeametry; ACSus: alternating current susceptometry; AES: Auger electron spectroscopy; AFM: atomic force microscopy; AGM: alternating gradient magnetometry; BET: Brunauer–Emmett–Teller (a method of measuring surface area); CHN: carbon–hydrogen–nitrogen analysis; CV: cyclic voltammery; DLS: dynamic light scattering; DRS: diffuse reflectance spectroscopy; DSC: differential scanning calorimetry; DCSus: direct current susceptometry; DTA: differential thermal analysis; EDAX: energy dispersive analysis of X-rays; EDX/ EDS: energy dispersive X-ray spectroscopy; EELS: electron energy loss spectroscopy; EPR: electron paramagnetic resonance; ESR: electron spin resonance; EXAFS: X-ray absorption fine structure (spectroscopy); FB: Faraday balance; FMR: ferromagnetic resonance; FTIR: Fourier transform infrared spectroscopy; GPC: gas phase chromatography; HRTEM: high resolution transmission electron microscopy; ICP: inductively coupled plasma; IR: infrared spectroscopy; MFM: magnetic force microscopy; MS: Mo¨ssbauer effect spectroscopy; ND: neutron diffraction; NMR: nuclear magnetic resonance; PCS: photon correlation spectroscopy; PEELS: parallel electron energy loss spectroscopy; RBS: Rutherford back-scattering spectroscopy; SAD: selected area electron diffraction; SANS: small angle neutron spectroscopy; SAXS: small angle X-ray spectroscopy; SEM: scanning electron microscopy; SQUID: superconducting quantum interference device magnetometry; STM: scanning tunneling microscopy; TMA: thermal mass analysis; TEM: transmission electron microscopy; TGA: thermal gravimetric analysis; TPD: temperature programmed desorption; TPR: temperature programmed reduction; UVVis: ultraviolet-visible spectroscopy; UV-NIR: ultraviolet-near infrared spectroscopy; VSM: vibrating sample magnetometry; WAXS: wide angle X-ray spectroscopy; XANES: X-ray absorption near edge spectroscopy; XRF: X-ray fluorescence; XPS: X-ray photoelectron spectroscopy; XRD: X-ray diffraction.

نتیجه گیری

- طراحی سطح مولکولی مواد، همگنی ترکیب شیمیایی در سطح ملکولی، کنترل اندازه ذرات، کنترل توزیع اندازه، کنترل مورفولوژی، کنترل اندازه متراکم شدن، اصلاح سطح ذرات در طول سنتز و یا پس از سنتز
- بسته به نوع وسایل موجود و کاربردی که در نظر گرفته می شود نوع ساخت انتخاب می گردد
- همرسوبی، هیدروترمال (آبی - حرارتی)، سولو ترمال (حلالی - حرارتی)، کاهش هیدرید، مایسل یا میکروامولسیون، تجزیه حرارتی (تجزیه آلی فلزی)، تجزیه نوری، سونو شیمی، سل ژل، الکتروشیمیایی

مراجع

- 1. M. M. Miller, G. A. Prinz, S. F. Cheng and S. Bounnak: Appl. Phys. Lett., 2002, 81, (2), 2211.
- 2-M. A. Willard, L. K. Kurihara, E. E. Carpenter, S. Calvin and V. G. Harris, Chemically prepared magnetic nanoparticles, International Materials Reviews 2004 VOL 49 NO 3-4 125-170.
- 3. S. Sun, C. B. Murray, D. Weller, L. Folks and A. Moser: Science, 2000, 287, 1989-1992.
- 4. http://www.ferro.com/usa/ferrofluid_technology_overview.htm
- 5. <http://www.cancernetwork.com/journals/oncology/o0006q.htm>
- 6. http://www.gatech.edu/news-room/archive/news_releases/zhang.html
- 7. A. E. Nielsen: In 'Kinetics of precipitation', 1964, New York, Pergamon Press.
- 8. A. G. Walton: In 'The formation and properties of precipitates', (reprint edn); 1979, New York, Robert Krieger.
- 9. M. G. Lagally: Jpn J. Appl. Phys., 1993, 32, 1493.
- 10. V. K. LaMer and R. H. Dinegar: J. Am. Chem. Soc., 1950, 72, 4847.
- 11-R. H. Kodama, A. E. Berkowitz, E. J. Mcniff and S. Foner: Phys. Rev. Lett., 1996, 77, (2), 394.

The image features three blue, glossy spheres resting on a light-colored, textured surface. The central sphere is in sharp focus, while the two flanking spheres are blurred. Overlaid on the central sphere is the Persian text 'با تشکر از توجه شما' in a yellow, stylized font with a drop shadow.

با تشکر از توجه شما

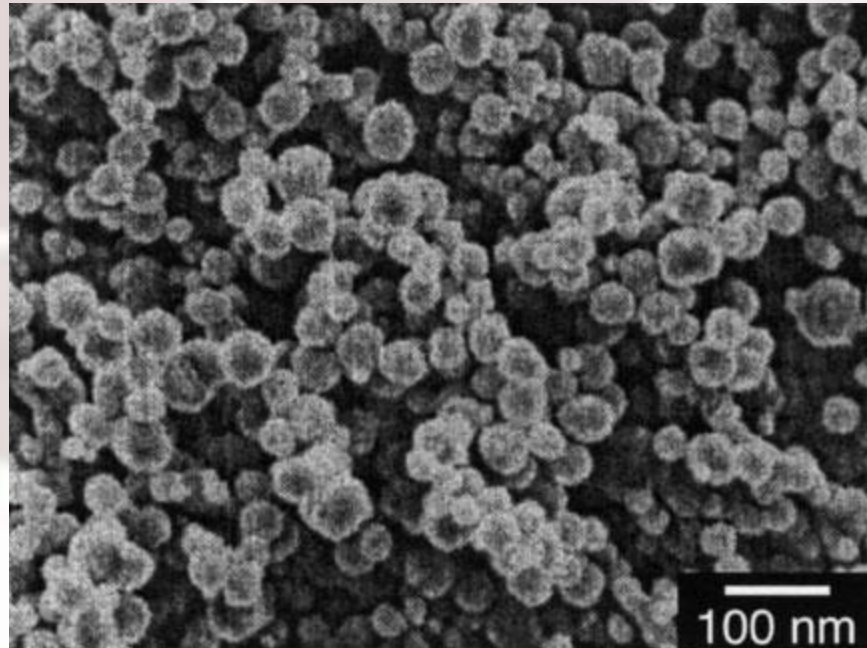
polyol method

- The polyol method, in which the polyol acts as solvent, reducing agent, and surfactant, is a suitable method for preparing nanophase and micrometre size particles with well defined shapes and controlled particle sizes
- By this method, precursor compounds such as oxides, nitrates, and acetates are either dissolved or suspended in a diol, such as ethylene glycol or diethylene glycol. The reaction mixture is then heated to reflux between 180 and 199°C. During the reaction, the metal precursors become solubilised in the diol, form an intermediate, and then are reduced to form metal nuclei, which form metal particles.

polyol method

- Nanocrystalline powders such as Fe, Co, Ni, Cu, Ru, Rh, Pd, Ag, Sn, Re, W, Pt, Au, (Fe,Cu), (Co,Cu), (Co,Ni), and (Ni,Cu) were also synthesised using different salt precursors by this method
- For example, nanostructured powders of $\text{Co}_x\text{Cu}_{100-x}$ were synthesized by reacting cobalt acetate tetrahydrate and copper acetate hydrate in various proportions in ethylene glycol. The mixtures were refluxed at 180–190°C for 2 h, the powders precipitated out of solution, and were subsequently collected and dried

polyol method



Fe₄₈Co₅₂ nanoparticles prepared by a polyol method (SEM)

Multisynthesis processing methods

- One of the greatest advantages of chemical routes is that they are carried out in solution. This allows a great deal of versatility and compatibility. Since many of the chemical routes use similar solvent systems, they may be interchanged for one another or carried out concurrently. Therefore, combining one or more techniques is relatively simple