بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای علی اکبر خدایی پایان نامه ۸ واحدی خود را **با عنوان تعیین محدوده فوق اشباع در تولید نانو ذرات پرکلرات آمونیوم** در تاریخ ۱۳۹۰/۲/۲۵ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد - نانو فناوری پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مهرداد منطقیان	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر محسن میردامادی		
استاد ناظر	دکتر سهراب سنجابی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سید نظام الدین اشرفی زاده	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر سهراب سنجابی	استادیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب **علی اکبر خدایی** دانشجوی رشته **نانوفناوری** ورودی سال تحصیلی **۸۸-۱۳۸۷** مقطع **کارشناسی ارشد** دانشکده **فنی و مهندسی** متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

خدایی

امضا:.....

تاریخ: ۱۳۹۰/۰۴/۱۴...

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته **نانوفناوری** است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده **فنی و مهندسی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای **دکتر مهرداد منطقیان** ، مشاوره جناب آقای **مهندس محسن ظهیر میردامادی** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **علی اکبر خدایی** دانشجوی رشته **نانوفناوری** مقطع **کارشناسی ارشد**

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: علی اکبر خدایی

تاریخ و امضا: ۱۳۹۰/۴/۱۴

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
رشته نانوفناوری

تعیین محدوده فوق‌اشباع در تولید نانوذرات پرکلرات آمونیوم

نگارنده:
علی اکبر خدائی

استاد راهنما:
دکتر مهرداد منطقیان

استاد مشاور:
محسن ظهیر میردامادی

اردیبهشت ۱۳۹۰

تقدیم به:

منجی عالم بشریت حضرت صاحب الزمان(عج)

و همچنین تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی،

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است،

به پاس قلب‌های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید،

و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند.

تقدیر و تشکر

شکر و سپاس خداوندی را که شایسته ستایش است.

در اینجا وظیفه خود می دانم که از استاد محترم و گرامی جناب آقای **دکتر مهرداد منطقیان** که پیوسته از راهنمایی‌های ایشان بهره جسته و در تمام مراحل تحقیق با هدایت مدبرانه مرا یاری نموده‌اند، تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین از استاد محترم جناب آقای **مهندس محسن ظهیر میردامادی** که مشاورت این پایان‌نامه را برعهده گرفته‌اند، سپاسگذارم.

در ادامه از زحمات جناب آقای محمدرضا ابراهیمی(مسئول آزمایشگاه اتوماسیون) و سرکار خانم تیموری(مسؤل آزمایشگاه بیوتکنولوژی) و تمامی دوستان خوبم در آزمایشگاه جداسازی تشکر و قدردانی می‌نمایم.

و با تشکر ویژه از **صنایع شیمیایی پارچین** که این تحقیق با حمایت و پشتیبانی آنها در راستای بهبود مسائل کشور انجام گرفت.

چکیده :

در این تحقیق مدلی برای تبرید با فوق‌اشباع ثابت در ناحیه شبه‌پایدار ارائه شد. سپس ناحیه شبه‌پایدار با تعیین دو منحنی حلالیت و فوق‌اشباع به روش پلی‌ترمال برای پرکلرات آمونیوم به‌دست آمد و در ادامه با تعیین سرعت رشد خطی در یک فوق‌اشباع ثابت در ناحیه شبه‌پایدار، یک برنامه دمایی برای تبرید با فوق‌اشباع ثابت به‌دست آمد و به کمک آن کریستال‌هایی با اندازه ۲۴۰ میکرومتر تولید شد. پس از آن نانوذرات پرکلرات آمونیوم بر روی منحنی فوق‌اشباع تولید شد و عکس‌های SEM نیز از آنها گرفته شد. شرایط عملیاتی برای یک کریستالیزور صنعتی با هدف تولید کریستال‌های پرکلرات آمونیوم با اندازه مشخص پیشنهاد شد.

کلید واژه:فوق‌اشباع، حلالیت، پرکلرات آمونیوم، نانوذرات، کریستالیزور.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علائم و نشانه‌ها.....ه

فهرست جداول.....ط

فهرست شکل‌ها.....ی

فصل ۱ مقدمه.....۱

۱-۱ نانوفناوری.....۱

۱-۱-۱ نانوذرات.....۳

۱-۲ تعریف کریستال و انواع کریستال‌ها.....۳

۱-۲-۱ کریستالوگرافی.....۴

۱-۲-۲ قانون براگ.....۸

۱-۳ اصلاح شکل و اندازه کریستال‌ها.....۹

۱-۳-۱ اثر شدت انتقال حرارت.....۱۰

۱-۳-۲ اثر حلال.....۱۰

۱-۳-۳ اثر pH.....۱۰

۱-۳-۴ اثر فوق اشباع.....۱۱

۱-۳-۵ اثر دما.....۱۱

۱-۴ پرکلرات آمونیوم.....۱۱

۱-۴-۱ خواص فیزیکی و شیمیایی پرکلرات آمونیوم.....۱۱

۱-۴-۲ خواص ساختمانی پرکلرات آمونیوم.....۱۴

فصل ۲ کریستالیزاسیون ۱۵

۲-۱ فوق اشباع ۱۵

۲-۲ هسته‌زایی ۱۷

۲-۲-۱ هسته‌زایی اولیه ۱۸

۲-۲-۱-۱ هسته‌زایی همگن ۱۸

۲-۲-۱-۲ هسته زایی ناهمگن ۲۲

۲-۲-۲ هسته‌زایی ثانویه ۲۲

۲-۳ زمان القا برای هسته‌زایی ۲۴

۲-۴ رشد بلورها ۲۵

۲-۴-۱ نظریه‌های رشد بلور ۲۶

۲-۴-۱-۱ نظریه انرژی سطحی ۲۶

۲-۴-۱-۲ نظریه لایه‌ای جذب سطحی ۲۷

۲-۴-۱-۳ نظریه سینماتیکی ۲۸

۲-۴-۱-۴ نظریه نفوذ-واکنش ۲۹

۲-۴-۲ مدل سرعت رشد یکنواخت ۳۴

۲-۵ طراحی کریستالیزورهای تبریدی ناپیوسته ۳۶

۲-۵-۱ تبرید طبیعی ۳۷

۲-۵-۲ تبرید خطی ۳۸

۲-۵-۳ تبرید با فوق اشباع ثابت ۳۹

۲-۵-۳-۱ فوق اشباع زیاد(ناحیه ناپایدار) ۴۰

۲-۵-۳-۲ فوق اشباع کم(ناحیه شبه‌پایدار) ۴۲

فصل ۳ روش تحقیق ۴۳

۳-۱ اهداف تحقیق ۴۵
۳-۲ مواد مورد استفاده در انجام آزمایش‌ها ۴۶
۳-۲-۱ پرکلرات آمونیوم ۴۶
۳-۲-۲ سایر مواد ۴۷
۳-۳ سامانه آزمایشگاهی ۴۸
۳-۳-۱ سامانه آزمایشگاهی اول ۴۸
۳-۳-۲ سامانه آزمایشگاهی دوم ۵۰
۳-۴ روش محاسبه غلظت محلول پرکلرات آمونیوم ۵۱
۳-۵ آزمایش تعیین ناحیه شبه پایدار ۵۱
۳-۵-۱ روش پلی‌ترمال ۵۲
۳-۵-۲ نحوه انجام آزمایش ۵۳
۳-۶ تبرید با فوق‌اشباع ثابت در ناحیه شبه‌پایدار ۵۴
۳-۷ آزمایش تعیین سرعت رشد خطی کریستال‌ها ۵۵
۳-۷-۱ نحوه انجام آزمایش ۵۵
۳-۸ آزمایش تولید کریستال با اندازه مشخص ۵۶
۳-۸-۱ نحوه انجام آزمایش ۵۶
۳-۹ آزمایش تولید نانوذرات پرکلرات آمونیوم ۵۷
۳-۹-۱ نحوه انجام آزمایش ۵۷

فصل ۴ نتایج و بحث ۵۹

۴-۱ تعیین ناحیه شبه پایدار ۵۹
۴-۲ تعیین سرعت رشد خطی کریستال‌ها ۶۱
۴-۳ تولید کریستال با اندازه مشخص ۶۴

۴-۴ تولید نانوذرات پرکلرات آمونیوم..... ۶۷
۴-۵ پیشنهاد شرایط عملیاتی برای یک کریستالیزور صنعتی..... ۶۸
فصل ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۷۱
۵-۱ نتیجه‌گیری..... ۷۱
۵-۲ پیشنهادهای تحقیقات آتی..... ۷۲
فهرست مراجع :..... ۷۳

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
فاصله صفحات شبکه[Å]	d
زاویه پرتو فرودی با صفحه	θ
طول موج اشعه[Å]	λ
غلظت محلول (فوق اشباع)[g/L]	w
غلظت محلول اشباع[g/L]	w^*
میزان فوق اشباع[g/L]	Δw
نسبت فوق اشباع	S
اختلاف انرژی گیبس بین ذرات بلور و محلول[J]	ΔG
اختلاف انرژی گیبس کل ذرات موجود در داخل بلور با محلول[J]	ΔG_V
اختلاف انرژی گیبس کل ذرات موجود بر روی سطح بلور با محلول[J]	ΔG_S
اختلاف انرژی گیبس ذرات داخل بلور با محلول در واحد حجم بلور[J/m^3]	$\Delta \overline{G}_V$
کشش سطحی محلول[J/m^2]	σ
شعاع هسته[m]	r
شعاع بحرانی هسته[m]	r^*
سرعت هسته‌زایی[$\#/S$]	B
ثابت مربوط به سرعت هسته‌زایی[$\#/S$]	B^0
حجم مولکولی[m^3]	V_m

ثابت بولتزمن[J/K]	k
دما[K]	T
زمان القا[s]	t_{ind}
ثابت مربوط به زمان القا[s]	K
یکی از سطوح بلور[m^2]	a_i
انرژی آزاد سطحی در واحد سطح[J/m^2]	g_i
سرعت هر مرحله[m/s]	u
فلاکس مراحل[$\#/s$]	q
چگالی مراحل[$\#/m$]	n
فاصله بین مراحل[m]	λ_1
شیب سطح	p
سرعت رشد سطح[m/s]	v
ارتفاع هر مرحله[m]	h
زاویه سطح	θ_1
جرم جامد[kg]	m
زمان[s]	t
مساحت سطح بلور[m^2]	A
ضریب انتقال جرم[m/s]	k_m
ضریب نفوذ حل‌شونده[m^2/s]	D
ضخامت فیلم[m]	δ
ضریب انتقال جرم توسط نفوذ[m/s]	k_d

ثابت سرعت واکنش سطحی	$[m^{3r'-2}/s\ kg^{r'-1}]$	k_r
درجه واکنش سطحی		r'
غلظت حل‌شونده در فصل مشترک بلور و محلول	$[g/L]$	w_i
ثابت کلی رشد بلور	$[m^{3g'-2}/s\ kg^{g'-1}]$	K_G
درجه فرآیند رشد		g'
سرعت کلی رشد جرمی بلور	$[kg/m^2 s]$	R_G
طول مشخصه بلور	[m]	L
سرعت رشد خطی کریستال	$[m/s]$	G
طول مشخصه اولیه کریستال	[m]	L_s
طول مشخصه نهایی کریستال	[m]	L_p
جرم(وزن) اولیه کریستال‌ها	[g]	W_s
جرم(وزن) نهایی کریستال‌ها	[g]	W_p
شدت انتقال حرارت	[W]	$\dot{q}$
ضریب کلی انتقال حرارت	$[W/m^2 K]$	U
سطح انتقال حرارت	$[m^2]$	A_W
دمای محیط	[K]	θ_∞
دمای بیرونی دیواره	[K]	θ_W
جرم محلول	[kg]	$m_{solut.}$
ظرفیت گرمایی ویژه محلول	$[J/kg\ K]$	c
دمای محلول	[K]	θ_c
دمای اولیه کریستالیزور	[K]	θ_0

شیب تغییرات حلالیت با دما[$g/L\ ^\circ C$]	k_s
جرم کریستال‌ها به‌ازای واحد حجم(جرم) محلول[g/L]	M
سطح کلی کریستال‌ها در واحد حجم(جرم) محلول[m^2/L]	A_t
تعداد ذرات در واحد حجم(جرم) محلول[$\#/L$]	N
چگالی کریستال[g/m^3]	ρ_c
ضریب شکل حجمی	f_v
ضریب شکل سطحی	f_a
طول مشخصه کلی کریستال‌ها در واحد حجم(جرم) محلول[m/L]	$\hat{L}$
دمای نهایی کریستالیزور[K]	θ_f
مدت زمان نهایی انجام فرآیند[s]	t_f
عدد توان	N_P
توان مصرفی همزن[W]	P
ثابت ثقل	g_c
دانسیته محلول[kg/m^3]	ρ
دور همزن[$1/s$]	N_a
قطر همزن[m]	D_a
حجم محلول[L]	V
غلظت اولیه[g/L]	w_0

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ چهارده نوع شبکه سه‌بعدی ۶

جدول ۱-۲ حلالیت پرکلرات آمونیوم در آب خالص ۱۳

جدول ۱-۳ انرژی اکتیواسیون تجزیه حرارتی نمک پرکلرات آمونیوم ۱۴

جدول ۳-۱ آنالیز محلول پرکلرات آمونیوم ۴۶

جدول ۳-۲ دانه‌بندی پرکلرات آمونیوم جامد دریافتی ۴۷

جدول ۳-۳ مشخصات سایر مواد شیمیایی مورد استفاده ۴۸

جدول ۴-۱ نقاط به‌دست آمده روی منحنی‌های حلالیت و فوق‌اشباع برای محلول پرکلرات آمونیوم ۵۹

جدول ۴-۲ تغییرات دما با زمان در تبرید با فوق اشباع ثابت ۶۳

جدول ۴-۳ تغییرات دما با زمان در تبرید با فوق اشباع ثابت ۶۵

جدول ۴-۴ دانه‌بندی پرکلرات آمونیوم تولیدی به روش تبرید با فوق اشباع ثابت ۶۵

جدول ۴-۵ متوسط دانه‌بندی پرکلرات آمونیوم تولیدی به روش تبرید با فوق اشباع ثابت ۶۶

جدول ۴-۶ دانه‌بندی کریستال‌های اولیه به‌عنوان خوراک ۶۷

جدول ۴-۷ تغییرات دما با زمان در تبرید با فوق اشباع ثابت ۶۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ انواع گونیومتر (الف)گونیومتر مکانیکی (ب)گونیومتر نوری (انعکاسی) ۵

شکل ۱-۲ ساختارهای معروف کریستالی ۷

شکل ۱-۳ اثبات قانون براگ ۸

شکل ۱-۴ حلالیت پرکلرات آمونیوم و کلرور سدیم در آب ۱۳

شکل ۲-۱ اثر دما بر غلظت ۱۷

شکل ۲-۲ تغییرات انرژی گیبس برحسب شعاع ۲۰

شکل ۲-۳ دیاگرام لامر غلظت حل‌شده قبل و بعد از هسته‌زایی به‌عنوان تابعی از زمان ۲۱

شکل ۲-۴ چگونگی رابطه بین مراحل در نظریه frank ۲۸

شکل ۲-۵ نیرو محرکه غلظتی در کریستالیزاسیون از محلول طبق نظریه نفوذ-واکنش ۳۲

شکل ۲-۶ تغییرات پارامترهای مختف برای هر سه نوع رژیم تغییر دما ۳۷

شکل ۲-۷ تبرید با فوق اشباع ثابت در ناحیه شبه‌پایدار ۴۲

شکل ۳-۱ طرح کلی تحقیق برای تولید کریستال‌ها با اندازه مشخص ۴۴

شکل ۳-۲ طرح کلی از سامانه آزمایشگاهی اول ۴۸

شکل ۳-۳ طرح کلی از سامانه آزمایشگاهی دوم ۵۰

شکل ۳-۴ طرحی مختصر از روش پلی‌ترمال برای تعیین ناحیه شبه‌پایدار ۵۲

شکل ۴-۱ منحنی‌های حلالیت و فوق‌اشباع برای محلول پرکلرات آمونیوم ۶۰

شکل ۴-۲ مقایسه دانه‌بندی کریستال‌های تولیدی در هردو آزمایش ۶۶

شکل ۴-۳ عکس SEM از نانوذرات پرکلرات آمونیوم ۶۷

شکل ۴-۴ عکس SEM از نانوذرات پرکلرات آمونیوم ۶۸

فصل ۱
مقدمه

۱-۱ نانوفناوری

پیشوند نانو در کلمه نانوفناوری به معنی یک میلیاردم متر است و نانوفناوری واژه‌ای است کلی که به تمام فناوری‌های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانومتر اطلاق می‌شود. معمولاً منظور از مقیاس نانو ابعادی در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. با آنکه کلمه نانوفناوری نسبتا جدید است اما ساختارها و ابزارهای سودمند با ابعاد نانومتر همواره وجود داشته‌اند و در حقیقت عمر چنین ساختارهایی به اندازه طول عمر زمین می‌باشد. به عنوان مثال صدف مارپیچ که نوعی نرم‌تن است لایه‌های بسیار مستحکمی می‌سازد که سطوح داخلی آنها به شکل رنگین‌کمان است. صدف مارپیچ این کار را با تشکیل منظم کربنات کلسیم به شکل آجرهای نانوساختار انجام می‌دهد. این آجرها به‌وسیله نوعی چسب به یکدیگر متصل می‌شوند که این چسب از ترکیب پرتئین کربوهیدرات ساخته شده است. ترک‌های شکل گرفته در سطح خارجی صدف به علت وجود آجرهای نانوساختار قادر به ادامه حرکت به درون پوسته نمی‌باشد. وجود این لایه‌ها شاهدی طبیعی است که نشان می‌دهد ساختارهای شکل گرفته از نانوذرات می‌توانند بسیار مستحکم‌تر باشند[۱].

مشخص نیست که بشر اولین بار در چه زمانی استفاده از مواد در ابعاد نانو را آغاز کرده است. شاید بتوان گفت که اولین انسان‌هایی که از فناوری نانو استفاده کرده‌اند شیشه‌گران قرون وسطایی بوده‌اند که از قالب‌های قدیمی برای شکل‌دادن شیشه‌هایشان استفاده می‌کرده‌اند. البته این شیشه‌گران نمی‌دانستند که چرا با اضافه‌کردن طلا به شیشه رنگ آن تغییر می‌کند. در آن زمان برای ساخت شیشه‌های کلیساهای قرون وسطایی از ذرات نانومتری طلا استفاده می‌شده است و با این کار شیشه‌های رنگی بسیار جذابی بدست می‌آمده است. این قبیل شیشه‌ها هم‌اکنون در بین شیشه‌های بسیار قدیمی یافت می‌شوند. ایجاد رنگ در این شیشه‌ها نشان دهنده این حقیقت است که مواد با