

CAPÍTULO 5

EL MERCADO DE EQUIPOS DE DEPÓSITO DE CAPAS DELGADAS Y SUS PERSPECTIVAS EN EL MERCADO INTERNACIONAL.

Fecha de aceptación: 02/09/2024

Ricardo Alberto Rodríguez Carvajal

Universidad de Guanajuato, Maestría en Gestión e Innovación Tecnológica, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato
Dirección de la División de Investigación y Postgrado, de la Secretaría Académica, de la Universidad Virtual del Estado de Guanajuato, Purísima del Rincón, Guanajuato, México

José Luz Nicacio González Cervantes

Universidad de Guanajuato, Maestría en Gestión e Innovación Tecnológica, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato

Paula Concepción Isiordia-Lachica

Universidad de Guanajuato, Maestría en Gestión e Innovación Tecnológica, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato

Pedro Luis López de Alba

Dirección de la División de Investigación y Postgrado, de la Secretaría Académica, de la Universidad Virtual del Estado de Guanajuato, Purísima del Rincón, Guanajuato, México

RESUMEN: El mercado de equipos de depósito de capas delgadas está experimentando un rápido crecimiento impulsado por la adopción de energías renovables y la miniaturización de componentes en diversas industrias. Este estudio examina la evolución del mercado internacional de tecnologías de recubrimiento de capas delgadas, destacando el Recubrimiento de Capa Atómica (ALD) por su eficiencia y escalabilidad. A través del análisis de datos de múltiples industrias, incluyendo semiconductores, dispositivos médicos y aplicaciones solares, se identifican las tendencias clave y las regiones con mayor crecimiento, como Asia Pacífico y América del Norte. La investigación revela que la innovación continua en materiales precursores y métodos avanzados como el ALD mejorado con plasma (PEALD) está transformando la industria, mejorando la eficiencia y reduciendo costos. A pesar de los desafíos, las perspectivas indican un crecimiento sostenido y una adopción creciente de estas tecnologías a nivel global, impulsando la competitividad y el desarrollo tecnológico en el sector.

LA INDUSTRIA Y SUS TENDENCIAS

La creciente preocupación por el cambio climático y el calentamiento global ha alentado a los gobiernos de todo el mundo a utilizar fuentes de energía renovables y ecológicas. En países como Alemania, India, Estados Unidos y el Reino Unido, los gobiernos han estado proporcionando incentivos fiscales y esquemas para impulsar el uso de energía renovable. Los subsidios ofrecidos por el gobierno han alentado el crecimiento de la industria de la energía solar. Esta industria requiere el uso de MEMS (sistemas microelectromecánicos), los materiales de película delgada ofrecen sus propiedades de eficiencia y confiabilidad para la miniaturización de elementos, esta es una de las razones por las que la industria de los MEMS utiliza cada vez más este tipo de microcomponentes.

La miniaturización de componentes es uno de los avances tecnológicos que gana una proporción mayor de mercado cada año en el sector de la electrónica global. En los últimos años, la introducción de materiales porosos como, Hf (Si)O (óxidos de silicio y ácido fluorhídrico), SiOC (oxicarburo de silicio), AlO (óxido de aluminio), ZrO (óxido de zirconio), LaO (Óxido de lantano) y SiC (Carburo de silicio) han dado como resultado una mayor eficiencia y estabilidad de los sustratos. Otros factores que están impulsando el mercado incluyen la creciente demanda de aplicaciones actuales y emergentes, como las celdas solares sensibilizadas con colorantes, la mejora de la eficiencia y el desarrollo tecnológico. Sin embargo, se espera que el alto costo de inversión en I + D limite su aplicación en varias industrias, por lo tanto, muchas empresas de fabricación prefieran la técnica de Recubrimiento de capa atómica (ALD por sus siglas en inglés) para producir componentes más pequeños con un costo comparativamente bajo.

La industria mundial de depósitos por vapor está creciendo rápidamente y el vapor químico (CVD) representa una parte significativa. Otras tecnologías incluyen la epitaxia, el vapor físico (PVD) y la Recubrimiento de capas atómicas. Sin embargo, la tecnología madura y escalable industrialmente para diferentes funciones de los sistemas ALD dan como resultado un alto rendimiento para los depósitos con altas tasas de producción y un desperdicio mínimo, siendo un factor importante para su adopción por diferentes sectores industriales.

El tamaño del mercado global de ALD se valoró en USD 1,090 millones en 2018. Se espera que esta tecnología sea impulsada por el crecimiento de la industria de la electrónica y las soluciones de semiconductores, particularmente en Asia Pacífico y América del Norte. Este desarrollo tecnológico es un equipo que integra las herramientas disponibles para la síntesis de materiales de nanotecnología cuyo proceso es clave en la fabricación de dispositivos semiconductores.

En la fabricación de semiconductores se utilizan varios instrumentos de recubrimiento como electrodos de cobre, pilas de compuertas de alta constante dieléctricas (alto K) y capas de cobre. Se espera que la creciente demanda de componentes electrónicos en

la industria automotriz aumente la demanda de semiconductores y, por lo tanto, afecte directamente al mercado de los equipos de recubrimiento de capas atómicas de manera positiva.

La tecnología está presente en casi todos los productos de alta gama en industrias como la del automóvil y otros transportes, los dispositivos portátiles de control de la salud y la energía solar fotovoltaica. ALD es una tecnología destacada para reducir el costo de fabricación de productos electrónicos avanzados. ALD fabrica el brillo y la longevidad de los LED y las capas ópticas de precisión para diversas aplicaciones específicas. En tecnología médica, la vida útil de varios equipos de implantes médicos se ve reforzada por recubrimientos ALD bio-sintetizados.

El depósito de capas atómicas se considera uno de los métodos de fabricación de Recubrimiento superior a otros para producir películas delgadas y conformadas, ya que permite hacerlo a escalas industriales. Actualmente existen equipos en el mercado que son utilizados por industrias de diferentes sectores.

PERSPECTIVA DE MERCADO RELACIONADAS CON EL PRODUCTO

Se espera que los recubrimientos con óxido de aluminio por ALD siga siendo el tipo de segmento de producto más grande para 2025. Este segmento fue valorado en USD 328,2 millones en 2018.

Se prevé que la demanda de película de óxido de aluminio (AIO) que utiliza esta técnica de Recubrimiento aumente en la penetración industrial debido a la abundancia del aluminio. Se sabe que la película de óxido de aluminio contiene barreras de permeación efectivas debido a la morfología y uniformidad sin poros de la alúmina. Este tipo de película tiene amplia aplicación en la industria de la tecnología debido a sus excelentes características tales como: estabilidad a numerosos sustratos, fácil disponibilidad de material precursor y precios óptimos del metal base.

Los desarrollos tecnológicos en los materiales precursores y sustratos es una tendencia importante para la industria. Uno de ellos es la Recubrimiento de capa atómica mejorada con plasma (PEALD) considerada como la categoría de más rápido crecimiento. El interés en el PEALD consiste en que es un habilitador clave de dispositivos lógicos y memoria a nano escala debido a que permite un mayor control del espesor y conformidad de partículas superior.

La investigación de la tecnología relacionada con la **nucleación mejorada** ha dado como resultado la Recubrimiento sobre **partículas y polímeros**. Este tipo de tecnología tiene una participación más pequeña del mercado general debido a los altos costos de capital y las aplicaciones específicas. Por ejemplo, ALD en polímeros mitiga numerosos desafíos relacionados con los polímeros espaciales. Sin embargo, reduce la tasa de erosión de los átomos de oxígeno y el ultravioleta al vacío (VUV) de los polímeros en las naves espaciales.

Perspectivas de la Aplicación

Las principales áreas de aplicación de la Recubrimiento de capas atómicas son:

- **Semiconductores.** En 2018 el sector de mayor aplicación fue el de los semiconductores, pues representó más del 40% de los ingresos totales para esta industria. La tendencia que se observa es la transición de la tecnología de semiconductores y el impulso de componentes miniaturizados. La necesidad de nuevas dimensiones y una alta durabilidad en los componentes
- **Electrónica.** Tanto en los de circuito integrado como en componentes generales y en dispositivos de almacenamiento de datos
- **Dispositivos de energía solar.** Conformación de celdas de combustible y revestimiento de celdas solares
- **Equipamiento médico.** Dispositivos de diagnóstico y bio-recubrimientos

A continuación, en la Ilustración 1 se muestra las aplicaciones generales de la técnica de ALD.

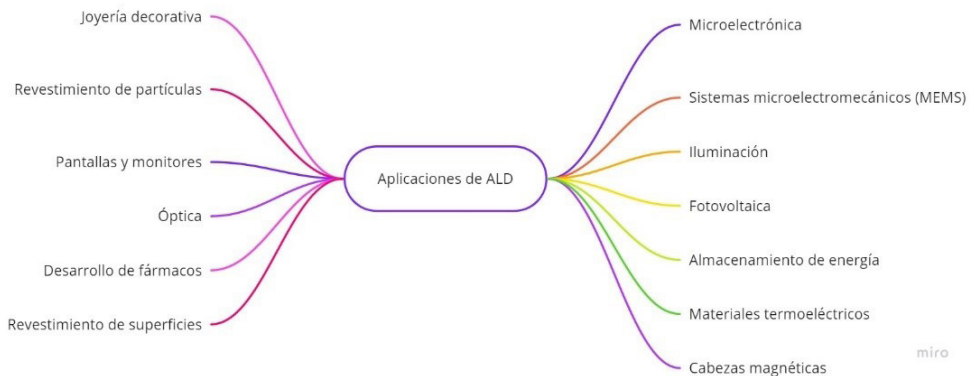


Ilustración 1 Aplicaciones generales de la técnica de ALD

Fuente: (Engineering, 2021).

Actualmente las cambiantes preferencias de los consumidores y las iniciativas gubernamentales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han dado como resultado un rápido crecimiento del sector solar. Se espera que los dispositivos solares sean el sector de aplicaciones de más rápido crecimiento.

El alto crecimiento de la industria de la energía solar se debe principalmente al aumento de las instalaciones fotovoltaicas en economías como China, EE. UU., Japón, India, Polonia y el Reino Unido debido a las preocupaciones crecientes con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero. A nivel geográfico como India y Japón son mercados solares ideales debido a la alta insolación y la energía comparativamente más alta y los bajos costos de electrificación.

PERSPECTIVAS REGIONALES

Asia Pacífico fue la región dominante en 2018 con ingresos estimados en más de USD 504 millones para el mismo año. Dentro de esta región se observa una alta demanda debido al rápido crecimiento de las industrias de uso final (los semiconductores, la electrónica, la industria de equipos médicos y el sector solar), ha llevado a Asia Pacífico a lograr la máxima participación de mercado.

La base de fabricación de productos electrónicos profundamente arraigada en Corea del Sur, China y Taiwán ha llevado a una mayor demanda de tecnologías de Recubrimiento. La proliferación de la fabricación de productos electrónicos, la tremenda modernización y las economías en crecimiento, junto con el aumento del gasto en electrónica de consumo, han respaldado el crecimiento de esta región.

Algunos de los países asiáticos ofrecen oportunidades lucrativas para los participantes de la industria debido al aumento de la capacidad de la energía solar fotovoltaica. China, India, Japón, Indonesia, Corea del Sur y Taiwán han liderado el crecimiento de ALD debido a la floreciente fabricación e instalaciones de paneles solares.

El mercado de ALD de América del Norte siguió a Asia Pacífico en 2018 en términos de capitalización de mercado. Estados Unidos y Canadá son los principales contribuyentes al crecimiento del mercado regional. Estados Unidos emergió como pionero y se estima que crecerá a una tasa compuesta anual del 12.2% durante los próximos ocho años. El motor de crecimiento clave para el mercado de América del Norte incluye el apoyo regulatorio gubernamental productivo para alentar la inversión privada a nivel nacional, que probablemente sea un factor importante para la creciente industria de semiconductores y electrónica de consumo de la región.

EMPRESAS CLAVE EN LA INDUSTRIA

Algunas de las principales empresas han llevado a cabo actualizaciones tecnológicas recurrentes y lanzamientos de productos para fabricar películas conformadas de calidad superior y ganar sostenibilidad en el sector. Estos aspectos son trabajados por las empresas en relación con la demanda de los consumidores y la dinámica de la industria.

El mercado global de recubrimiento de capas atómicas hereda una intensa competencia entre los principales actores internacionales. Los avances tecnológicos y los lanzamientos de productos innovadores son los aspectos principales que contribuyen a la competencia. En Tabla 1 se muestran las empresas clave de la industria, su país de origen y el enlace a su web principal.

Empresa	País	Enlace web
Lam Research Corporation	Estados Unidos	https://www.lamresearch.com/
ASM International NV	Países Bajos	https://www.asm.com/
Applied Materials Inc	Estados Unidos	https://www.appliedmaterials.com/
Aixtron SE	Alemania	https://www.aixtron.com/en
Adeka Corporation	Japón	https://www.adeka.co.jp/en/
Tokyo Electron Limited	Japón	https://www.tel.com/
Denton Vacuum LLC	Estados Unidos	https://www.dentonvacuum.com/
Kurt J. Lesker Company	Estados Unidos	https://www.lesker.com/
Beneq Oy	Finlandia	https://beneq.com/
Veeco Instruments	Estados Unidos	https://www.veeco.com/
Canon Anelva Corporation	Japón	https://www.canon-anelva.co.jp/english/
Picosun Oy	Finlandia	https://www.picosun.com/
Entegris Inc	Estados Unidos	https://www.entegris.com/en/home.html
ALD NanoSolutions, Inc	Estados Unidos	https://www.forgenano.com/

Tabla 1 Empresas clave en la industria del ALD, Elaboración propia.

Fuente: (Market Watch Inc, 2021a).

DESARROLLOS RECIENTES DE LA TECNOLOGÍA DEL ALD

En noviembre de 2019, los ingenieros químicos de la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL) en suiza, desarrollaron un nuevo método para la Recubrimiento de capas atómicas, una técnica comúnmente utilizada en microelectrónica de alta calidad. El nuevo método se puede utilizar en materiales con superficies más grandes de manera mucho más económica que los enfoques actuales, al tiempo que se conserva la calidad y la eficiencia. Utilizando ALD en fase líquida, los científicos pueden producir materiales indistinguibles de los fabricados en fase gaseosa, con equipos mucho más baratos y sin exceso de precursores. Este nuevo paso tiene el potencial de reducir el tiempo y los costos necesarios para completar la tarea, lo que genera importantes beneficios para las empresas y los consumidores (EPFL, 2021).

En noviembre de 2019, la NASA decidió utilizar las técnicas de Recubrimiento de capa atómica (ALD) para resolver, el problema del polvo lunar que acelera el daño en la electrónica de los equipos y aparatos, lo que lleva a detener la misión antes de tiempo. La NASA trabaja en un recubrimiento avanzado que evite que el peligroso polvo lunar se adhiera a los trajes de los astronautas y sus equipos. El polvo lunar está formado por granos ultra-diminutos, formados por millones de años de impactos de meteoritos que aplastaron y derritieron rocas repetidamente, creando pequeños fragmentos de vidrio y fragmentos minerales. No solo pueden viajar a velocidades de huracán, sino que también se adhieren a todo tipo de superficies, no solo por sus bordes irregulares, sino también por su carga electrostática. El equipo planea construir un reactor u horno para aumentar

el rendimiento del pigmento que mitiga la carga, que luego aplicarían al material del traje espacial para realizar pruebas. Esto demuestra la eficiencia y diversidad de aplicaciones del ALD al mundo (NASA, 2021).

Recientemente, en septiembre pasado, se ha encontrado un nuevo método de Recubrimiento de MnO₂ como una variante de la Recubrimiento de Capa Atómica, que es más eficiente que el normal. Se publicó en ACS Chemistry of Materials y se inspiró en un proyecto de ciencia infantil de la reacción Redox. Se llama Recubrimiento de capa redox y es un método rápido y barato para aplicar películas delgadas de MnO₂ en sustratos nanoestructurados con una precisión cercana a una monocapa, compitiendo con la Recubrimiento de capa atómica (ALD) de última generación. En el nuevo método, la cantidad de MnO₂ recién formado se limitó a una monocapa mediante el uso de alcohol propargílico acuoso, un alcohol insaturado que puede quimisorberse fuertemente en varios sustratos, lo que permite la reducción de su cantidad a una monocapa para la posterior reacción con KMnO₄. Por tanto, el método consiste en ciclos repetidos de adsorción de alcohol propargílico de superficie limitada y su posterior oxidación con permanganato de potasio acuoso, formando una cantidad controlable de MnO₂ sobre el sustrato en cada ciclo. Tiene el potencial de reducir el tiempo y el costo del proceso, haciéndolo más rentable para todos (Nanowerk, 2021).

En el año 2018 la empresa Plasma-Therm LLC ubicada en St Petersburg, Florida, EE. UU Dedicada a la fabricación de equipos de grabado, Recubrimiento y empaquetado por plasma enfocada a los sectores de semiconductores y nanotecnología adquirió la empresa de Recubrimiento de plasma KOBUS de Montbonnot, Francia, que utiliza el método FAST (Fast Atomic Sequential Technology), una alternativa a la Recubrimiento de capa atómica (ALD) donde se requieren películas gruesas y conformadas. El método FAST se encuentra con un intermedio entre el ADL y la Recubrimiento química de vapor (CVD), utiliza un reactor patentado de CVD combinado con la capacidad de pulsación. Este desarrollo puede realizar recubrimientos como el método de ALD, pero su diferencia es que puede generar capas más gruesas y conformadas. Esto implica una barrera, respecto a las aplicaciones en el mercado para el ALD (ASM International, 2021).

En julio de 2019, el fabricante estadounidense de chips Applied Materials Inc acordó comprar su par japonés Kokusai Electric por \$ 2.2 mil millones de KKR & Co Inc, ya que, apuesta por la creciente demanda de chips de memoria utilizados en centros de datos, teléfonos 5G y dispositivos con tecnología de inteligencia artificial. La intención de esta compra fue realmente para que Applied Materials obtuviera una tecnología ALD de vanguardia. Este ha sido un gran paso para impulsar la demanda de ALD y ayudar a que su mercado crezca en los próximos años (Reuters, 2021).

En julio de 2018, el fabricante de equipos para fabricación de semiconductores Applied Materials fue seleccionado por DARPA para trabajar con ARM Ltd. y la firma de investigación Symetrix Corp. para desarrollar un interruptor de inteligencia artificial que

funciona como una neurona y la sinapsis del cerebro humano, basado en la tecnología de memoria RAM de electrones correlacionados (CeRAM). Se pensó que ARM es un licenciataria principal de la tecnología CeRAM de Symetrix y que Applied Materials ha estado explorando la Recubrimiento de capas atómicas con las diversas combinaciones de materiales que pueden mostrar el efecto de electrones correlacionados. Esta asignación resultó ser beneficiosa para las empresas junto con el mercado ALD (Applied Materials, 2021b).

En septiembre de 2019, investigadores del Laboratorio Nacional Argonne del Departamento de Energía de EE. UU. (DOE) hicieron un descubrimiento fundamental al tomar una técnica desarrollada originalmente para la industria de semiconductores y usarla como una forma de recubrir materiales nucleares. Esta técnica, denominada Recubrimiento de la capa atómica (ALD), forma la base de nuevos métodos para proteger los combustibles y materiales nucleares de la exposición directa al entorno hostil del reactor. Este descubrimiento abre un nuevo mercado y una oportunidad para que el mercado ALD crezca, mientras ayuda a los gobiernos y consumidores (PHYS, 2021).

En febrero de 2020, se descubrió que la Recubrimiento de la capa atómica (ALD) tuvo un gran efecto en las maderas y, finalmente, fue útil para salvarlas de los hongos que causaban la pudrición de la madera en ambientes húmedos. Se descubrió que eran más beneficiosos que el tratamiento a presión, que se usaba de antemano para mantener la madera segura y alejada de los hongos y la podredumbre. Este descubrimiento abre un nuevo mercado para ALD y también un nuevo punto de generación de ingresos (The American Ceramic Society, 2021).

En la Ilustración 2 se observa el Beneq P1500, dado a conocer el 3 de septiembre de 2021 por la empresa Beneq, lo nombraron como “el Reactor más grande de ALD en el mundo”, pues tiene una cámara de vacío con un ancho de 170 cm, este equipo permite el recubrimiento ALD de vidrio fotovoltaico, vidrio de pantalla de generación 4-5 y películas ópticas en espejos astronómicos de área amplia de hasta 1300 x 2400 mm de tamaño.



Ilustración 2 Equipo P1500 de la empresa Beneq
 Fuente: (BALD Engineering AB (@jv3sund) / Twitter, 2021)

CADENA DE SUMINISTRO DE LA TECNOLOGÍA DE ALD

En la Ilustración 3 se observa la cadena de proveeduría global de los equipos ALD, establecida como una tecnología habilitadora clave, pues los equipos de ALD se han convertido en una tecnología esencial para la fabricación de prácticamente todos los dispositivos semiconductores de vanguardia.

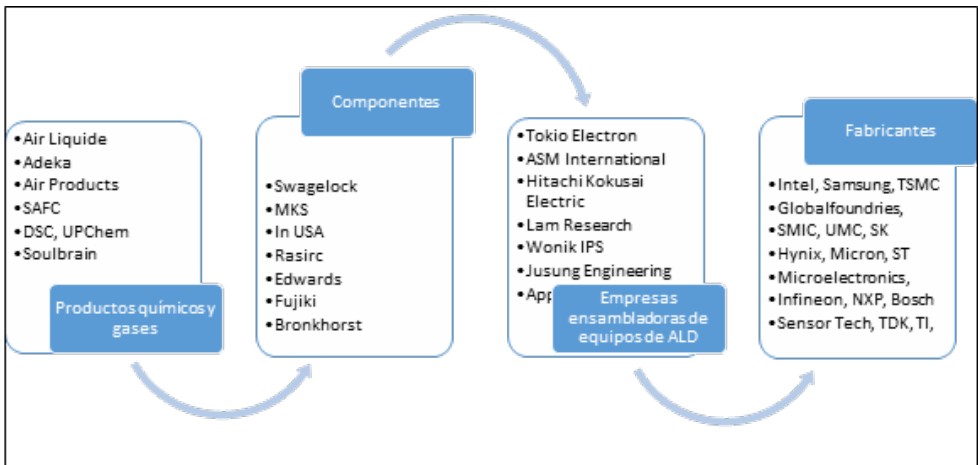


Ilustración 3 Cadena de suministro de la tecnología de ALD
 Fuente: (Sundqvist et al., 2016)

EQUIPOS DE ALD A NIVEL INTERNACIONAL

A continuación, en la Tabla 2 y la Ilustración 4 se observan las principales compañías a nivel mundial que tuvieron una mayor penetración en el mercado de los equipos de ALD en el año 2017, las empresas con mayor posicionamiento son: Tokio electron, ASM international e Hitachi Kokusai Electric, pues entre las 3 empresas suman más del 50% del mercado de equipos de ALD.

Estimación del mercado de equipos de ALD en 2017	
Empresa	Porcentaje de Participación
Tokio Electron	25%
ASM International	24%
Hitachi Kokusai Electric	16%
Lam Research	11%
Wonik IPS	7%
Jusung Engineering	5%
Applied Materials	3%
Otros	9%

Tabla 2 Mercado de equipos de ALD en el 2017, Elaboración propia.

Fuente: (Sundqvist, 2021).

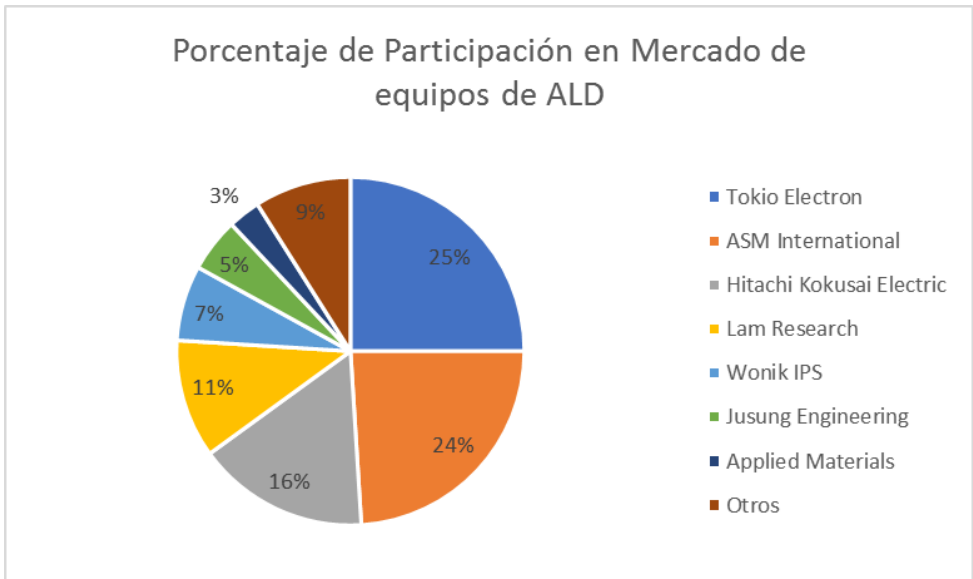


Ilustración 4 Participación de mercado de las principales empresas productoras de equipos de ALD en 2017

Fuente:(Sundqvist, 2021).

TAMAÑO DE MERCADO DE TECNOLOGÍAS DE CAPA DELGADA

En el mercado global, existen diversas soluciones para realizar recubrimientos de capa delgada. A continuación, se muestran indagaciones sobre el tamaño de mercado de cada uno de ellos.

En la siguiente Tabla 3 en la columna izquierda se observan los nombres de las principales tecnologías utilizadas para la elaboración de capas delgadas en la columna derecha se observa el tamaño de mercado en USD según el año en que se realizó la estimación.

Tecnología	Tamaño de mercado Mundial
ALD (Atomic layer deposition) Recubrimiento de capa atómica	USD 8,380 millones en 2020
PVD (Physical Vapor Deposition) Recubrimiento físico de vapor	USD 25,500 millones en 2020
CVD (Chemical vapor deposition) Recubrimiento químico de vapor	USD 20,810 millones en 2016
Epitaxy (Recubrimiento epitaxial)	USD 845.76 millones en 2019
Spin-on (materiales enrosables)	USD 4887.07 millones en 2020
ECD	ND

Tabla 3 Tamaño de mercado de las tecnologías de capa delgada, Elaboración propia,

Fuente: (Market Watch Inc, 2021a), (BCC Research, 2021), (Grand View Research, 2021), (Research and Markets, 2021a), (Market Watch Inc, 2021b).

En la Ilustración 5, se observa de manera ilustrativa el tamaño de mercado de las tecnologías de capa fina, tomado de la Tabla 3.

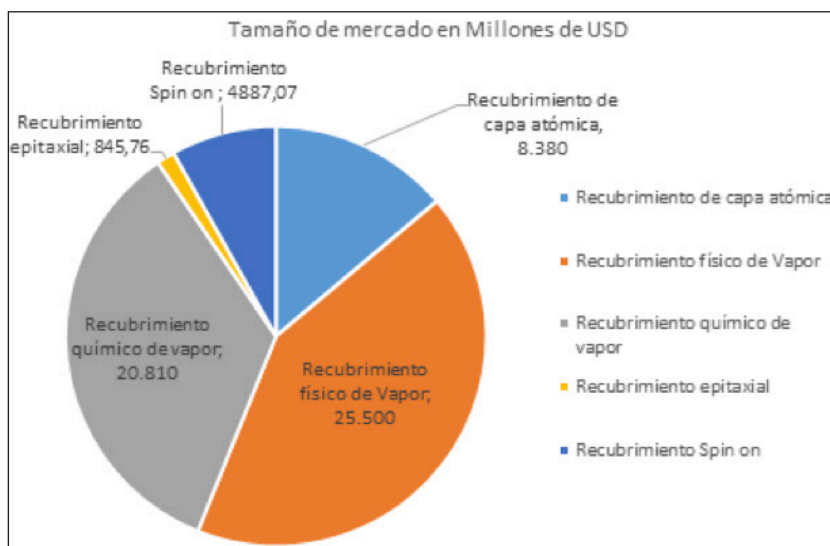


Ilustración 5 Tamaño de mercado de las tecnologías de Recubrimiento de capa fina, Elaboración propia

Fuentes: (Market Watch Inc, 2021a), (BCC Research, 2021), (Grand View Research, 2021), (Research and Markets, 2021a), (Market Watch Inc, 2021b).

TAMAÑO DE MERCADO DE LAS TECNOLOGÍAS DERIVADAS DE CVD

A continuación, Tabla 4 se observan el tamaño de mercado de algunas de las tecnologías derivadas del CVD únicamente se logró encontrar el tamaño de mercado del recubrimiento químico de plasma.

Tecnología	Tecnología derivada	Tamaño de mercado
CVD	PECVD (Recubrimiento químico de vapor mejorada con plasma)	USD 3157.99 millones en 2019
	LPCVD (Recubrimiento químico de vapor a baja presión)	ND
	APCVD (Recubrimiento químico de vapor a presión atmosférica)	ND
	Batch CVD difusión (Recubrimiento químico por lotes de difusión)	ND

Tabla 4 Tamaño de mercado de las tecnologías derivadas de la Recubrimiento química de vapor, Elaboración propia.

Fuente: (GII Research, 2021)

A continuación, en la **Tabla 5** se muestra un comparativo de aplicaciones más comunes para las tecnologías de capa delgada, en la columna izquierda se observa el nombre y en las columnas de la derecha las aplicaciones de las tecnologías. Se marcó con una “x” las aplicaciones que tiene la tecnología.

Tecnología	Sistemas electromecánicos (MEMS)	Almacenamiento de Datos	Energía solar	Herramientas de corte	Equipamiento médico	Joyería	Óptica	Fármacos	Pantallas y monitores	Nanotecnología
ALD	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PVD	X	X	X	X	X					
CVD	X	X	X	X	X		X			
Epitaxi	X									X
Spin-on	X	X							X	

Tabla 5 Tecnologías de capa delgada y sus principales aplicaciones; Elaboración propia.

Fuentes: (Market Watch Inc, 2021a), (BCC Research, 2021), (Grand View Research, 2021), (Research and Markets, 2021a), (Market Watch Inc, 2021b).

EMPRESAS CLAVE DE EN LA INDUSTRIA DEL PVD

En la **Tabla 6** se muestra la información de las principales empresas que generar desarrollos tecnológicos y servicios relacionados con la tecnología de recubrimiento físico de vapor, en la columna central se encuentra el país de origen de las empresas y en la columna derecha se muestra el enlace a su web principal.

Empresas clave de PVD	País de origen	Enlace web
Advanced Energy Industries, Inc	Estados Unidos	https://www.advancedenergy.com/
AJA International, Inc.	Estados unidos	https://www.ajaint.com/
Angstrom Engineering, Inc.	Canadá	https://angstromengineering.com/
Applied Materials, Inc.	Estados Unidos	https://www.appliedmaterials.com/
ASM International N.V.	Países Bajos	https://www.asm.com/
HEF USA	Estados unidos	https://www.hefusa.net/
IHI Corp	Japón	https://www.ihico.jp/en/
Kurt J. Lesker Co	Estados unidos	https://www.lesker.com/
Lam Research Corp	Estados unidos	https://www.lamresearch.com/
Mustang Vacuum Systems	Estados unidos	https://www.mustangvac.com/
Oerlikon Balzers	Liechtenstein (tiene sucursal en México)	https://www.oerlikon.com/balzers/mx/es-mx/
Plasma-Therm	Estados unidos	http://www.plasma-therm.com/about.html
PLATIT AG	Suiza	https://www.platit.com/en/
Praxair S.T. Technology, Inc	Estados Unidos	https://www.praxairsurfacetechnologies.com/en
Richter Precision, Inc.	Estados unidos	https://www.richterprecision.com/
Semicore Equipment, Inc	Estados unidos	http://www.semicore.com/
Singulus Technologies AG	Alemania	https://www.singulus.com/en.html
Tanury Industries	Estados unidos	https://tanury.com/
Tokyo Electron, Ltd.	Japón	https://www.tel.com/
ULVAC, Inc	Japón	https://www.ulvac.co.jp/
Veeco Instruments, Inc	Estados unidos	https://www.veeco.com/

Tabla 6 información básica de las empresas de PVD., Elaboración propia.

Fuente: (Research and Markets, 2021b)

EMPRESAS CLAVE EN LA INDUSTRIA DE CVD

En la Tabla 7 se muestran las empresas clave en la industria de recubrimiento químico de vapor, en el centro de la tabla se observa el país de origen de las empresas y en la columna derecha se muestran los enlaces web de las empresas.

Empresas de CVD	País de origen	Enlace web
Veeco Instruments, Inc.	Estados Unidos	https://www.veeco.com/
Ulvac, Inc.	Japón	https://www.ulvac.co.jp/
IHI Corporation	Estados Unidos	https://www.hefusa.net/
Applied Materials, Inc.	Estados Unidos	https://www.appliedmaterials.com/
Tokyo Electron Limited	Japón	https://www.tel.com/
Adeka Corporation	Japón	https://www.adeka.co.jp/en/
CVD Equipment Corporation	Estados Unidos	https://www.cvdequipment.com/
Lam Research Corporation	Estados Unidos	https://www.lamresearch.com/
Richter Precision Inc	Estados Unidos	https://www.richterprecision.com/
Plasma-Therm	Estados Unidos	http://www.plasma-therm.com/about.html
ASM International	Países Bajos	https://www.asm.com/
AIXTRON	Alemania	https://www.aixtron.com/en
Dynavac	Estados Unidos	https://dynavac.com/
Mustang Vacuum Systems	Estados Unidos	https://www.mustangvac.com/
Oxford Instruments	Reino Unido	https://www.oxinst.com/
Intevac, Inc.	Estados Unidos	https://www.intevac.com/
Oerlikon Balzers	Liechtenstein (tiene sucursal en México)	https://www.oerlikon.com/balzers/mx/es-mx/

Tabla 7 Información básica de las empresas de CVD, Elaboración propia

Fuente: (Market Watch, 2021). *Empresas Clave en la industria de recubrimiento Epitaxial*

En la Tabla 8, se muestra la información relacionada con los países de origen y las páginas web de las principales empresas a nivel mundial que trabajan con la tecnología de recubrimiento epitaxial.

Empresas de Epitaxy (Recubrimiento epitaxial)	País de origen	Enlace web
AIXTRON	Alemania	https://www.aixtron.com/en
Siltronic AG	Alemania	https://www.siltronic.com/en/
II-IV Incorporated	Estados unidos	https://ii-vi.com/
CREE inc	Estados unidos	https://cree-led.com/
Epistar Corporation	Taiwán	https://www.epistar.com/EpistarEn/prodInfo
Global communication Semiconductors	Estados unidos	http://www.gcsincorp.com/
Intelligent epitaxy Technology	Estados Unidos	https://intelliepi.com/
International Quantum Epitaxy plc	Reino Unido	https://www.iqep.com/
Masimo semiconductor, inc.	Estados unidos	https://www.masimosemiconductor.com/
Nichia Corporation	Japón	http://www.nichia.co.jp/
Sumitomo electronic industries	Japón	https://sumitomoelectric.com/
SVM	Estados unidos	https://svmi.com/
ASM International	Países Bajos	https://www.asi.com/
Infineon	Alemania	https://www.infineon.com/
SVT Associates	Estados unidos	https://www.svta.com/
Applied Materials	Estados unidos	https://www.appliedmaterials.com/
CSD Epitaxy	Estados unidos	http://www.csd-epi.com/
MKS Instruments	Estados unidos	https://www.mksinst.com/
Tokyo Electron Ltd	Japón	https://www.tel.com/
k-Space Associates Inc.	Estados unidos	https://k-space.com/
Epiluvac	Suecia	https://epiluvac.com/
LPE	Italia	http://www.lpe-epi.com/

Tabla 8 Información básica de las empresas de empresas de recubrimiento epitaxial. , Elaboración propia

Fuentes: (Allied Market Research, 2021; Research and Markets, 2021a).

EMPRESAS CLAVE DE LA INDUSTRIA DE RECUBRIMIENTO TIPO SPIN-ON

En la Tabla 9, se muestran las principales empresas que realizan la Recubrimiento tipo spin on, en la columna central se muestra el país de origen de las empresas y en la columna derecha se observa el enlace a sus páginas web.

Empresas de Spin-on	País de origen	Enlace web
Samsung SDI	Corea del sur	https://www.samsungdi.com/
JSR	Japón	https://www.jsr.co.jp/jsr_e/
Nissan Chemical Industries	Japón	https://www.nissanchem.co.jp/eng/
Shin-Etsu MicroSi	Estados unidos	https://www.microsi.com/
YCCHEM	Taiwán	http://www.ycchem.com.tw/



Tabla 9 Información básica de las empresas de recubrimiento tipo spin on, Elaboración propia.

Fuente: (Market Intellix LLP, 2021).

EQUIPOS DE RECUBRIMIENTO DISPONIBLES EN EL MERCADO

Equipos de Recubrimiento de Capa Atómica

En las Tabla 10 se han agrupado descripciones e imágenes de equipos de ALD, disponibles en el mercado. En la columna izquierda se muestra la empresa fabricante, en la columna media se observa una imagen del equipo y en la columna derecha se muestran algunas características de los equipos.

Empresa	Imagen de los equipos	Descripciones/observaciones
Tokyo Electron Limited		Tamaño de la oblea 300mm Oblea por cámara / sistema 6 a 12 obleas / 2 cámaras de proceso Reactor tipo Térmico y Plasma Características Cobertura de alto paso, película de alta calidad, alto rendimiento, Controlabilidad del estrés, daño plasmático bajo Proceso SiO ₂ , SiN, alto-k Sustratos Si, SOI
		TELINDY PLUS™ Tamaño de la oblea (mm) 300 Proceso ALD térmico, LPCVD, oxidación / recocido Reactor Térmico Temperatura del proceso RT-1100C


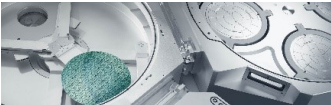
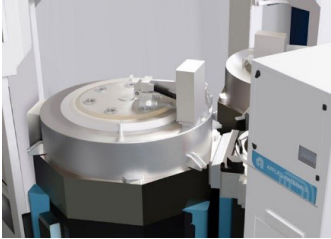
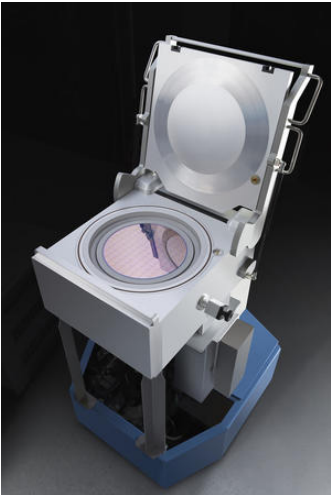



Empresa	Imagen de los equipos	Descripciones/observaciones
Lam Research Corporation		<p>Familia de productos Striker Striker® Striker® FE ciclos rápidos de ALD Aplicación de propiedades mecánicas y eléctricas ajustables de la película dentro de un amplio rango de temperaturas Revestimientos de conformación herméticos y sin daños Películas de alta selectividad y baja tasa de grabado en húmedo</p>
		<p>Familia de productos ALTUS Punto de referencia de la película de tungsteno (W). Capa de nucleación formada utilizando el proceso ALD y llenado de CVD in situ habilitado por la arquitectura patentada de Recubrimiento secuencial multi-estación (MSSD). Películas delgadas de W usando ALD para reducir el espesor y alterar el crecimiento de grano de relleno masivo de CVD. Relleno W bajo en flúor y bajo estrés para 3D NAND y DRAM avanzados. Películas de espesor reducido (en relación con la barrera convencional) mediante el uso de ALD.</p>
Applied Materials Inc		<p>OLYMPIA™ ALD Equipo de proceso continuo. Fabricación de DRAM, 3D NAND y FinFET lógico. El sistema ALD de Applied Olympia™ para la Recubrimiento autónoma de películas dieléctricas aborda el importante desafío de obtener películas ALD de alta calidad a las bajas temperaturas de Recubrimiento necesarias para fabricar dispositivos planos y 3D.</p>
		<p>CENTURA® ISPRINT™ ALD/CVD SSW Ofrece relleno de huecos CVD W de abajo hacia arriba generando un producto libre de huecos y uniones. Optimiza el volumen de W, creando características más robustas y ayudando a mejorar el rendimiento.</p>

Tabla 10 Equipos de ALD disponibles en el mercado, Elaboración propia.

Fuentes: (Applied Materials, 2021a; Lam Research, 2021; Tokyo Electron Ltd., 2021).

APARATOS DE RECUBRIMIENTO FÍSICO DE VAPOR (PVD)

En la Tabla 11, se encuentra agrupada la información referente a equipos de PVD. En la columna izquierda se muestra la empresa fabricante, en la columna media se observa una imagen del equipo y en la columna derecha se encuentran las características de los equipos.

Empresa	Fotografía del equipo	Descripciones/observaciones
AJA International, Inc.		<p>Sistemas de evaporación E-Beam Rango de precios: USD 140,000 - 650,000 Estilo de caja y cámaras cilíndricas Versiones HV y UHV disponibles Opciones de bloqueo de carga y casete Fuentes de rayos-e rotativas o lineales Polipasto integrado o puerta con bisagras Simple, multicapa o co-evaporación Corredera lineal para pistola electrónica disponible Soportes de sustrato planetarios, calentados y enfriados</p>
		<p>SISTEMAS DE EVAPORACIÓN TÉRMICA SERIE ATC-T Rango de precios: USD 80,000 - 650,000 Cámaras estilo caja o cilíndricas Versiones HV y UHV disponibles Matriz de fuente térmica en portaobjetos disponible Opciones de bloqueo de carga y casete Blindaje refrigerado por agua según sea necesario Polipasto integrado o puerta con bisagras</p>
Angstrom Engineering, Inc.		<p>Plataforma de Recubrimiento física de vapor de Covap Cámara de concha de almeja rectangular para una excelente accesibilidad Los materiales y sustratos se pueden cargar con facilidad incluso en una guantera La plataforma de Recubrimiento física de vapor de Covap proporciona un acceso sin obstáculos para quitar el blindaje, limpiar y preparar el sistema para la siguiente ejecución Listo para la integración de la guantera Huella del sistema compacto de 600 mm x 1000 mm Elija entre 2 o 4 configuraciones de fuente Control avanzado multicapa basado en recetas Secuencial o co-Recubrimiento Los accesorios admiten sustratos de hasta 100 mm x 100 mm Entrenamiento completo del sistema incluido Sensores QCM cuidadosamente aislados para garantizar que no haya interferencias del material fuente adyacente Alto vacío proporcionado por bomba turbomolecular Garantía de 2 años con el equipo de soporte más receptivo de la industria</p>





Empresa	Fotografía del equipo	Descripciones/observaciones
		<p>PLATAFORMA DE RECUBRIMIENTO FÍSICA DE VAPOR NEXDEP Sputtering RF, DC, DC pulsado, HIPIMS y reactivo. Se encuentran disponibles cátodos circulares, lineales y cilíndricos. Evaporación térmica Puede utilizar una amplia gama de filamentos y calentadores de crisol. Evaporación por haz de electrones Procesamiento de haces de iones y plasma</p>
Applied Materials, Inc.		<p>PIKA™ PVD El sistema Applied Pika PVD es la herramienta PVD de una sola oblea más pequeña y rápida de la industria actual, diseñada para I + D de alto rendimiento y producción de bajo volumen a bajo costo de propiedad. El sistema compacto (1657 mm x 755 mm x 1822 mm) incorpora módulos de Recubrimiento de degasificación, limpieza previa y pulverización catódica con una cámara de transferencia robótica de alto vacío y automatización completa de casete a casete. Ha demostrado una alta confiabilidad, con más del 92% de tiempo de actividad.</p>
		<p>TOPAZ™ PVD El sistema Topaz PVD sirve en sustratos de hasta 600 mm x 600 mm. La demanda de componentes electrónicos de menor costo y mayor rendimiento está motivando a la industria a realizar la transición de WLP (empaquetado a nivel de oblea) a PLP (empaquetado a nivel panel).</p>
		<p>Los costos de capital normalizados para PLP son menos de la mitad que los de los formatos de nivel de oblea.</p>

Tabla 11 Equipos de PDV disponibles en el mercado, Elaboración propia.

Fuentes: (AJA International, 2021; Angstrom Engineering, 2021; Applied Materials, 2021c).

EQUIPOS DE RECUBRIMIENTO QUÍMICO DE VAPOR

En la Tabla 12, se muestran equipos recubrimiento químico de vapor, en la columna izquierda se observa en nombre de la empresa fabricante, al centro se observa una imagen de los equipos y en la columna izquierda se encuentran la descripción de los equipos.

Empresa	Fotografía del equipo	Descripciones/observaciones
<p>Veeco Instruments, Inc.</p>		<p>Sistemas Lumina As/P MOCVD para aplicaciones fotónica Uniformidad excelente y bajos defectos en producción continua. Control térmico uniforme Capaz de depositar capas epitaxiales de As / P de alta calidad en obleas de hasta veinte centímetros de diámetro Diseñado para dispositivos de próxima generación. Detección 3D Comunicación de datos de alta velocidad Láseres emisores de bordes Comunicaciones ópticas avanzadas Fotónica de silicio Mini y MicroLED Pantallas de televisión 4K y 8K Teléfonos inteligentes Dispositivos portátiles AR / VR (Realidad aumentada / Realidad virtual)</p>
		<p>Sistemas Propel MOCVD reactor de oblea único de fabricación de alto volumen Para obleas de 150 y 200 mm 6 cámaras de procesamiento</p>

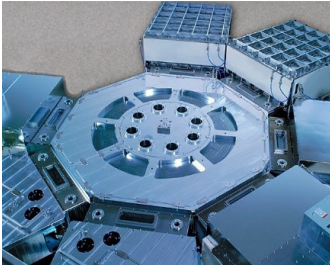



Empresa	Fotografía del equipo	Descripciones/observaciones
Ulvac, Inc.		<p>Serie CMD Sistemas de CVD de plasma de un solo sustrato Recubrimiento de películas de óxido de silicio y nitruro utilizando SiH₄ o TEOS. Una fuente de alimentación de alta frecuencia (27,12 MHz) permite la Recubrimiento de película de alta calidad.</p>
		<p>CME-200E / 400 Sistema PE-CVD tipo clúster Película de alta calidad que utiliza precursores de SiH₄: SiO₂, SiN_x, SiON, a-Si, también para el proceso TEOS para películas de SiO₂ amaño de sustrato de hasta 200 x 200 mm para CME-200E, máx. 300 x 400 mm para CME-400</p>
CVD Equipment Corporation		<p>Sistemas de APCVD CVDgCoat™ Se utilizan para cultivar películas epitaxiales de Si, compuesto semiconductores, SiO₂, revestimientos antirreflejos (AR) y transparentes Recubrimientos de óxido conductor (TCO) Proceso de acabado de superficies, herramientas y turbinas.</p>
		<p>CVD de lecho fluidizado (FBCVD) se utiliza para recubrir polvos o partículas diseñado para permitir la inyección de un gas fluidizante Los gases penetrarán a través del polvo y reaccionarán para formar películas delgadas. o nanomateriales en todas las superficies del polvo</p>

Tabla 12 Equipos de CVD disponibles en el mercado, Elaboración propia

Fuentes: (CVD Equipment Corporation, 2021; ULVAC Inc., 2021; Veeco, 2021).

APARATOS DE RECUBRIMIENTO EPITAXIAL

En la Tabla 13, se muestran algunos equipos para el recubrimiento epitaxial, en la columna izquierda se observa en nombre de la empresa fabricante, al centro se observa una imagen de los equipos y en la columna izquierda se encuentran la descripción de los equipos.

Empresa	Fotografía del equipo	Descripciones/observaciones
LPE		<p>REACTOR EPITAXIAL DE CARBURO DE SILICIO PE106</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reactor de epitaxia de una sola oblea de 150 mm - Calentamiento inductivo de pared caliente - Sistema de inyección de gas de tres zonas - Bloqueo de carga para purga inerte entre corridas.
Epiluvac		<p>Epiluvac ER3-C1</p> <p>Reactores de epitaxia CVD para SiC y GaN Hasta 200 mm (8") de diámetro de oblea. Excelente uniformidad a través de la topología de pared caliente. Control de flujo de gas dinámico avanzado para una tasa de crecimiento óptima y uniformidad de dopaje. Excelente perfil de temperatura con múltiples zonas de calentamiento. Sin cuarzo y destinado a procesos clorados. La carga / descarga de obleas calientes en una atmósfera inerte limpia minimiza la contaminación de partículas y extiende la vida útil de las piezas de grafito. Diseño modular Transporte de obleas entre los reactores en un ambiente controlado. Hasta 1800 ° C. Adecuado para producción e I + D de bajo / medio volumen.</p>
CSD Epitaxy		<p>EpiPro 5000</p> <p>Diversos tamaños</p> <ul style="list-style-type: none"> 100 mm 35 obleas / carga por cámara 125 mm 24 obleas / carga por cámara 150 mm 18 obleas / carga por cámara 200 mm 8 obleas / carga por cámara <p>Tiene un doble reactor</p>

Tabla 13 Equipos de recubrimiento epitaxial disponibles en el mercado, Elaboración propia.

Fuentes: (CSD Epitaxy, 2021; Epiluvac, 2021; LPE, 2021)

CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio fue analizar las perspectivas y tendencias del mercado internacional de equipos de depósito de capas delgadas, con un enfoque particular en la adopción de tecnologías avanzadas como el Recubrimiento de Capa Atómica (ALD). A través del análisis de datos de diversas industrias, se identificaron las regiones con mayor crecimiento, como Asia Pacífico y América del Norte, y se destacaron las innovaciones en materiales y métodos que están transformando la industria.

Los hallazgos indican que, aunque existen desafíos significativos, la industria está bien posicionada para un crecimiento sostenido, impulsado por la demanda de recubrimientos avanzados en sectores clave como la electrónica, la energía solar y los dispositivos médicos. La adopción de técnicas como el ALD mejorado con plasma (PEALD) está aumentando la eficiencia y reduciendo costos, lo que refuerza la competitividad del mercado.

Una observación clave del estudio es que la continua innovación en materiales precursores y métodos de recubrimiento es esencial para mantener el crecimiento y la competitividad de la industria. Además, las políticas gubernamentales y la creciente preocupación por el cambio climático están impulsando la adopción de energías renovables, lo que a su vez aumenta la demanda de tecnologías de recubrimiento avanzadas.

Este estudio proporciona una guía valiosa para las empresas que buscan adoptar o mejorar sus tecnologías de recubrimiento de capas delgadas. También destaca la importancia de la innovación y la adaptación continua para mantenerse competitivos en un mercado en rápida evolución. A pesar de las limitaciones del estudio, como la disponibilidad de datos específicos y el enfoque en ciertas regiones, las conclusiones subrayan la necesidad de investigaciones futuras para explorar cómo las nuevas tecnologías y métodos pueden seguir transformando la industria de los recubrimientos de capas delgadas.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones empíricas se centren en cómo las empresas pueden mejorar la eficiencia y la rentabilidad a través de la adopción de nuevas tecnologías y prácticas, y cómo pueden superar los desafíos asociados con la implementación de estas innovaciones.

REFERENCIAS

CVD Production Systems for Industrial Coatings powered by. (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from www.cvdequipment.com

PVD Market Size Worth \$30.3 Billion By 2027 | CAGR: 6.1%. (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-physical-vapor-deposition-pvd-market>

Physical Vapor Deposition Market Size | PVD Industry Report 2027. (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/physical-vapor-deposition-pvd-market>

Global Spin on Materials Market Market: Industry Analysis & Outlook. (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://www.marketintellix.com/report/global-spin-on-materials-market-50004>

Spin sur le marché des matériaux de rapport est en plein essor Les dernières tendances dans le monde. (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://www.marketreportsinsights.com/industry-forecast/spin-on-materials-industry-83874>

Spin-on Materials Market Report | Global Forecast To 2028. (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://industrygrowthisights.com/report/spin-on-materials-market/>

Electrochemical Deposition (ECD) Market Report – Research, Industry Analysis Reports and Market Demands. (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://www.reportsandmarkets.com/reports/global-electrochemical-deposition-eed-market-4340491>

Global Electrochemical Deposition Ecd Market – Market Reports World. (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://www.marketreportsworld.com/global-electrochemical-deposition-eed-market-18842697>

Electrochemical Deposition (ECD) Market Recent Trends. (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.openpr.com/news/2359032/electrochemical-deposition-eed-market-recent-trends>

Global Electrochemical Deposition Ecd Market – Industry Reports. (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.businessgrowthreports.com/global-electrochemical-deposition-eed-market-18842697>

Chemical Vapor Deposition (CVD) Market Size, Share 2021 By Worldwide Industry Demand, Regional Overview, Trends Evaluation, Top Manufacture, Business Growth Strategies and Forecast to 2024 with CAGR of 7.92% | Says Precision Reports - MarketWatch. (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.marketwatch.com/press-release/chemical-vapor-deposition-cvd-market-size-share-2021-by-worldwide-industry-demand-regional-overview-trends-evaluation-top-manufacture-business-growth-strategies-and-forecast-to-2024-with-cagr-of-792-says-precision-reports-2021-07-20>

Epitaxial Wafer Market For Compound Semiconductor | Analysis - 2027. (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.alliedmarketresearch.com/epitaxial-wafer-market-A06819>

Global Spin on Materials Market Market: Industry Analysis & Outlook. (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.marketintellix.com/report/global-spin-on-materials-market-50004>

Chemical Vapor Deposition Market Size | CVD Industry Report, 2025. (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/chemical-vapor-deposition-cvd-market>

BCC Research. (2021). *Physical Vapor Deposition (PVD) Market Growth Analysis Report.* <https://www.bccresearch.com/market-research/manufacturing/physical-vapor-deposition-markets-report.html>

Research and markets. (20119). *Global Physical Vapor Deposition (PVD) Market 2019-2025.* <https://www.researchandmarkets.com/reports/4893904/global-physical-vapor-deposition-pvd-market>

Epitaxy Deposition Market - Forecasts from 2021 to 2026. (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.researchandmarkets.com/reports/5350965/epitaxy-deposition-market-forecasts-from-2021>

Global Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) Systems Market Professional Survey Report 2020 - GII. (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.giiresearch.com/report/qyr967978-global-plasma-enhanced-chemical-vapor-deposition.html>

Global Physical Vapor Deposition (PVD) Market 2019-2025. (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.researchandmarkets.com/reports/4893904/global-physical-vapor-deposition-pvd-market>

PVD Market Size Worth \$30.3 Billion By 2027 | CAGR: 6.1%. (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-physical-vapor-deposition-pvd-market>

Sundqvist, J. (2021). *ALD/CVD applications, equipment and precursors in high volume.* https://www.slideshare.net/JonasSundqvist/aldcvd-applications-equipment-and-precursors-in-high-volume-manufacturing?qid=c05212de-b0a2-4204-af03-2993c1bbc857&v=&b=&from_search=2

BALD Engineering AB (@jv3sund) / Twitter. (2021). <https://twitter.com/jv3sund/status/1433794259681955842/photo/1>

Engineering, B. (2021). *Aplicaciones ALD.* <http://www.blog.baldengineering.com/p/ald-applications.html>