

# Luftgetragene Molekulare Kontamination AMC

## Messtechnik in der Praxis

In vielen Veröffentlichungen und Untersuchungen zum Thema Kontamination in Reinräumen und Mini Environments spielen luftgetragene molekulare Verunreinigungen eine zunehmend prominente Rolle. Es ist davon auszugehen, dass, parallel zur klassischen Partikelmessung, die praxistaugliche Analytik molekularer Verunreinigungen in Reinraumumgebungen ihren eigenen Stellenwert bekommt. Vorliegender Beitrag beschäftigt sich mit einem besonderen Teilaspekt molekularer Kontamination und zeigt messtechnische Lösungen in spezifischen Anwendungsfällen auf.

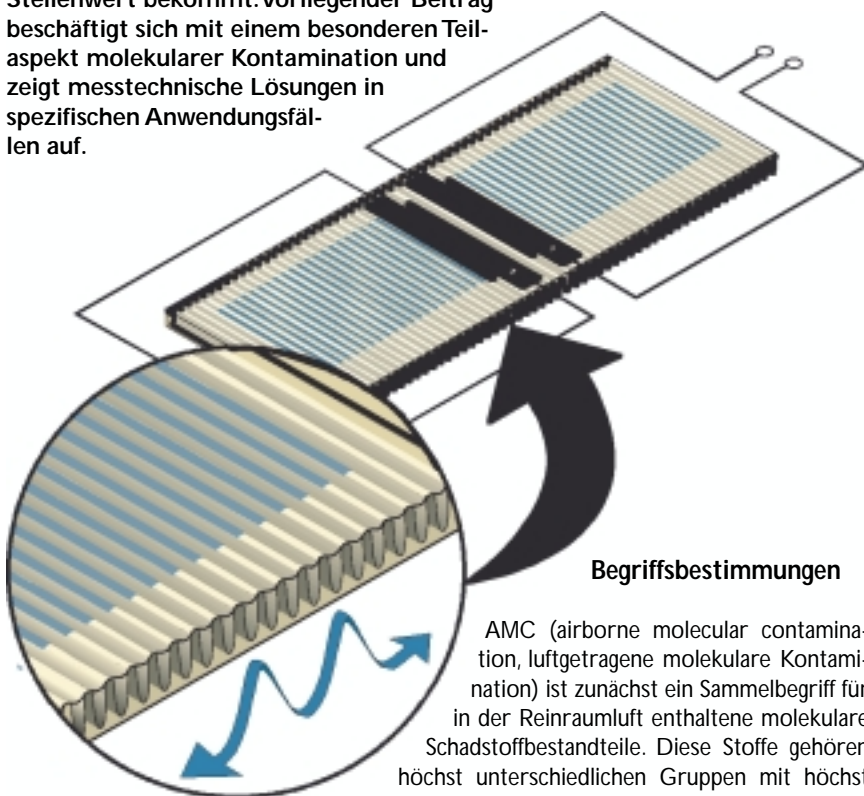


Abb. 1: Surface Acoustic Wave Sensor

### Begriffsbestimmungen

AMC (airborne molecular contamination), luftgetragene molekulare Kontamination) ist zunächst ein Sammelbegriff für in der Reinraumluft enthaltene molekulare Schadstoffbestandteile. Diese Stoffe gehören höchst unterschiedlichen Gruppen mit höchst unterschiedlichen Schadensmechanismen an. Die physische Größe dieser AMC Komponenten liegt um einen Faktor 20 bis 30 unterhalb der, mit klassischen Streulicht-Partikelzählern nachweisbaren Kontaminationen von 0,1 Mikrometern. Zur Erfassung in einem Ordnungsschema unterteilt die SEMI in ihrem Arbeitsblatt SEMI F21-95 die AMC in vier Stoffklassen: Säuren (Klasse A), Basen (Klasse B), kondensierbare Stoffe (Klasse C) und Dotierstoffe (Klasse D). Klasse C enthält viele in der Praxis bedeutsame organische Stoffe und wird mit dem vorgestellten Messverfahren analytisch erfasst.

### Quelle – Transport – Produktwirkung

Die Anzahl von AMC Quellen ist aus der Sicht des Praktikers leider Legion. Einige der relevantesten Beiträge liefert die Kreuzkontamination aus benachbarten Prozessschritten, Ausgasen von Reinraummaterial, Kontamination von Betriebsmitteln (z.B. Pum-

pen) und bekanntlich auch die Emissionsquelle Mensch. Die Dynamik der Reinraumluft ist insofern von Bedeutung, da sie als Träger der AMC maßgeblich für den Transport in Richtung Produkt ist. Zur Vermeidung von molekularer Kontamination und Filtration auf molekularer Ebene sind separate Fragestellungen von extremer Wichtigkeit. Sie werden mit Sicherheit in Zukunft für separate Diskussionsbeiträge sorgen.

Die hier vorgestellte Analytik eröffnet Möglichkeiten den letzten Punkt in der Wirkungskette zu überwachen. Die Wirkung von AMC auf das Produkt soll erfasst werden, um mit einer quantitativen Darstellung Rückschlüsse auf die zeitlich vorgelagerten Punkte der Wirkungskette zu ermöglichen.

### Surface Molecular Contamination SMC – Klasse C

Folgende Überlegungen konzentrieren sich auf die Oberfläche von kritischen Produkten und beschreiben eine Meßmethode, die den Einfluss von AMC auf die Produktoberfläche erfasst. Im Sinne des gemessenen Effektes wird der Begriff AMC häufig auch durch SMC (surface molecular contamination) präzisiert. Der analytische Nachweis soll die SMC Kontamination der Stoffklasse C auf sehr kostspieligen Produkten, beispielsweise auf Wafern, darstellen. Die Konzentration auf die Stoffklasse C erfolgt nicht ohne Hintergrund. Im Produktionsalltag einer Halbleiterfertigung sind Vertreter der Klasse C wie Kohlenwasserstoffe, Lösungsmittel, Antioxidantien, Phosphate, Silikone allgegenwärtig und sorgen für Probleme. Die Bildung von SiC an der Halbleiteroberfläche ist nur eine dieser Schwierigkeiten. Darüber hinaus sind höhere Kontaktwiderstände, Benetzungsprobleme, Haftungsprobleme auf Oberflächen, Defekte bei epitaktischem Wachstum und weitere prozessspezifische Störungen zu nennen. Gründe genug der Stoffklasse C messtechnisch auf die Spur zu kommen.

### Messtechnische Lösung - SAW

Die praxistaugliche Messmethode zur Bestimmung von Niederschlag an Oberflächen basiert auf der Resonanzveränderung eines oszillierenden Siliziumkristalls. Der Siliziumkristall dient einerseits als Simulationsmedium für das Produkt und andererseits als Medium, welches elektronisch zu Schwingungen angeregt werden kann. Eine spezielle Schwingungsform, die akustische Oberflächenwelle (Englisch: surface acoustic wave – SAW, s. Abb. 1), ist namensgebend für das

#### DER AUTOR

Dipl.-Phys. Jörg Dressler  
PMT Partikel Messtechnik AG  
Steinstr. 3/1  
71296 Heimsheim  
j.dressler@pmt-ag.com

INFORMATIONEN Kenn-Nr. XXX

Verfahren. Die Oberfläche von SAW Sensoren schwingt typischerweise im Frequenzbereich von 200 MHz. Ein Parameter, der insofern von Bedeutung ist, als dass das Auflösungsvermögen dieser Art von Messaufnehmer im Wesentlichen von der Höhe der Grundfrequenz abhängt. Molekulare Ablagerungen auf der Oberfläche dieses simulierten Wafers vermindern die Resonanzfrequenz und sind somit messtechnisch erfassbar. Gemessen wird die Frequenzänderung immer relativ zu einem Referenzsensor, der vollständig gegen die Umgebung gekapselt ist. Qualitativ bestimmt wird durch den Frequenzvergleich eine molekulare Oberflächenkontamination AMC/SMC. Die SMC wird grundsätzlich in der Maßeinheit Nanogramm pro Quadratzentimeter Oberfläche (ng/cm<sup>2</sup>) ausgewiesen.

Das Auflösungsvermögen wird durch eine Reihe von Störeffekten begrenzt. Von primärer Bedeutung ist hier die Adsorption von Wassermolekülen auf der Sensoroberfläche. Nur mittels einer parallel im Messsystem integrierten Feuchtemessung und im Zusammenspiel mit angepassten Kompensationsalgorithmen ist diese Störgröße zu kontrollieren. Dann allerdings liefert die SAW Methode ausgezeichnete Empfindlichkeiten von 0,02 ng/cm<sup>2</sup>. Dies entspricht Bruchteilen einer molekularen Monolage auf Siliziumoberflächen.

### Analytische Daten aus der Praxis/Interpretation

In der Praxis sind Einsätze von SAW Sensoren an einigen recht typischen Orten zu beobachten. Aufgrund ihrer kompakten Bauform, die in etwa die Dimensionen einer Zigarettenschachtel erreicht, werden häufig Einsätze im Innern von Minienviroments oder gar innerhalb von FOUP und SMIF pods (Behälter zur Aufnahme von Wafern, siehe Abb. 2a) realisiert. Die aufgenommenen AMC/SMC Daten lassen

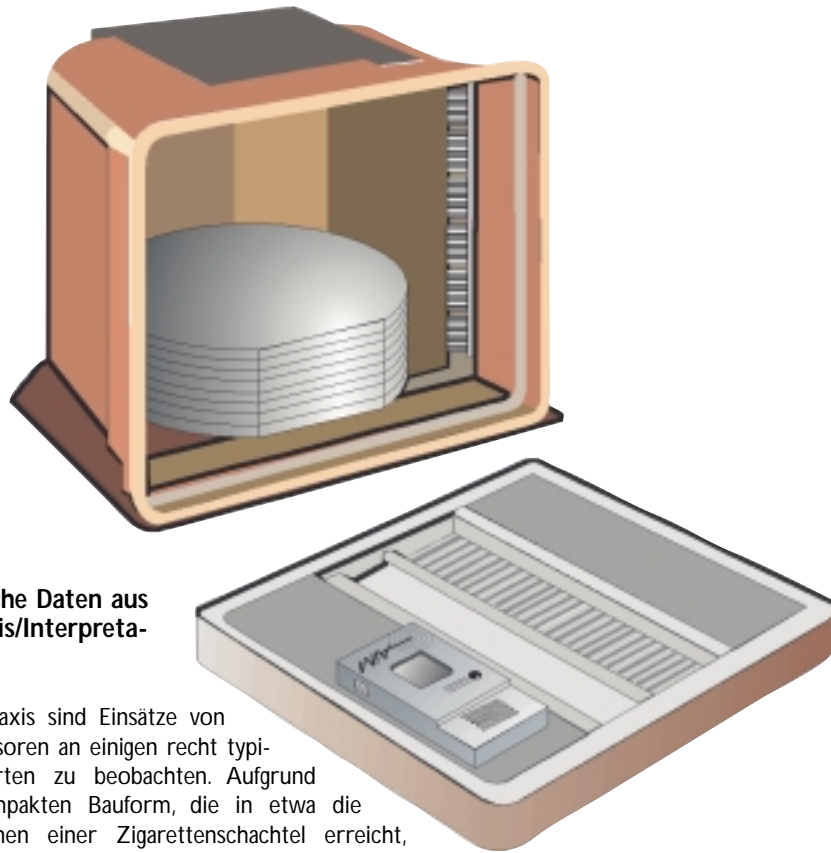


Abb. 2 a: Montage innerhalb Waferbehälter

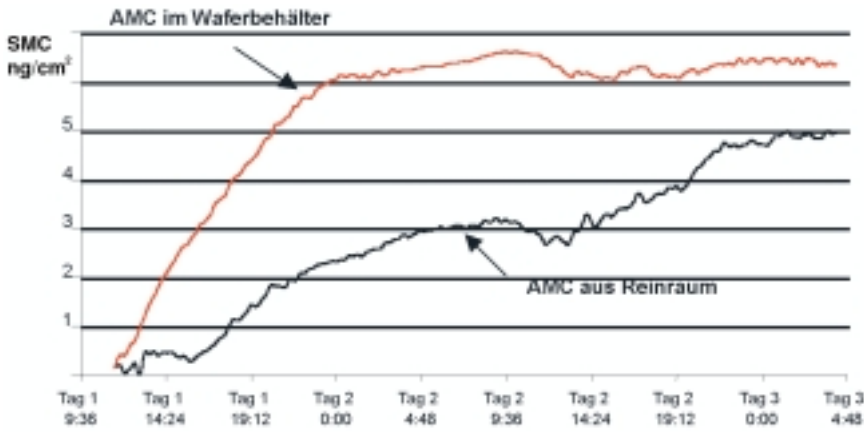


Abb. 2 b: Messdaten innerhalb eines Reinraumes der Klasse 10 über einen Zeitraum von etwa 3 Tagen

Rückschlüsse auf das Ausgasungsverhalten im Innern der Mini Reinstumgebungen zu – ein extrem wichtiger Effekt in diesen kritischen Zonen. Weiterhin finden sich SAW Sensoren in Bereichen, in denen der Prozessingenieur unmittelbar über Querkontaminationen aus anderen Prozessschritten informiert werden will.

Abb. 2b zeigt Messdaten, welche innerhalb eines Reinraumes der Klasse 10 über einen Zeitraum von etwa 3 Tagen gewonnen wurden (untere Kurve). In einem nachfolgenden Versuchsschritt wurde das komplette SAW Meßsystem in einen fabrikneuen und originalverpackten FOUP Waferbehälter gegeben. Die obere Messkurve in Abbildung 2b lässt einen signifikanten AMC/SMC Zusatzbeitrag durch Ausgasen im Behälterinnern erkennen. Der Anwender war unter Hinzuziehung dieser Daten in der Lage, Spülprozeduren für die fabrikneuen Behälter auszuarbeiten. Diese Vorabprozeduren waren nach mehrmaligem Spülen in der Lage, die messbaren Ausgasungseffekte vor der Erstbenutzung zu minimieren.

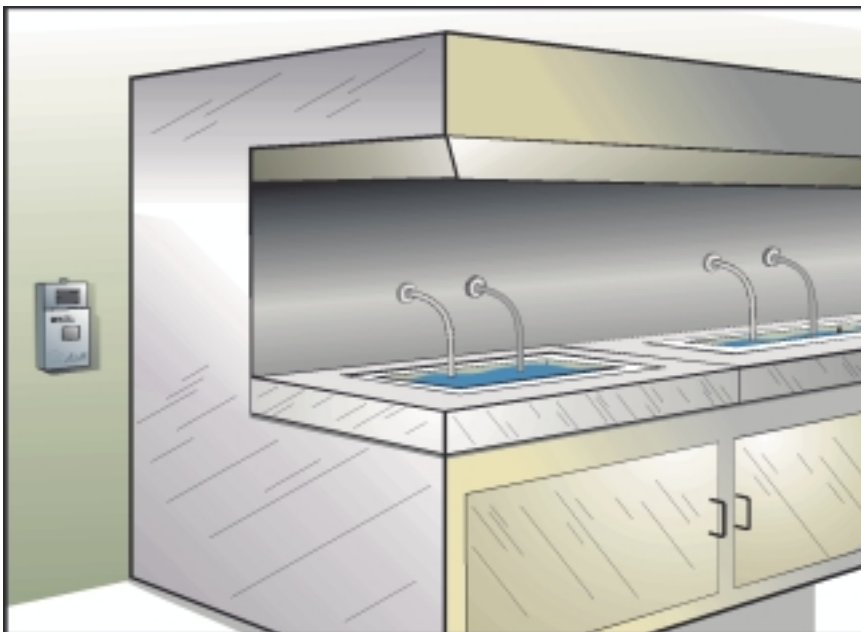


Abb. 3: Montage neben Reinigungsbad

Dieses Beispiel zeigt, dass häufig erst die zeitliche Entwicklung der AMC/SMC Kontamination dem Anwender nützliche Hinweise gibt. Verglichen mit der klassischen Partikelmessung, bei denen auch die einzelnen Messergebnisse (ausgewiesen in x Partikel pro Kubikfuß) für die Bewertung des Reinraumzustandes sinnvoll herangezogen werden, ergibt beim SAW Einsatz häufig erst die Interpretation der Daten über angemessene Zeiträume einen Sinn. Somit ist es für SAW Sensoren unabdingbar, entweder integrierte Datenlogger, oder digitale Schnittstellen zwecks kontinuierlicher Datenerfassung zu besitzen. Häufig findet sich die Möglichkeit, diese neuartigen Sensoren an bereits bestehende, kontinuierliche Partikelmesssysteme zu adaptieren. Sinnvollerweise berichten SAW Sensoren dann auch Daten wie Abscheiderate, Temperatur und relative Luftfeuchte.

Abb. 3a zeigt die Installation neben einem Reinigungsbad. Die Messergebnisse einer dreiwöchigen Testreihe sind Abb. 3b zu entnehmen.

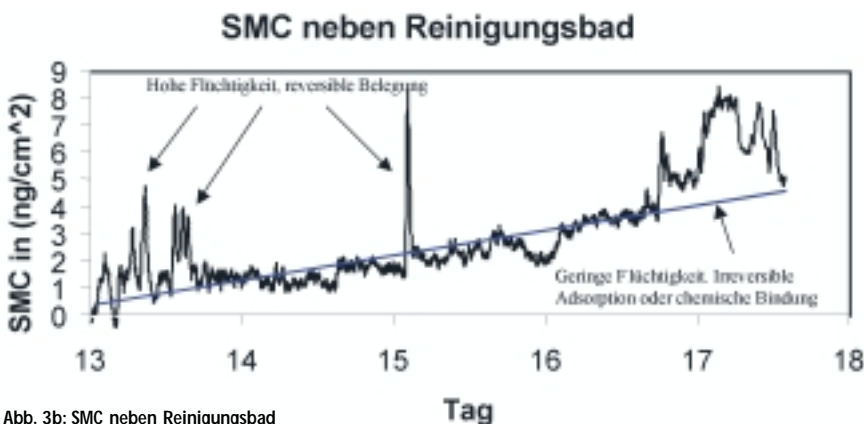


Abb. 3b: SMC neben Reinigungsbad

Der zunächst verwirrend erscheinende Zeitverlauf ergibt dann Sinn, wenn die zwei für SAW Sensoren maßgeblichen Oberflächeneffekte beachtet werden. Zum einen wird die Adsorption von schwer flüchtigen Molekülen oder gar die chemische Oberflächenbindung einen stetig steigenden Massenzuwachs auf der Oberfläche bewirken. Zum anderen können leicht flüchtige Verbindungen der Stoffklasse C eventuell auch nur kurzzeitig anhaften und dann resorbieren. Beide Fälle sind in der Messkurve zu sehen. Am 15ten Tag der Messreihe sieht man ein Ereignis, welches die kurzzeitige Kontamination von leicht flüchtigen organischen Verunreinigungen repräsentiert. Nach ca. einer Stunde hat eine beinahe vollständige Resorption in den ursprünglichen Zustand stattgefunden. Diesen auch vorher und nachher zu erkennenden „höherfrequenten“ Ereignissen ist eine kontinuierlich verlaufende Langzeitkontamination

überlagert, welche annähernd durch eine Gerade mit einer Steigung von etwa 0,05 ng/Stunde dargestellt wird. Dies ist die Kontamination durch den Reinraumhintergrund.

An dem beschriebenen Beispiel wird deutlich, dass über die Langzeiterfassung von AMC/SMC Daten hinaus auch die schnelle Echtzeitdatenerfassung der Kontamination Sinn machen kann. Kurzzeitergebnisse, wie der obige Effekt durch leichtflüchtige Stoffe, lassen sich dann zeitnah erfassen und melden. Dies wird dann umso leichter, wenn der SAW Sensor auch dynamische Werte wie die Abscheiderate über seine Schnittstellen berichtet.

### Anwendungsfälle und Grenzen / TOF SIMS

Wie bei jedem Messverfahren auch, sind bei SAW Sensoren in der messtechnischen Praxis einige Dinge zu beachten. Je nach Oberflächendesign der jeweiligen SAW Sensoren sind nur bestimmte Stoffklassen zu erfassen. Innerhalb dieser Stoffklassen sind die ausgewiesenen Oberflächenkontaminationen nur als Summenparameter zu verstehen. Qualitative Aussagen über die Identität der adsorbierten Stoffe macht die SAW Technik prinzipbedingt nicht. Ergänzende Aussagen liefern hier zeitlich nachfolgende Laboruntersuchungen mit sogenannten TOF-SIMS Analysegeräten (time of flight-secondary ion mass spectrometer). Dabei wird die Oberfläche des gesättigten SAW Sensors mit einem gebündelten Ionenstrahl beschossen und die emittierten Sekundärionen analytisch bestimmt. Die Hersteller von SAW Sensoren bieten üblicherweise TOF SIMS Analysen als Dienstleistungen an.

SAW Sensoren gehen nach Erreichen einer bestimmten Massenbelegung in Sättigung. Danach lässt die weitere Massenempfindlichkeit nach. Da eine Abreinigung der belegten Sensoroberfläche nicht sinnvoll ist, muss der schwingende Kristall

regelmäßig getauscht werden. Die Lebensdauer der Sensoroberflächen hängt selbstverständlich von den jeweiligen Einsatzbedingungen ab, liegt bei gut konzipierten Sensoren aber zwischen 8 und 12 Wochen.

Als Konsequenz hieraus hat der Gerätehersteller darauf zu achten, dass ein Sensortausch bequem und schnell möglich ist. Der Anwender muss bei der Integration der SAW Messungen in bestehende Anlagenteile darauf achten, dass der Sensor für Austauscharbeiten gut zugänglich ist. Das Personal ist so zu schulen, dass neue Sensoren nicht bereits bei der Austauschprozedur kontaminiert werden.

### Ausblick

Obige Beispiele zeigen, dass AMC/SMC Kontamination durch oberflächenaktive SAW Sensoren erfasst werden kann. Hierbei hat diese Technik die Praxisreife erreicht und steht dem Anwender als einfach handzuhabendes Analysewerkzeug zur Verfügung. In der näheren Zukunft wird nicht primär an einer Verfeinerung der Auflösung dieser Messgeräte gearbeitet werden. Vielmehr stehen Arbeiten an unterschiedlichen Sensoroberflächen im Vordergrund. Obwohl die Stoffklasse C sehr häufig mit Problemen in der Halbleiterproduktion in Verbindung gebracht wird, kann dies keineswegs bedeuten, dass den anderen drei SEMI Stoffklassen keine Beachtung geschenkt werden muss. Zukünftige SAW Sensoroberflächen werden selektiv für jeweils eine dieser verbliebenen drei Stoffklassen sein. Die Bedeutung dieser Analysemethode für die Reinraumtechnik wird weiter wachsen.



Abb. 4: AMC/SAW Sensor