



**Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық техникалық зерттеу
университеті**

Дәріс-2

**Наноқұрылымдарды алудың физикалық әдістері І: вакуумдық
буландыру, лазерлік абляция, физикалық буландыру.**

**Пән: «ФУНКЦИОНАЛДЫ МАТЕРИАЛДАР МЕН НАНОҚҰРЫЛЫМДАРДЫ
АЛУ ӘДІСТЕРІ»**

7М07103 - Материалтану және жаңа материалдар технологиясы

5 (1/0/2/2) кредит

Семестр: 1, күзгі, 2025-2026 оқу жылы

Дәріскер – Керимкулова Алмагуль Рыскуловна

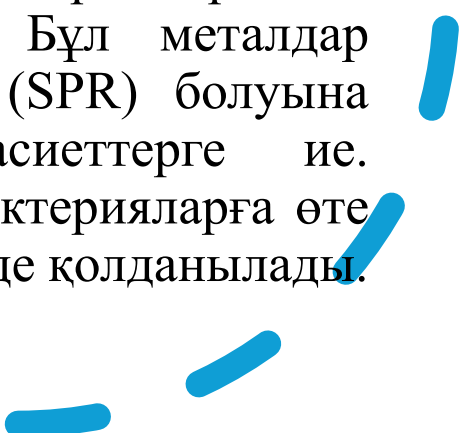
Нанокұрылымдарды алудың физикалық әдістері I: вакуумдық буландыру, лазерлік абляция, физикалық буландыру.

- Нанотехнология - материалдың наноөлшемде болуын білдіретін термин. Наноөндіріс материалдарды наноөлшемге айналдыру үшін белгілі бір әдістерді қолдану ретінде анықталады және бұл жоғарыдан төменге немесе төменнен жоғарыға бағытталған әдістер тобы арқылы жүзеге асырылады. 1-100 нм диапазонындағы масштаб «наносөлшем» деп аталады. 1-100 нм наноөлшемде жатқан кем дегенде бір өлшемі бар кез келген зат наноматериал болып саналады.
- Нанообъект - наноөлшемде болатын және бір, екі немесе үш сыртқы өлшемі бар дискретті материя бөлігі. Нанобөлшектер - егер оның барлық өлшемдері наноөлшемде болса, объектінің наноөлшемді күйі. Аспект қатынасы нанообъектінің үлкен осінің ұзындығының кіші осьтің еніне қатынасын білдіреді. Наносфера нанобөлшектің аспект қатынасы 1-ге тең екенін көрсетеді.
- Наностержень - нанобөлшектің аспект қатынасы 1-ден үлкен болса қолданылатын термин . «Наноталшықтар» термині наноөлшемде екі өлшемі бар, бірақ үшінші өлшемі наноөлшемнен асатын нанообъектілерді білдіреді. Наносымдар - наноретиктерге ұқсас құрылымдар, бірақ олардың арақатынасы үлкенірек. Нанотүтікшелер қуыс болған кезде қолданылатын термин - нанотүтікшелер.



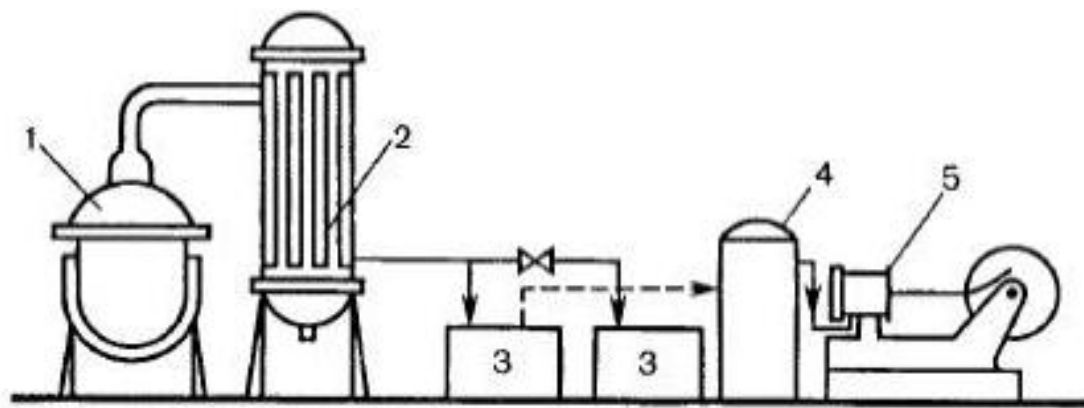
Металл негізіндегі нанобөлшектерді жасау үшін ғалымдар әртүрлі физикалық, химиялық және биологиялық әдістерді қолданады. Темір, мыс, қорғасын, алюминий, мырыш, кадмий, кобальт, алтын және күміс сияқты металл элементтері наноматериалдар өндірісінде жиі қолданылады. Металл наноматериалдардың өлшем диапазоны 10-100 нм құрайды, бұл оларды анықтайтын физикалық-химиялық сипаттамалардың бірі. Материалдың сыртқы қабатының сипаттамалары, соның ішінде оның тығыздығы, беттік заряды, кеуек өлшемі, кристалдық құрылымы, сфералық пішіні және реакция жылдамдығы.

Мыстан, күмістен және алтыннан жасалған наноматериалдар күннің электромагниттік спектрін көрінетін диапазонда кең сіңіруімен сипатталады. Бұл металдар шектеулі беттік плазмондық резонанстың (SPR) болуына байланысты бірегей фотоэлектрлік қасиеттерге ие. Нанометалдық күміс және мыс оксидтері бактерияларға өте улы әсер етуіне байланысты биоцидтер ретінде қолданылады.



Вакуумдық буландыру

• Вакуумдық буландыру – ерітіндіден еріткішті төмендетілген қысымда жоюға арналған, жұмсақ температураларда жүретін тиімді әдіс. Қысым төмендегенде сұйықтың қайнау температурасы да төмендейді, сондықтан термолабильді заттарды бүлдірмей қоюлату мүмкін болады. Әдіс әдетте буландыру колбасынан, су моншасынан (немесе басқа жылытқыштан), конденсатордан және вакуумдық насостан тұратын қондырғыда орындалады. Вакуумнасос камера ішіндегі қысымды түсіреді, нәтижесінде еріткіш төмен температурада қайнап, бу күйіне өтеді. Бу конденсаторда салқындатылып, бөлек жинау ыдысына жиналады, ал негізгі еріген зат колбада қалады. Осылайша бастапқы ерітінді концентратқа айналады және кейінгі кептіру немесе модификациялау сатыларына ыңғайлы халге келеді (Сурет 1 – вакуумдық буландыру қондырғысының сұлбасы).



(1) Сфералық вакуумдық буландырғыш – ерітінді бу қабығымен қыздырылып, қайнайтын негізгі аппарат бөлігі.

(2) Беткі қарсы тоқты конденсатор – екінші реттік буды (мысалы, этанолды) конденсациялап, салқындатады.

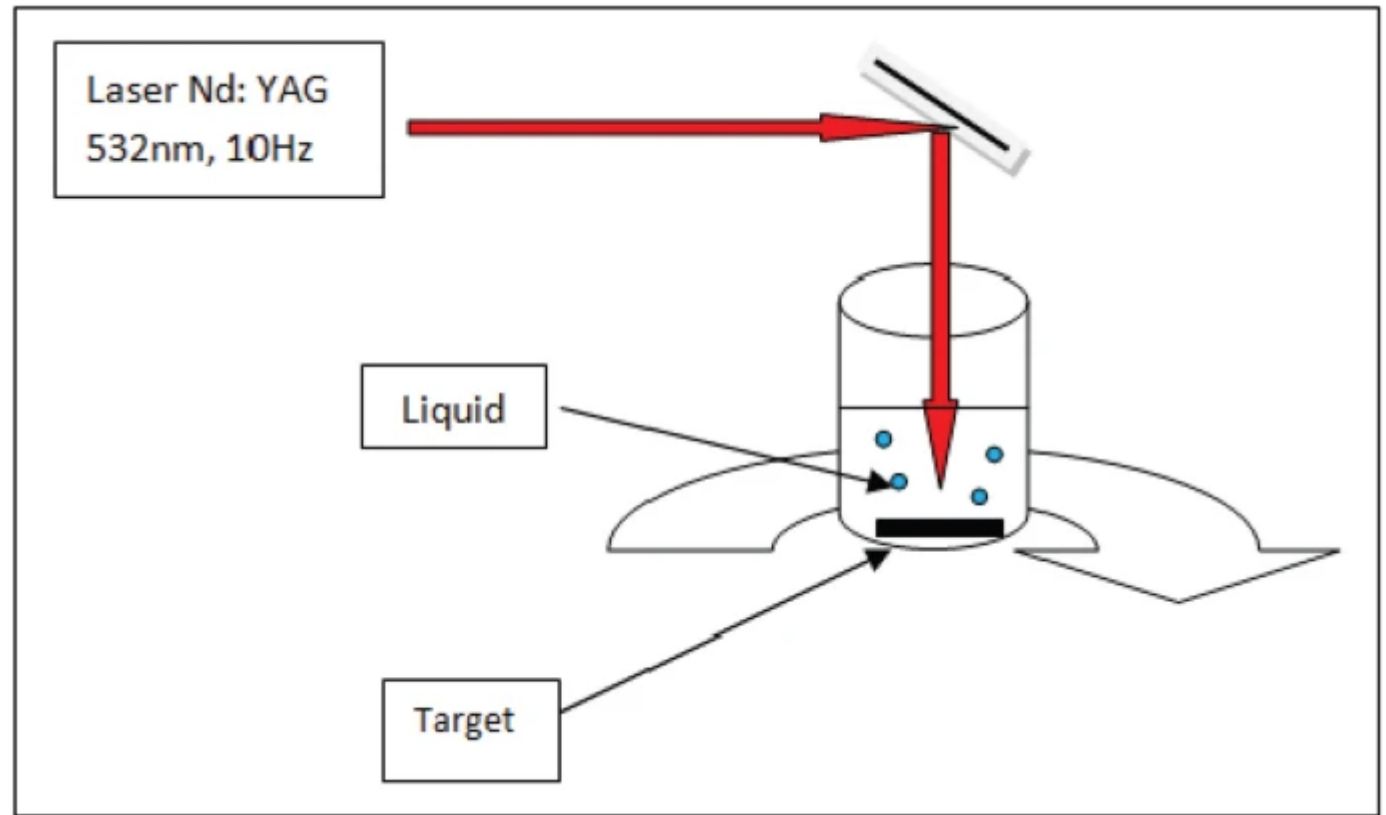
(3) Конденсат коллекторы – конденсат жиналатын және кейін периодты түрде босатылатын ыдыс.

(4) Қабылдағыш (аралық ыдыс) – коллектордан сұйықтықтың сорғыға өтіп кетуін болдырмайды және вакуумның тұрақтылығын сақтайды.

(5) Вакуумдық сорғы – аппараттағы қысымды төмендетіп, конденсацияланбайтын газдарды сорып шығарады

Лазерлік абляция (LA)

Наноматериалдар жоғары қуатты лазер сәулесін пайдаланып өндіріледі. Бұл әдіс лазерлік абляция (LA) немесе импульсті лазерлік тұндыру (PLD) деп аталады. Бұл әдісте бөлшектер бастапқы материалдың немесе бастапқы материалдың қатты бетінен жоғары қарқынды лазер сәулесіне ұшырату арқылы буланады немесе жойылады, нәтижесінде нанобөлшектер пайда болады. 106 мкм иттрий-алюминий гранаты (Nd:YAG) лазері, гармоникалық Ті:сапфир (титанмен қапталған сапфир) лазерлері және мыс бу лазерлері қолданылады (2-сурет). Бұл әдіс көміртекті наноматериалдарды, металл наноматериалдарды, оксидтік композиттерді және керамиканы синтездеу үшін кеңінен қолданылады.



2-сурет - Лазерлік абляция (ЛА) әдісі

Зерттеушілер кремний субстраттарында қорғасын сульфидті нанобөлшектерін және никель гидроксиді нанобөлшектерін алу үшін лазерлік абляцияны қолданды. Бұл әдісті көміртекті нанотүтікшелерді алу үшін де қолдануға болады. Лазер сәулесінің түрі, толқын ұзындығы, импульс ұзақтығы және еріткіш түрі нанобөлшектердің мөлшері мен құрамына әсер ететін өте маңызды факторлар болып табылады.

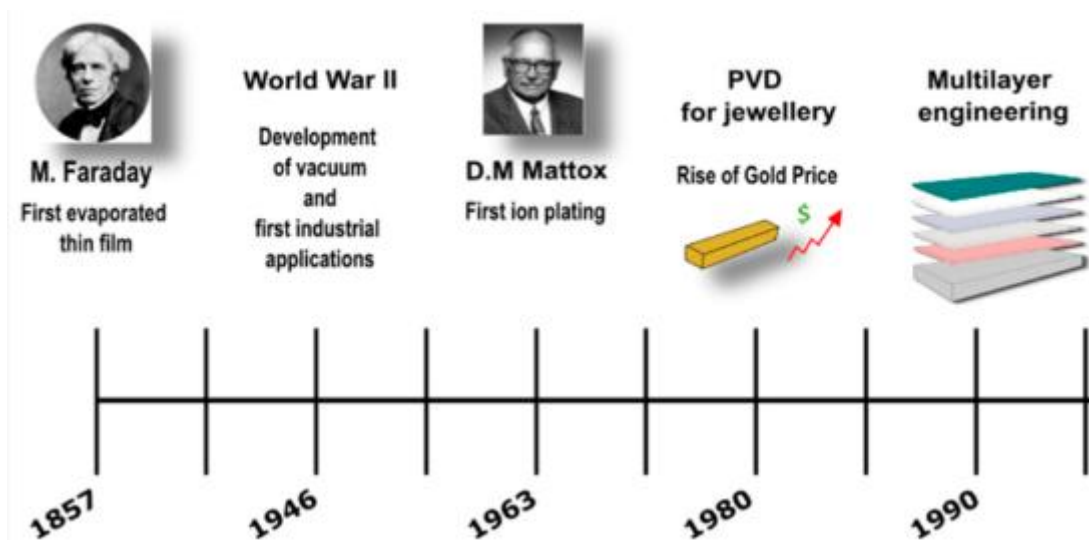
Артықшылықтары: Суспензиядағы нанобөлшектерді алудың тиімді және қарапайым әдісі. Нанобөлшектер беттік белсенді заттарды қажет етпей сұйық ортада өндіріледі. Ол кремний нанобөлшектерін және Al_2O_3 нанобөлшектерін жабындарды алу үшін қолданылады. Нанобөлшектердің тазалығы шамамен 90% құрайды.

Технология	экологиялық	таза.
------------	-------------	-------

Кемшіліктері: Бұл әдіс төмен өнімділікпен және жоғары құнымен сипатталады.

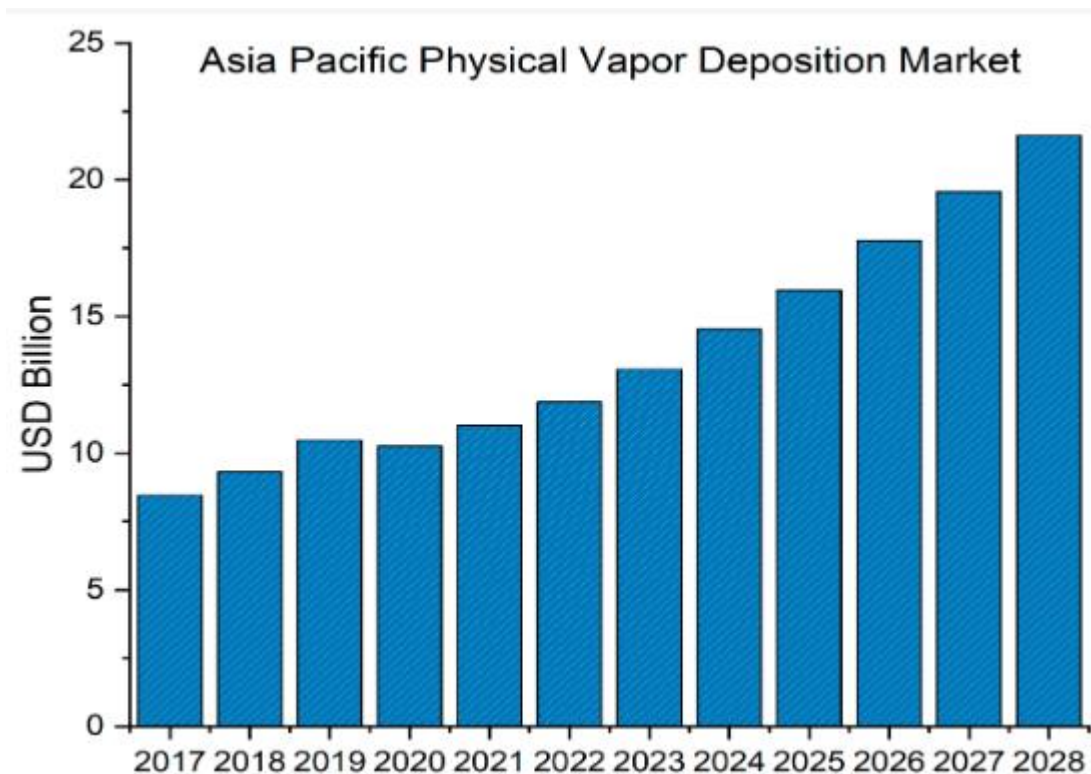
Физикалық буландыру (PVD)

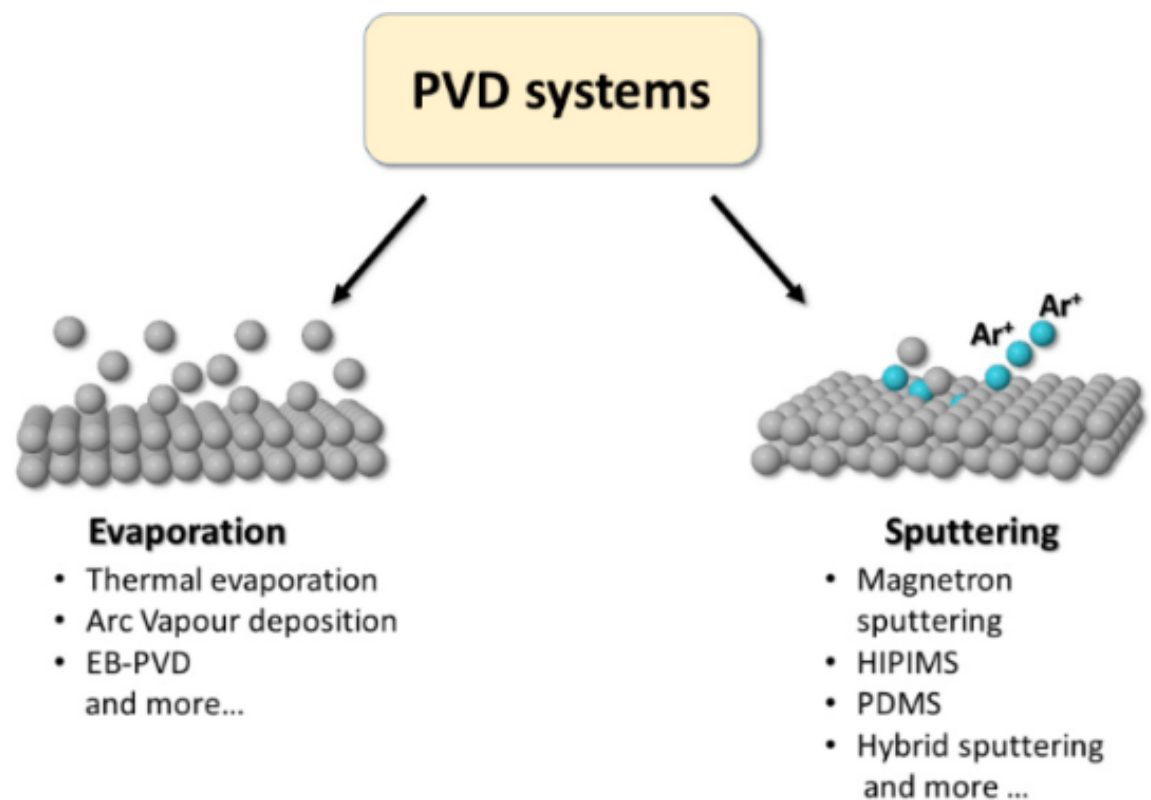
Физикалық бумен тұндыру (PVD) процесі 1900 жылдардың басынан бері қолданылып келеді, бірақ оның дамуының көп бөлігі 1960 және 1970 жылдары орын алып, өнеркәсіптік қолданбаларда кеңінен қолданыла бастады (1-сурет). Вакуумдық технология мен тұндыру әдістеріндегі жетістіктер PVD жұқа қабықшаларын қолдануға болатын субстраттардың ауқымын кеңейтті, бұл қабықшалардың қасиеттерін бақылауды жақсартуға мүмкіндік берді. Бүгінгі таңда PVD технологиясын әлі де жетілдіру қажет; жаңа материалдар, жаңа әдістер, сондай-ақ шығындарды азайту аэроғарыш, автомобиль, электроника және тіпті сән индустриясы сияқты салаларда қолдануға мүмкіндік берді. Атап айтқанда, сән индустриясы жақында PVD-ны тұрақты өндірістік процестерді дамыту үшін қабылдады. Бұл шолу PVD-ның заманауи жағдайына және зерттеу перспективаларына шолу жасауға бағытталған.



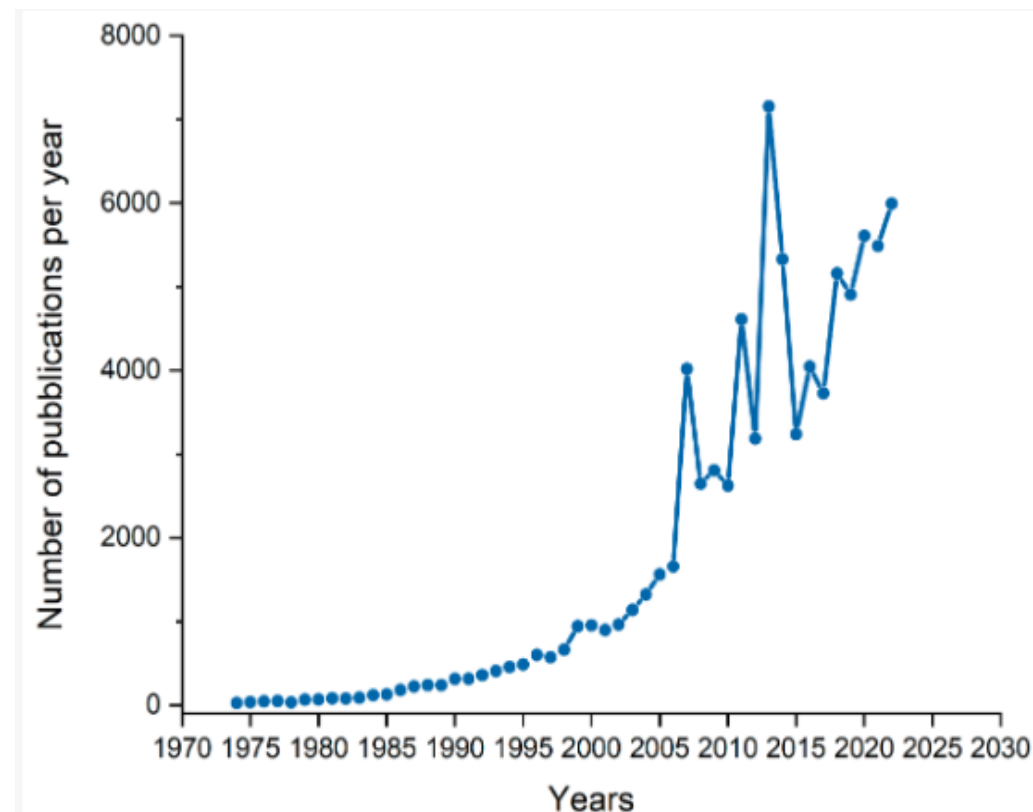
Алғашқы буланған жұқа қабықшаларды Фарадейдің 1857 жылғы тәжірибесінен байқауға болады, онда ол металл сымдарды вакуумда буландырды. Кейіннен, 1887 жылы Нарвольд Джоульдің қыздыру тәжірибелерінен кейін вакуумда жұқа металл қабықшаларды тұндыруды қайталады. Бір жылдан кейін Кундт мұндай қабықшалардың сыну көрсеткіштерін өлшеді. Бұл технологияны өнеркәсіптік ауқымда қолдану Екінші дүниежүзілік соғыстан кейін, шамамен 1946 жылы пайда болған вакуумдық әдістердің дамуын күтуге тура келді. Жұқа қабықшалардың экспоненциалды өсу қарқыны Олангтың «Жұқа қабықша технологиясының анықтамалығындағы» тұндыру қабықшаларына арналған тамаша шолуында, сондай-ақ Голландияның классикалық оқулығында жақсы құжатталған, бұл автордың жасаған елеулі ізашарлық жұмысын көрсетеді.

Fortune Business Insights 2020 жылы жаһандық физикалық бу тұндыру нарығының көлемін 22,43 миллиард АҚШ долларына бағалады, ал болжамдар бойынша 2021 жылдан 2028 жылға дейін 8,2% жылдық өсу қарқынымен (CAGR) 40,97 миллиард АҚШ долларына жетеді. 4-суретте Азия-Тынық мұхиты аймағындағы нарық көлемінің болжамы келтірілген, бұл PVD өнімдеріне деген сұраныстың артуын көрсетеді.





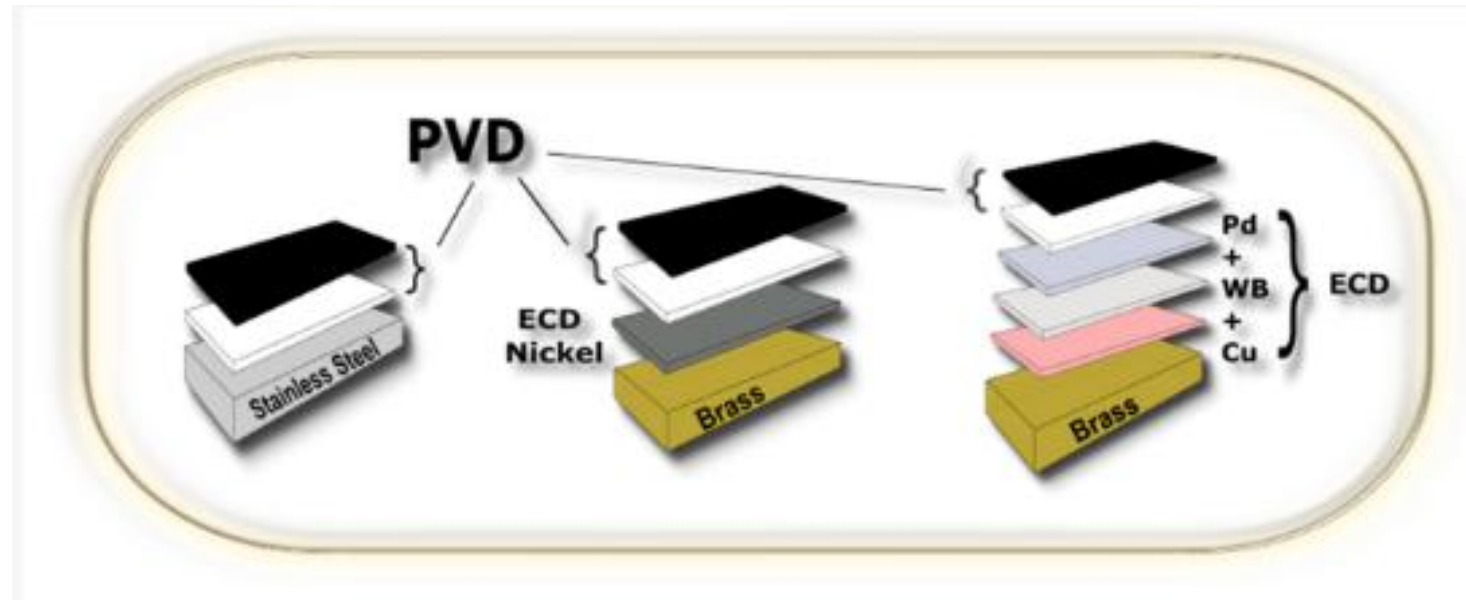
Процесс түрі бойынша топтастырылған ең көп таралған физикалық бу тұндыру әдістерінің схемалық көрінісі.



1974 жылдан 2023 жылға дейін «PVD» тақырыбы бойынша жылына жарияланған басылымдар саны.

Шашырату - бұл қатты нысана материалын энергетикалық иондармен немесе атомдармен бомбалауды қамтитын физикалық процесс, әдетте плазманы пайдаланады, бұл нысана материалының бетінен атомдарды немесе молекулаларды шығаруына әкеледі. Төмен қысымды ортада соқтығысу ықтималдығының төмендеуі нәтижесінде лақтырылған бөлшектер вакуумдық камераның ішінде түзу сызықты траекториямен жүреді, бұл теориялық зерттеулер (негізінен Монте-Карло әдісіне негізделген) мен эксперименттік нәтижелер арасындағы жақсы сәйкестікпен расталады. Көру траекториясы кен орнының типтік бағаналы микроқұрылымына жауап береді.

Тот баспайтын болат және жез сияқты материалдардағы типтік беткі жабындардың схемалық көрінісі.



Пайдаланылган әдебиеттер

1. Джаваид, А.; Коксал, С.; Шариф, С. Характеристики резания и износа твердосплавных инструментов с покрытием PVD и без покрытия при торцевом фрезеровании аэрокосмического сплава Inconel 718. J.Mater. Process. Technol. 2001, 116, 2-9. [Google Scholar] [CrossRef]
2. Baptista, A.; Pinto, G.; Silva, FJG; Ferreira, AA; Pinto, AG; Sousa, VFC. Характеристика износа хромовых PVD-покрытий на полимерной подложке для автомобильных оптических компонентов. Coatings 2021 .11, 555. [Google Scholar] [CrossRef]
3. Роснагель, С. М. Напыление для производства полупроводников. IBM J. Res. Dev. 1999 , 43 , 163-179. [Google Scholar] [CrossRef]
4. Бандинелли, Р.; Фани, В.; Бинди, Б. Технологии гальванизации и PVD-отделки в индустрии моды: перспективы и сценарии. Устойчивое развитие 2021 , 13, 4453. [Google Scholar] [CrossRef]
5. Фарадей, М.Х. Бейкерианская лекция — Экспериментальные отношения золота (и других металлов) к свету. Philos. Trans. R. Soc. Lond. 1857, 147, 145-181. [Google Scholar] [CrossRef]
6. Нарволд, Р. Бейкеровская лекция: экспериментальные отношения золота (и других металлов) к свету. Ann. Phys. 1887, 31, 467. Кундт, А. Ann. Phys. 1888, 34, 473.
7. Холланд, Л. Вакуумное осаждение тонких плёнок ; Chapman & Hall: Лондон, Великобритания, 1958; ISBN 9780412053801. Mattox, DM; McDonald, JE Формирование интерфейса при осаждении тонких пленок. J. Appl. Phys. 1963, 34, 2493-2494.
8. Bunshah, RF; Juntz, RS Влияние температуры конденсации на микроструктуру и прочностные свойства титановых листов, полученных методом высокоскоростного физического осаждения из паровой фазы. Metall. Trans. 1973, 4, 21-26.