



Die Partikelkontrolle in den Reinräumen bei PINK erfolgt mit Weißlicht – wie hier zu sehen – sowie mit UV-Lampen.

alle Bilder: Uwe Hofmeister

Perfekt gereinigt

Eine neue Feinstreinigungslinie im industriellen Maßstab erfüllt höchste Anforderungen an Sauberkeit und Prozesskontrolle.

Markus Debes

Im Hochtechnologiebereich werden Maschinen und Anlagen immer komplexer und erreichen die Grenze des technisch Machbaren. Die Oberflächensauberkeit der verbauten Komponenten spielt daher eine zunehmend wichtige Rolle. Ein unkontrolliertes Ausgasen von Verunreinigungen sowie eine Partikelkontamination können das System stören – bis hin zum Ausfall der gesamten Anlage. Die höchsten Anforderungen an die Oberflächensauberkeit finden sich aktuell in vakuumbasierten Beschichtungsprozessen wie der

OLED-Beschichtung [1] sowie der Halbleiterherstellung, z. B. in der EUV-Lithographie [2].

Zusätzlich zu bestehenden Reinigungsstrecken in der Feinstreinigung hat PINK GmbH Vakuumtechnik in den letzten zwei Jahren einen speziellen Produktionsbereich für die Reinigung von Bauteilen konzipiert und gebaut, in dem Oberflächen mit minimalen filmischen und partikulären Verunreinigungen entstehen. Ausgelegt ist die Reinigungsstrecke für bis zu 30 000 Teile pro Monat mit Bauteil-

gewichten von wenigen Gramm bis zu mehreren Tonnen. Dieser Artikel beschreibt die grundlegenden Konzepte und stellt exemplarisch einige Reinigungsergebnisse vor.

Reinigung mit wässrigen Medien

Woran sind „saubere“ Oberflächen zu erkennen? Bei näherer Betrachtung stellt sich diese Frage als sehr komplex heraus, weil der Begriff „sauber“ schwer bis gar nicht zu quantifizieren ist. In der industriellen Praxis ist die Reinigung so ausgelegt, dass ein Optimum zwischen



Ein Teilsegment der neuen Reinstwasser-Aufbereitungsanlage

Sauberkeit und Wirtschaftlichkeit entsteht, ohne im Betrieb die Funktionalität zu beeinträchtigen. Dementsprechend gibt es verschiedene Reinigungsstufen wie Grobreinigung, Feinreinigung oder Feinstreinigung – je nach Applikation. Ein Beispiel: Eine Vakuumkammer, die im Grobvakuum betrieben wird, benötigt eine weniger aufwändige Reinigung als eine UHV-Kammer.

Herzstück der bei PINK neu aufgebauten Feinstreinigungslinie ist die Wasseraufbereitungsanlage, die Reinstwasser mit einem Leitwert von kleiner 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ erzeugt und dieses an den Entnahmestellen der Nassreinigung bereitstellt. Die Wasserqualität wird bezüglich

Leitwert und organischer Verunreinigungen *in situ* kontinuierlich überwacht. Die Einhaltung der Grenzwerte anorganischer Verunreinigungen erfolgt in regelmäßigen Abständen *ex situ* durch gaschromatographische, hochauflösende ICMPS-Überwachungen mit Nachweisgrenzen im Bereich von parts per billion (ppb).

Für den höchsten Grad der Sauberkeit in den Reinigungsbecken werden nur vorgereinigte Teile in die Anlage eingeschleust. Die Vorreinigung findet in einer separaten Feinreinigungsstrecke statt und entfernt den größten Teil der vorhandenen Hilfs- und Betriebsstoffe, die während der Fertigung



Die neue vollautomatische Ultraschall-Feinstreinigungslinie nutzt reinstes Osmosewasser und ist durch eine Schleuse mit dem Reinraum verbunden. Es lassen sich saure, alkalische und tensidische Reinigungsprozesse mit Temperatur- sowie Ultraschallunterstützung fahren.

auf der Bauteiloberfläche verblieben sind.

Um das gewünschte Reinigungsergebnis für alle Werkstoffe zu erzielen, stehen saure, alkalische und tensidische Reinigungsprozesse mit Temperatur- sowie Ultraschallunterstützung zur Verfügung. Abschließend werden die Teile in partikelgefilterter Luft getrocknet und in einen nach DIN EN ISO 14644:2015 zertifizierten Reinraum eingeschleust.

Trockenreinigung und Restgasanalyse

Das Ausheizen der nass gereinigten Bauteiloberflächen im Ultrahochvakuum ($< 10^{-8}$ mbar) ist ein wesentlicher Bestandteil der Reinigung. Adsorbate gehen im Vakuum in die Gasphase über und lassen sich abpumpen. Diese Prozesse beschleunigen sich durch Temperaturen bis maximal 250 °C. Im Resultat entsteht eine sehr saubere und ausgasarme Oberfläche [3]. Optional kann ein Sauerstoffplasma, das in der UHV-Kammer gezündet wird, in unseren Anlagen die Entfernung, insbesondere von Kohlenwasserstoffen, unterstützen.

Die eigentliche Reinigung der Bauteile mitsamt der Entfernung filmischer Verunreinigungen ist damit abgeschlossen. Nachfolgend bestätigt die Aufnahme eines Massenspektrums mittels Quadrupol-Massenspektrometer das Ergebnis der Reinigung. Im Massenbereich von 1 bis 500 amu lässt sich der Partialdruck für jede Messposition ermitteln und mit der Spezifikation vergleichen. Damit ist quantitativ nachgewiesen, dass die Bauteiloberfläche den Sauberkeitsanforderungen entspricht.

Geprüft und verpackt

Die von filmischen Verunreinigungen befreiten Bauteile werden im letzten Schritt noch auf Parti-



PINK betreibt in den Reinräumen unterschiedliche Vakuumöfen zum Ausheizen von Kleinteilen und Großteilen bis zu zwei Tonnen Gewicht. Eine optionale Plasmareinigung und ein Massenspektrometer zur Restgasanalyse sind ebenfalls integriert.

kel geprüft. Je nach Anforderung stehen hierzu Weißlicht- und UV-Lampen zur Verfügung, um die Partikel zu visualisieren, oder Oberflächen-Messsonden, um die Partikel quantitativ zu messen, also ihre Größe und Anzahl. Gefundene Partikel werden entfernt und das Bauteil nach Kundenvorgaben reinraumgerecht verpackt und etikettiert.

Ergebnisse der Reinigung

Vor der Prozessierung von Bauteilen gilt es, für den betreffenden Grundwerkstoff anhand von Testteilen die Reinigungsparameter zu optimieren und die Reinigungsergebnisse zu bewerten. Beim Ausgasverhalten sind Werte zwischen 10 und 50 Prozent der Spezifikation möglich, die Bauteile waren also deutlich sauberer als gefordert. Mittels XPS-Analyse untersuchte Proben wiesen keine anorganischen Verunreinigungen oberhalb der Nachweisgrenze auf. Somit ist der Nachweis erbracht, dass vor der Reinigung vorhandene anorganische Verunreinigungen ausreichend entfernt und durch die Reinigungsstrecke selbst keine Ver-

unreinigungen aufgebracht wurden. Der einmal definierte Reinigungsprozess für diesen Werkstoff wird „eingefroren“, und die einzelnen Reinigungsstationen werden regelmäßig auf die Einhaltung des Soll-Zustands überwacht. Somit ergibt sich eine kontrollierte Prozesskette mit reproduzierbarem Reinigungsergebnis.

- [1] *M. M. Azrain et al., Synthetic Materials* **235**, 160 (2018)
- [2] *M. van de Kerkhof et al., Proc. SPIE* **11489** (2020)
- [3] *P. Chiggiato, Proc. of the 2017 CERN-accelerator-school course on vacuum for particle accelerators* (2020)

Der Autor

Markus Debes, PINK GmbH Vakuumtechnik, Gyula-Horn-Str. 20, 97877 Wertheim



Laser-Liebe?

Join TOPTICA!

Gemeinsam anpacken, gemeinsam lachen, gemeinsam die Zukunft gestalten.

Technologieführer aus Forschung und Industrie der Quantentechnologie, Optogenetik und der Materialforschung vertrauen seit über 20 Jahren auf unsere Lasersysteme.

Interesse? Wir freuen uns auf Deine Bewerbung!

