

E-Strahlverdampfen

E-Strahlverdampfer



Die THEVA Smart E-vaporator Serie

Elektronenstrahlverdampfung ist eine der wirtschaftlichsten, industriellen Verfahren zur Vakuumbeschichtung, erlaubt kontinuierlichen Langzeitbetrieb und wird deshalb seit Jahrzehnten in der Dünnschichtproduktion eingesetzt.

Das Prinzip basiert auf einem Elektronenstrahl, der aus einem beheizten Filament gezogen und durch Elektronenoptik auf das Verdampfungsmaterial fokussiert wird. Durch die extreme Hitze können selbst Materialien mit hohem Schmelz- oder Siedepunkt thermisch behandelt oder in die Gasphase überführt werden.

THEVA hat die **Smart E-vaporator** Serie aufgelegt, um ein vielseitiges Werkzeug zur Heizung und Verdampfung im Vakuum bereit zu stellen. Sie zeichnet sich aus durch ihre Flexibilität im Einsatz, die hohe Zuverlässigkeit, Langlebigkeit und Wartungsfreundlichkeit.

Das Smart E-vaporator Konzept erlaubt die Abscheidung von Metallen sowie komplexen anorganischen Verbindungen mit hoher Rate. Die gezielte Heizung eines kleinen Materialvolumens minimiert den Wärmeeintrag in empfindliche Substrate und das gesamte Vakuumsystem, was den Kühlaufwand drastisch reduziert und sich in längeren Lebensdauern aller Komponenten widerspiegelt.

Das THEVA Konzept

Besonderheiten und Vorteile

Der Elektronenstrahl deponiert Energie einem kleinen Volumen und heizt dadurch das Material extrem stark auf, so dass es praktisch unabhängig von Schmelzpunkt und Dampfdruck verdampft wird.

Die extremen Temperaturen erlauben sehr hohe Depositionsraten aus einem kleinen Materialvolumen heraus. Der kleine Brennfleck begrenzt die Wärmestrahlung und damit den Wärmeeintrag in empfindliche Substrate, wie z.B. Plastikfolie.

Die Elektronenoptik erlaubt schnelles Abrastern und Ablenkung des Elektronenstrahls, so dass sich Heizzone und -profil sehr genau einstellen lassen.

Diese Verdampfungstechnik benötigt keine speziell gefertigten Targets, sondern kommt mit Verdampfungsmaterial in sehr einfacher und kostengünstiger Form (z.B. Draht, Granulat) aus.

Trennung von Tiegel und E-Kanone

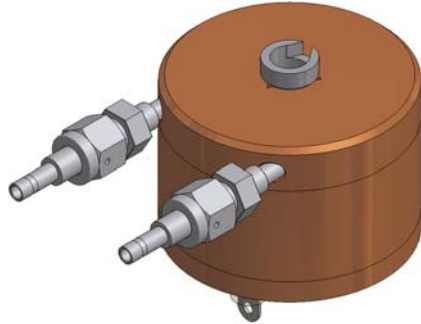
Die Grundidee der Smart E-vaporator Serie ist die räumliche Trennung von Materialquelle und Elektronenstrahlerzeugung, was in dieser Leistungsklasse selten zu finden ist.

Da die beiden Kernstücke des Verdampfers unabhängig voneinander ausgelegt und angeordnet werden können, lässt sich die Beschichtungseinrichtung optimal an die jeweiligen Anforderungen anpassen.

Ein zusätzlicher Vorteil ist die deutlich verlängerte Standzeit, da E-Kanone und Filament nicht verschmutzt (beschichtet) werden und sogar differenziell gepumpt werden können, wenn der Prozess Reaktivgas erfordert. Dadurch sind lange Betriebsdauern ohne Unterbrechung für Wartungsarbeiten gewährleistet.

Tiegelverdampfer

E-Strahl beheizter Tiegel



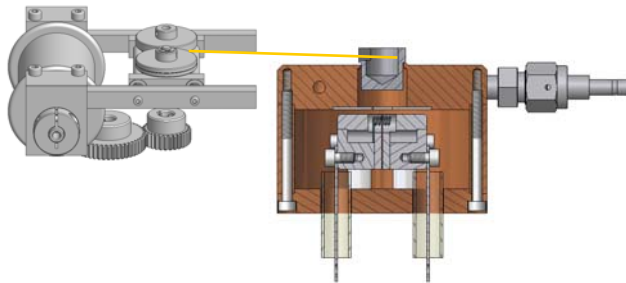
Tiegelverdampfer

Die optimale Anordnung zur Verdampfung von Metallen oder Legierungen ist ein von unten E-Strahl-beheizter Tiegel. Im Gegensatz zu direkt beheizten Schiffchen hängen Verdampfungsrate und Heizleistung nicht vom Füllstand ab und flüssiges Metall kriecht nicht auf die Stromzuleitungen. Die gleichmäßige Heizung von unten garantiert stabile Konvektion und eine ruhige Flüssigkeitsoberfläche. Ohne Überhitzung und Turbulenzen ist das Risiko von Spritzern und Tröpfchen auf dem Substrat deutlich verringert.

Der Elektronenstrahl heizt den Tiegel sehr homogen und effektiv. Durch die Wasserkühlung des Gehäuses kommt Wärmestrahlung lediglich aus der kleinen heißen Flüssigkeitsoberfläche. Dadurch ist der Wärmeeintrag auf das Substrat sehr gering und bei hoher Abscheiderate dominiert die Kondensationsenergie des Dampfes.

Standardmäßig kommen Wolframtiegel zum Einsatz. Besteht die Gefahr einer Legierungsreaktion mit dem Tiegel, können aber auch Einsätze aus Keramikmaterial oder Graphit verwendet werden.

Drahtnachführung



Drahtnachführung

Obwohl das Füllvolumen des Tiegels begrenzt ist, ist kontinuierlicher Langzeitbetrieb möglich. Eine Drahtnachführung kann kilometerlangen Draht von einer Vorratspule zuführen. Aufgrund intrinsischer Rückkopplung bestimmt die Materialzufuhr die Beschichtungsrate, so dass keine zusätzliche Ratenkontrolle notwendig ist.

Modularer Aufbau und Langlebigkeit

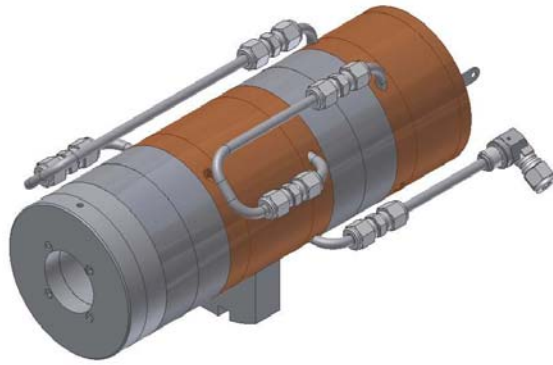
Der Smart E-vaporator von THEVA ist modular aufgebaut und erlaubt einfachen Tausch oder Anpassung der Komponenten:

- Hochspannungsnetzteil
- Filamentstromversorgung
- Regelelektronik (CAN-Bus Schnittstelle)
- E-Strahl – beheizter Tiegel (Wasser – gekühltes Gehäuse)
- Drahtnachführung

Da die Elektronenstrahlquelle komplett durch ein wassergekühltes Gehäuse gekapselt ist, ist eine Verschmutzung ausgeschlossen, was extrem lange Lebensdauern garantiert.

Lineare E-Kanone

Lineare E-Kanone



Lineare E-Kanone

Für maximale Flexibilität in der Anlagenplanung hat THEVA eine autonome, lineare Elektronenstrahlquelle entwickelt die mit ihrer Elektronenoptik den Elektronenstrahl auf das Zielobjekt fokussiert.

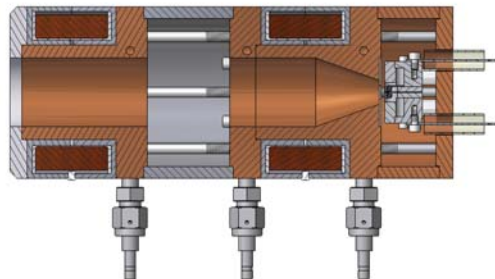
Diese E-Kanone ist ein vielseitiges Werkzeug zum schnellen und effektiven Heizen im Vakuum.

In Verbindung mit einem Tiegel bildet sie die Kernkomponente der Smart E-vaporator Serie. Zur Erzielung des optimalen Materialabtrags, erlauben Elektronenoptik und elektronische Strahlableitung eine präzise Formgebung und Positionierung der heißen Zone auf dem Tiegel.

Durch die Strahlableitung existiert keine direkte Sichtlinie zwischen Verdampfungsquelle und E-Kanone, so dass deren Verschmutzung auf ein Minimum reduziert ist und die Filamentlebensdauer drastisch steigt.

Bei Bedarf erlaubt eine differenziell Pumpstufe vor dem Filament selbst den Betrieb bei hohem Gasdruck oder in Reaktivgasatmosphäre.

E-Strahlheizung



E-Strahlheizung

Die lineare E-Kanone stellt einen schnellen, effektiven Vakuumheizer dar. Aufgrund der geringen Eindringtiefe der Elektronen in Festkörper oder Flüssigkeiten wird die Energie in einer dünnen Haut genau da deponiert, wo sie gebraucht wird.

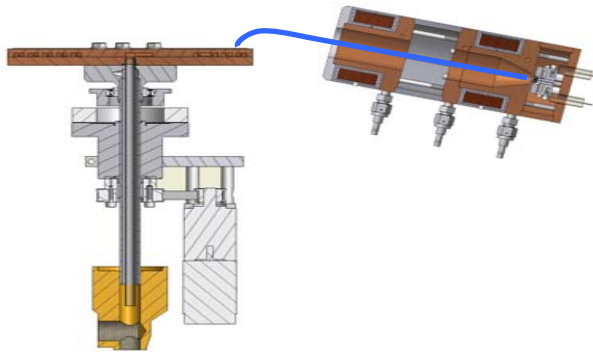
Damit lässt sich ein weites Anwendungsspektrum schneller thermischer Oberflächenbehandlung abdecken:

- Wärmebehandlung von Metalloberflächen (Werkzeughärtung)
- Beseitigung von Zunderschichten
- Entfernung von Verschmutzungen
- Aufschmelzen von Material
- Heizung schwebender Nanopartikel (in einem Reaktor)

Die Elektronenoptik erlaubt eine präzise Kontrolle von Position und Intensität der eingebrachten Heizenergie.

Linearer E-Strahlverdampfer

E-Strahlverdampfung



Linearer E-Strahlverdampfer

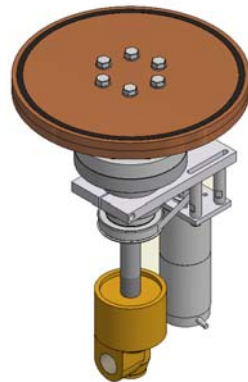
Zusammen mit einem Verdampfertiegel bildet die lineare E-Kanone das Smart E-vaporator System, was den Leistungsbereich bis 6 kW abdeckt.

Baukastenprinzip

Der Smart E-vaporator von THEVA ist nach dem Baukastenprinzip aufgebaut, bietet hohe Flexibilität und ermöglicht leichte Anpassung, Wartung oder Nachrüstung von Komponenten:

- Hochspannungsnetzteil
- Filamentstromversorgung
- Regelelektronik (CAN-Bus Schnittstelle)
- Lineare E-Kanone
- Magnetische Strahlablenkung
- Tiegel (kundenspezifisch)
- Trichternachfüllung

Tiegelanordnungen



Kundenspezifische Tiegelanordnungen

Beim Smart E-vaporator Konzept ist die Tiegelkonstruktion völlig unabhängig von der E-Strahlquelle. Dadurch lässt sich der Tiegel genau an die Anforderungen des Kunden anpassen.

Tiegel mit oder ohne Einsätze können eine feste Menge des Verdampfungs-materials enthalten oder kontinuierlich nachgefüllt werden. Ein wassergekühlter Drehteller kann Granulat aus einem Trichter extrahieren und der heißen Zone des Elektronenstrahls zuführen, wo es vollständig verdampft wird.

In dieser Anordnung ist es möglich, die chemische Zusammensetzung komplexer Verbindungen bei der Verdampfung im wesentlichen zu erhalten, auch bei stark unterschiedlichem Dampfdruck der einzelnen Komponenten. Das Konzept basiert auf einem von THEVA patentierten Verfahren zur Langzeitbeschichtung von Hochtemperatur Supraleitern (z.B. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$).

Technische Spezifikationen

Tiegelverdampfer

EB-C Serie

Typ	Leistung (W)	Spannung (kV)
EB-C	600	6
EB-C	1200	6
EB-C	1800	6

Tiegel und Einsätze

Wolframtiegel mit Aussparung für Drahtnachführung oder Tiegeleinsätze (z.B. Graphit, Aluminiumoxid, Zirkonoxid) auf Kundenwunsch verfügbar.

Betriebsbedingungen

Gasdruck	$< 4 \times 10^{-4}$ mbar
Wasserkühlung	> 2 l/min @ 20 °C (max. 3 bar)
Verdampfungsmaterial	Metalle
Materialnachfüllung	Metalldraht (0,5 – 1 mm) von Rolle Kapazität einige kg oder km
Depositionsraten (@ 30 cm Abstand)	0,1 - 50 nm/s
Wärmeeintrag	Sehr gering, da hohe Raten durch geringe Heizleistung erreichbar (sehr gutes Verhältnis Heizleistung/Strahlung)
Standzeit	sehr lang $\gg 100$ Std. (unter Hochvakuum)
Wartung	Sichtkontrolle Filament und Tiegel, einfacher Austausch
Verschmutzung	keine, Filamentblock gekapselt

Lineare E-Kanone

EB-L Serie

Typ	Leistung (W)	Spannung (kV)
EB-L	1800	6
EB-L	3000	6
EB-L	4500	6

Tiegel

THEVA bietet Unterstützung bei Planung und Einbau des Smart E-vaporator in das Vakuumsystem. Wassergekühlte Tiegel werden kundenspezifisch ausgelegt.

Betriebsbedingungen

Gasdruck	$< 4 \times 10^{-4}$ mbar (oder differenzielle Pumpstufe)
Wasserkühlung	(4 + 10) l/min @ 20 °C (max. 4 bar) E-Kanone + Tiegel, 10 l/min bei gekühltem Drehtiegel
Verdampfungsmaterial	komplexe Verbindungen (e.g. $YBa_2Cu_3O_7$) einfache Oxide (MgO etc.), Metalle
Materialnachfüllung	Körner oder Pulver (0,1 – 10 mm)
Depositionsraten (@ 30 cm Abstand)	0,1 - 100 nm/s
Wärmeeintrag	sehr gering für Granulat (0,1 – 0,3 mm)
Standzeit	lang > 100 Std. (Prozessgas abhängig) differenzielles Pumpen möglich
Wartung	schneller Filamentwechsel
Verschmutzung	gering wegen räumlicher Trennung von Tiegel und E-Kanone, keine direkte Sichtlinie