

Werkstoffe auf dem Prüfstand

Partikelmesstechnik für die industrielle Auftragsforschung

Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (Fraunhofer IPA) zählt international zu den renommiertesten Adressen für die anwenderorientierte Auftragsforschung im Bereich der Produktion unter reinen Bedingungen. In Reinräumen werden Werkstoffe, Anlagen oder auch Gebrauchsgüter auf deren Reinheits- und Reinraumtauglichkeit [1] untersucht und bewertet. Um die starke Rolle des Fraunhofer IPA auf diesem Gebiet weiter auszubauen, wurde die Infrastruktur zur Partikelmessung erweitert.

Ausgangssituation

Für welche Reinräume ist ein Roboter geeignet? Welcher Werkstoff eignet sich für eine bestimmte Halbleiterapplikation? Solche Fragen werden am Fraunhofer IPA beantwortet. Seit über 10 Jahren werden hier in über 300 industrienahen Forschungsprojekten Geräte und Betriebsmittel, die für den Einsatz in einem Reinraum bestimmt sind, auf deren Eignung für reine Produktionsumgebungen überprüft und klassifiziert. Voraussetzung hierfür sind hoch qualifizierte, wissenschaftliche Mitarbeiter und eine moderne und leistungsfähige Infrastruktur. Am Fraunhofer IPA stehen ca. 200 m² Reinraumfläche der ISO Klassen 1-8 [2] sowie modernste Mess- und Analysetechniken zur Verfügung. Für bestimmte Forschungsbereiche werden auch ganz neue Mess- und Prüfmittel entwickelt wie z.B. einen Materialprüfstand für reinraumtaugliche Werkstoffe [3] oder ein Partikelmessgerät für reine Oberflächen [4].

Eine zentrale Rolle für die Charakterisierung von Reinräumen, Werkstoffen für reine Anwendungen oder Produktionsanlagen für reinheitstechnische Prozesse nehmen so genannte optische Partikelzähler ein. Diese Messgeräte erlauben es online luftgetragene Partikelkonzentrationen bis zu einer Nachweisgrenze von ca. 60 Nanometern zu bestimmen.

Untersuchung der Reinraumtauglichkeit von Produktionsanlagen und Werkstoffen

Viele Industriebereiche sind für bestimmte Prozesse auf eine reine



Abb. 1: Messung sedimentierter Partikel auf technischen Oberflächen (Behälter für 300mm-Wafer).

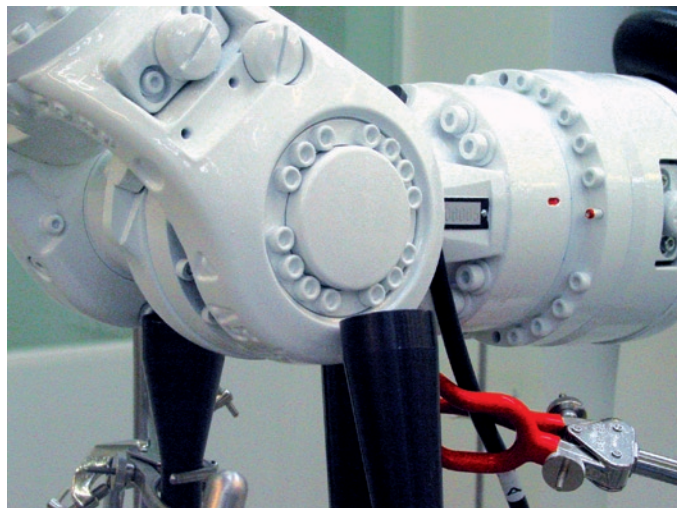


Abb. 2: Prüfstand für Reinraumtauglichkeitsuntersuchungen am Fraunhofer IPA nach ISO 14644-1 in einem Reinraum der Klasse 1 mit Schwerlastsockel.



Dipl.-Ing. Alexander Rapp, Sales Engineer, PMT, Heimsheim



Dr. Udo Gommel; Leiter Reinraumprüfzentrum des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung;

„Wir haben hohe Anforderungen an die Partikelmesstechnik, da wir als Forschungseinrichtung optische Partikelzähler auch für außergewöhnliche Messaufgaben wie z. B. die Charakterisierung von Werkstoffpaarungen einsetzen. Daher benötigen wir Partikelmesstechnik die zum einen auch Nanopartikel (< 1 µm) nachweisen kann, zum anderen aber auch relativ unempfindlich gegenüber hohen Partikelkonzentrationen ist. Des Weiteren benötigen wir einen möglichst hohen Automatisierungsgrad für die Auswertung unserer Messungen, da bei uns eine sehr hohe Zahl an Messergebnissen täglich generiert und ausgewertet wird.“

Produktionsumgebung angewiesen. In Reinräumen werden Halbleiter- und Elektronikprodukte, pharmazeutische Erzeugnisse oder Kfz-Komponenten gefertigt. Den hierbei eingesetzten Produktionsanlagen und Gebrauchsgütern kommt für die Einhaltung der jeweiligen Reinheitsbedingungen und somit der Produktqualität entscheidende Bedeutung zu. Viele Betreiber von Produktionsstätten unter Reinraumbedingungen stel-

len daher ihren Zulieferern die Auflage, die Reinheits- und Reinraumtauglichkeit der Produkte nachzuweisen.

Hier konnte sich das Fraunhofer IPA als zuverlässiger Partner für die Industrie etablieren. Von Robotern über Transportsysteme bis hin zu Miniaturantrieben für Halbleiterautomationsanlagen wurde die Reinheits- und Reinraumtauglichkeit nach der VDI Richtlinie 2083 Blatt 9.1 ermittelt.

Neben der Untersuchung der Reinheits- und Reinraumtauglichkeit steht auch die Weiterentwicklung von Produktionsanlagen bzw. die Anpassung an Reinnräume mit höherer Luftreinheitsklasse im Fokus der Wissenschaftler. Diese Entwicklungsaufgaben basieren zu einem erheblichen Teil in der Optimierung von Werkstoffoberflächen und -paarungen. In enger Zusammenarbeit mit einem Industriekonsortium wurde nicht nur ein reinraumtauglicher Materialprüfstand für Werkstoffpaarungen sondern auch standardisierte Prüf- und Auswertalgorithmen entwickelt.

Sämtliche Messungen zur Verifizierung der Reinraumtauglichkeit von Werkstoffen oder Produktionsanlagen beruhen dabei auf dem Einsatz optischer Partikelzähler. Mit Hilfe dieser Messgeräte wird über eine Streulichtanregung die luftgetragene Konzentration von Partikeln bestimmt. Das breite Einsatzspektrum und die teilweise hohen Partikelkonzentrationen, die bei der Bestimmung der Reinraumtauglichkeit auftreten können, stellen hohe Anforderungen an die zum Einsatz kommende Partikelmesstechnik.

Anforderungen an die Partikelmesstechnik

Um der ständig steigenden Zahl von Reinraum- und Reinheits-tauglichkeitsuntersuchungen gerecht zu werden, wurde die ohnehin schon sehr gut ausgestattete Infrastruktur zur Partikelmesstechnik des Fraunhofer IPA erweitert. Auf Grund der variantenreichen und anspruchsvollen Messaufgaben wurden im Wesentlichen folgende Anforderungen an die neu zu beschaffenden Messgeräte zur Partikelmes-sung gestellt:

Die Partikelzählgeräte müssen einen möglichst großen Partikelgrößenbereich abdecken. Um idealer Weise die Eignung eines Betriebsmittels für sämtliche

Luftreinheitsklassen mit einem Messgerät beurteilen zu können.

Die Messgeräte müssen äußerst unempfindlich gegen auftretende hohe Partikelkonzentrationen sein. Durch die Vielfalt der Projekte werden Prüflinge oder Werkstoffe mit unterschiedlichsten Kontaminati-onseigenschaften untersucht, so dass auch sehr hohe Partikelkonzentrationen emittiert werden können.

Die Partikelsensoren sollen einfach und möglichst vom Anwender gereinigt werden können. Insbesondere bei der Untersuchung von Werkstoffpaarungen mit dem Kugel-Scheibe-Prinzip entstehen nicht vorhersehbare, sehr hohe punktuelle Partikelkonzentrationen. Wird dabei das Messgerät kontaminiert, soll es auch von den Prüffingenieuren vor Ort gereinigt werden können.

Problemlose Einbindung in die IT-Infrastruktur des Fraunhofer IPA. Die einfachste Art Messergebnisse auszuwerten, die durch einen optischen Partikelzähler generiert werden, ist diesen an das Haus-Netzwerk anzuschließen und die gewonnenen Messdaten direkt in ein Tabellenkalkulationsprogramm zu übertragen. Zu dem, garantiert diese Vorgehensweise höchst mögliche Sicherheit vor Datenverlusten oder Übertragungsfehlern.

Die Einbindung in das IT-Netzwerk soll gleichzeitig eine Fernüberwachung der Messungen mit Hilfe eines Netzwerk-Browsers ermöglichen. So kann der jeweilige Prüffingenieur ohne den Reinraum zu betreten von seinem Büroarbeitsplatz aus den Messverlauf kontrollieren. Insbesondere bei Langzeitmessungen ergibt sich eine hohe Zeitersparnis.

Der besseren Vergleichbarkeit wegen und zur Reduzierung des Messaufwands, erfolgen die Messungen zur Reinraumtauglichkeit oft mit vier oder mehr Partikelzählern. Daher soll es auch möglich sein beliebig viele Partikelzähler gleichzeitig steuern und auslesen zu können.

Das Projekt muss trotz der anspruchsvollen technischen Herausforderungen in einem vorgegebenen wirtschaftlichen Rahmen durchgeführt werden.

Auf Basis dieser Anforderungen an die zu implementierende Partikelmesstechnik wurde vom Gerätehersteller ein Messsystemkonzept entwickelt.



Abb. 3: Partikelmessungen mit optischen Partikelzählern an einer Roboterachse im Dauerbetrieb.

Umsetzung der Anforderungen

Der erste Schritt nach der Evaluierung der vorliegenden Anforderungen stellt die Identifikation der geeigneten Messgeräte dar. Der geforderten Flexibilität der Partikelzählgeräte in Bezug auf die nachzuweisenden Luftreinheitsklassen wird mit vier tragbaren Partikelzählgeräten Rechnung getragen.

Dieser Sensortypus verfügt über einen Messbereich von $0,1\ \mu\text{m}$ bis $5\ \mu\text{m}$. Aus dieser großen Spannweite an unterschiedlichen nachweisbaren Partikelgrößen resultiert eine Nachweisbarkeit der Luftreinheitsklassen 1 bis 8 nach ISO 14644-1. Damit wird der Anwender dieser Partikelzählgeräte in die Lage versetzt, sämtliche Reinraumbereiche vom Reinraum in der Halbleiterindustrie (ab ISO Klasse 1) bis zu einem Verpackungsbereich in der pharmazeutischen Industrie (ISO Klasse 8) sämtliche Luftreinheiten zu klassifizieren. Für die wissenschaftliche Auftragsforschung am Fraunhofer IPA bedeutet dieser Umstand, dass jegliche zu untersuchende Objekte für deren Reinraumeinsatz mit ein und demselben Partikelzählgerät geprüft und bewertet werden können. Zudem besitzen die Partikelzählgeräte eine sehr hohe Toleranz gegenüber hohen Partikelkonzentrationen (bis 500.000 pro Minute). Diese hohe Toleranz resultiert u.a. aus der mittlerweile sehr hohen Wattleistung der verwendeten Laserdioden.

Für die bisweilen sehr hohen Partikelkonzentrationen, die bei der Betrachtung reinraumtauglicher Werkstoffpaarungen emittiert werden können ($< 1.000.000$ Partikel pro Minute), werden zusätzlich drei unempfindlichere und leichter zu reinigende Partikelzählgeräte in die Infrastruktur integriert. Diese Partikelzählgeräte unterscheiden sich im Wesentlichen von den tragbaren Geräten dadurch, dass eine externe Vakuumpumpe den Luftvolumenstrom im Partikelzählgerät erzeugt. Des Weiteren verfügen die Geräte über eine untere Nachweisgrenze von $0,3\ \mu\text{m}$.

Alle Partikelsensoren, die für die Messaufgaben am Fraunhofer IPA ausgewählt werden, verfügen über eine Ethernet-Schnittstelle. Diese Schnittstelle ermöglicht es, die Messgeräte in das IT-Hausnetz wie einen gewöhnlichen Computer einzubinden. Dabei wird den einzelnen Sensoren eine so genannte IP-Adresse, wie auch bei jedem Rechner, der in ein Netzwerk eingebunden ist, zugewiesen. Die Sensoren werden an einem Switch oder direkt an die Ethernet-Dosen angeschlossen. Dadurch sind eine Reihe von erheblichen Vorteilen für den Anwender verbunden: Sämtliche Messdaten, die von den Partikelzählgeräten generiert werden, können die einzelnen Mitarbeiter des Fraunhofer IPA an ihren Rechnerarbeitsplätzen einsehen. Die Daten können auf die Festplatte extrahiert werden oder es können durch die mitgelieferte Steuerungs- und Auslesesoftware online zeitliche Verläufe generiert werden.



Abb. 4: Der Lasair II 110 der PMT AG.

Dadurch ist es möglich erste Abschätzungen zum Emissionsverhalten vorzunehmen. Durch die vernetzte Datenverarbeitung können etwaige Fehler bei der Übertragung in ein Tabellenkalkulationsprogramm oder sogar Datenverluste auf ein Minimum reduziert werden. Die komplette Vernetzung der einzelnen Partikelsensoren erlaubt es den Fraunhofer-Wissenschaftlern weiterhin Messungen von ihren Büroarbeitsplätzen aus zu starten oder zu beenden.

Die mit geringem Aufwand durchzuführende Vernetzung der einzelnen Partikelzählgeräte und der große Messbereich, den die Sensoren abdecken, hat es ermöglicht, alle Punkte des aufgestellten Lastenhefts für das Messsystemkonzept im vorgegebenen Kostenrahmen umzusetzen. Ferner kann das Institut seine Vorreiterrolle bei innovativen Messtechniken für Reinraumbereiche weiter ausbauen.

Fazit

Am Fraunhofer IPA in Stuttgart werden Anlagen, Werkstoffe und Gebrauchsgüter auf deren Eignung für den Einsatz in Reinräumen untersucht, bewertet und nach einschlägigen Spezifikationen klassifiziert. Um die starke Rolle des Fraunhofer IPA im Bereich der Auftragsforschung für die Produktion unter Reinraumbedingungen voranzutreiben, wird die Infrastruktur für die Partikelmesstechnik weiter ausgebaut. Aufgrund der großen Bandbreite von Projekten im Be-

reich der reinheits- und reinraumtauglichen Anlagen und Betriebsmittel kommt eine ganze Reihe hoher Anforderungen an die einzusetzende Messtechnik zu. Gemeinsam mit Ingenieuren von Messgeräteherstellern konnte eine Infrastruktur geschaffen werden, die diese Anforderungen in wirtschaftlicher Weise erfüllt.

Literatur

- [1] VDI 2083 Blatt 9.1:2006-12; Reinraumtechnik – Reinheitstauglichkeit und Oberflächenreinheit
- [2] DIN EN ISO 14644-1:1999-07; Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche – Teil 1: Klassifizierung der Luftreinheit (ISO 14644-1:1999); Deutsche Fassung EN ISO 14644-1:1999
- [3] Gommel, U.: Verfahren zur Bestimmung der Reinraumtauglichkeit von Werkstoffpaarungen. Heimsheim: Jost-Jetter Verlag, 2006. IPA-IAO Forschung und Praxis, Band 445. Zugl.: Stuttgart, Universität, Fakultät Maschinenbau, Dissertation, 2006
- [4] Grimme, R.; Schmauz, G.; Modrich, K.: Methoden und Geräte zur Kontaminationskontrolle technischer Oberflächen. Berichtsband über das 27. Ulmer Gespräch am 28. und 29. April 2005 in Neu-Ulm (Donau)

KONTAKT

Dipl.-Ing. Alexander Rapp

PMT Partikel-Messtechnik AG, Heimsheim
Tel.: 07033/5374-0
Fax: 07033/5374-22
a.rapp@pmt-ag.com
www.pmt-ag.com

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Udo Gommel

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart
Tel.: 0711/970-1633
Fax: 0711/970-1007
udo.gommel@ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de