

Abb. 1 PU-Vlies-Handschuh

Win Labuda

Einweg-Handschuhe der Reintechnik

Elastische Barriere zwischen Mensch und Produkt

Clear & Clean - Forschungslabor überarbeitete Ausgabe 1-2018

Herstellungs-Verfahren und Basis-Materialien

Der Begriff Arbeitshandschuh wird normalerweise mit dem Schutz der menschlichen Epidermis vor äußeren Einwirkungen in Verbindung gebracht. Im HiTech-Fertigungs-Umfeld gibt es jedoch auch den umgekehrten Fall: Das Produkt muss während seiner Herstellung vor den Abscheidungen der Haut geschützt werden. Hautabrieb, Fettabstriche, Bakterien oder Viren können die erforderliche Oberflächenreinheit des Fertigungsumfelds oder des Produktes selbst gefährden. Aus diesen Gründen wird in vielen HiTech-Industrien das Tragen von Schutzhandschuhen als unverzichtbar angesehen.

Für die Herstellung von Einweg-Handschuhen der Reintechnik werden verschiedene Basis-Materialien und Herstellungs-Verfahren und eingesetzt, welche die Produkt-Bezeichnung solcher Handschuhe kennzeichnen:

• im Form-Tauchverfahren gefertigte Folienhandschuhe:

Bei diesem Verfahren durchwandern eine Anzahl der menschlichen Hand nachgebildeter Keramik-Formen ein Bad aus dem flüssigen Basis-Material. Nachdem die Handformen mit dem flüssigen Basis-Material benetzt worden sind, durchlaufen sie einen beheizten Vulkanisier-Tunnel und befinden sich nun als elastische Folie auf der Handform. Dort werden sie maschinell oder manuell abgezogen und in großen Behältern gesammelt. Es folgt eine Wäsche der gesamten Handschuh-Partie mit DI-Wasser in einer geeigneten Maschine sowie eine anschließende Trocknung und Verpackung.

• Latex-Handschuhe:

Sehr elastische Handschuhe aus Natur- oder Synthese-Kautschuk. Einer der Standard-Handschuh-Typen der HiTech-Industrien. Sie enthalten jedoch Proteine, welche bei einem Teil der Menschen Allergien hervorrufen können.

• Nitril-Handschuhe:

Elastische Handschuhe aus Nitril-Butadiene-Kautschuk. Enthalten normalerweise weniger Proteine als Latex-Handschuhe. Sie sind etwas weniger elastisch als Latex-Handschuhe

• Vinyl-Handschuhe:

Weniger elastische Handschuhe aus Polyvinylchlorid, die Weichmacher enthalten, welche mit der Zeit ausschwitzen können und bei Kontakt mit Oberflächen beobachtet man Schlierenbildung. Oftmals im Fingerkuppenbereich sehr dünn. Vinyl-Handschuhe liegen weniger gut an der Hand an als Latex- und Nitrilhandschuhe.

• im Trenn-Schweißverfahren gefertigte Folienhandschuhe:

Bei diesem Fertigungsverfahren werden die Handformen

aus zwei übereinandergelegten Folien oder Vliesen mit hoch temperierten konturgefrästen Werkzeugen ausgestanzt und dabei gleichzeitig an den Formkanten miteinander verschweißt. Solche Handschuhe sind wegen ihrer Planlage sehr verpackungsfreundlich. Aber sie umschließen die Hand nicht passgenau.

• PE-Handschuhe:

Geringelastische Folienhandschuhe mit guter Hautverträglichkeit. Solche Handschuhe sind den Wölbungen der Hand nicht gut angepasst. Sie werden deshalb im Reinraum als Kurztrage-Handschuh eingesetzt.

• PU-Handschuhe:

Elastische Folien- oder Vlieshandschuhe mit guter Hautverträglichkeit. Durch die Poren des elastischen Polyurethan-Vliesstoffs hindurch kann die Feuchte der Haut auf natürlichem Wege verdampfen und so kommt es nicht zur Schweißbildung. Diese Handschuhe sind relativ teuer, haben aber längere Tragezeiten und sind evtl. waschbar. Ideal für Mitarbeiter mit Hautallergien. Diese Handschuhe sind außerdem überall dort einsetzbar, wo ein geringes Maß an Partikelfreisetzung von der bewegten, behandschuhten Hand nicht kritisch und der Tragekomfort das übergeordnete Merkmal ist. Dies kann beispielsweise beim Mikroskopieren oder bei der Handhabung von optischen Bauteilen der Fall sein.

Reinraum-Spezialhandschuhe

Dazu gehören genähte Baumwoll- und Polyester-Handschuhe, Hochtemperatur- und kältefeste, sowie lösungsmittel-, säureund laugenfeste Handschuhe. Einmal abgesehen von den genähten Polyester-Handschuhen, sind die reintechnischen Anforderungen an diese Ausführungen selten sehr hoch. Besonders bei den chemikalienbeständigen Typen ist jedoch die Barrierefestigkeit von besonderer Bedeutung. In den asiatischen Ländern werden in vielen Fällen genähte Polyesterhandschuhe eingesetzt, welche aus engmaschigen Gestricken oder Geweben bestehen und den Vorteil haben, dass sie waschbar sind. Sie sind außerdem wegen ihrer Porosität und der damit einhergehenden geringgradigen Dampfsperre sehr tragefreundlich. Ein japanisches Unternehmen hat eine Maschine entwickelt, mit deren Hilfe engmaschige, nahtlose Gestricke-Handschuhe aus Polyestergarn gefertigt werden können, welche sich auf der Handinnenseite auch mit einem Polyurethanstrich versehen lassen.

Die Qualitätsprüfung von Reinraum-Handschuhen

Ein Problem für viele Anwender ist die reintechnische Qualitäts-Beurteilung der angelieferten Handschuhe. Der größte Teil des Welt-Anbietermarktes liegt in Asien. Wenn eine Charge aus solchen Herstellerländern einmal nicht spezifikationsgemäß geliefert wird, so ist ein Ersatz in Tagen meist nicht möglich und die Prüfung einer Reklamation kann Monate in Anspruch nehmen. Hinzu kommt ein reintechnisches Problem

Latex-Handschuh	Mio Part > 0,5 μm				
1	0,185				
2	0,391				
3	0,481				
nackte Hand					
1	2,223				
2	1,58				
3	1,15				

Tabelle 1 Partikelfreisetzung im Vergleich Latex-Handschuh / nackte Hand. Prüfmethode: 3-faches Tauchen der Hand / der Handschuhe in ein DI-Wasser-Bad, nachfolgend mikroskopische Partikelauswertung des Filtrats.

im Rahmen der Handschuhfertigung: Bei der Herstellung von Latex-, Nitril- oder Vinylhandschuhen werden die keramischen Handschuhformen normalerweise mit Maismehl gepudert, um die Haftung der Handschuhe an den Keramikformen zu verringern und ein leichteres Abziehen der vulkanisierten Handschuhe von der Form zu ermöglichen. Aus dieser Tatsache ergibt sich die generelle Verunreinigung der Fertigungs-Umgebung mit Maismehl-Staub in vielen Fertigungsbetrieben. Wohl werden in den Fertigungsstätten, welche hauptsächlich medizinische Untersuchungs-Handschuhe sowie auch Reinraum-Handschuhe herstellen, entsprechende Dekontaminierungs-Prozesse eingesetzt (mehrfaches Waschen der Reinraum-Handschuhe), aber weil der Anteil der Reinraum-Handschuhe oftmals < 5 % der gesamten Fertigungsmenge beträgt, ist für die Hersteller das Problem Maismehl-Staub nicht leicht lösbar. Die Anlieferungs-Qualität von Reinraum-Handschuhen ist daher je nach Hersteller sehr unterschiedlich (siehe Tabelle 1).

Aus dem Gesagten wird verständlich, dass einige Handschuh-Anwender eigene Prüfungen durchführen möchten, um ein Langzeit-Qualitäts-Profil für das Produkt ihrer Wahl aufzubauen. Zumeist fehlt es beim Anwender jedoch an geeignetem Instrumentarium und prüftechnischer Erfahrung. So geraten immer wieder ungeprüft große Mengen hochgradig kontaminierter Handschuhe in die HiTech-Fertigung. Hier bietet es sich aus Sicherheitsgründen an, ein Speziallabor zu beauftragen, welches turnusmäßig reintechnische Prüfungen an den gelieferten Handschuhen durchführt und über das entsprechende Equipment als auch über die speziellen Erfahrungen verfügt. Die REM-Aufnahmen (Abb. 2 bis 7) zeigen deutlich die reintechnisch betrachtet kritischen Strukturen der Oberflächen verschiedener Typen von Reinraumhandschuhen.

Für Reinraum-Handschuhe gibt es drei wesentliche Prüfkriterien:

- die allergologische Unbedenklichkeit
- die Materialfestigkeit und
- die reintechnische Eignung

Allergologische Unbedenklichkeit basiert auf medizinisch bekannten Erfahrungswerten mit verschiedenen für die Handschuhfertigung verwendeten Rohmaterialien wie Latex, Polyvinylchlorid, Polyethylen oder Polyurethan. Sie ist mit technisch normalen Mitteln nicht prüfbar. Aussagefähig sind lediglich statistisch relevante Reihenuntersuchungen.

Die Materialfestigkeit von Schutzhandschuhen lässt sich mit Hilfe bekannter Prüfmethoden erfassen. Um Schutzhandschuhe jedoch auf ihre reintechnische Eignung hin zu prüfen, bedarf es gut durchdachter Methoden und auch eines speziellen Instrumentariums. Wie im Bereich HiTech-Reinigungstücher ist es nicht ausreichend, die Partikelanzahl auf der Oberfläche des Produktes zu erfassen und von dem so erhaltenen Ergebnis auf dessen Brauchbarkeit für den Einsatz im Reinraum zu schließen. Auch eine Reihe von Merkmalen der Material-Beschaffenheit sind für die reintechnische Eignung von Handschuhen nicht unbedeutend:

Beispielsweise sind die Anzahl der sog. pin-holes (Mini-Löcher) und deren Durchmesser für eine reintechnische Materialprüfung wichtig, weil sich nach einer bestimmten Tragezeit im Handschuh-Innern Handschweiß ansammelt, welcher durch solche Pinholes nach außen dringen kann. Handschweiß enthält große Mengen von Natrium-Ionen, welche z. B. in einer Halbleiterfertigung unerwünscht sind. Hinzu kommen Perforationen des Handschuhmaterials durch die mechanische Arbeits-Belastung. Roger Welker [Lit. 1, 2, 3] berichtet, dass bei zwei Untersuchungen der Barrierefestigkeit - leider ohne statistische Angaben - bei der ersten Untersuchung nach zwei Stunden 70 % der Handschuhe ein Leck aufwiesen und beim zweiten Versuch 57 %.

Das Gleiche gilt für die Schneidfestigkeit des Handschuh-Materials. Gerade der Fingerkuppen-Bereich ist bei dünnwandigen Schutzhandschuhen kritisch, weil hier die Fingernägel bei druckvollem Kontakt mit Oberflächen durch den Handschuh hindurch wie Messer wirken und das dünnwandige Handschuh-Material zerstören können. Andererseits ist gerade in diesem Bereich Dünnwandigkeit des Handschuhs gefordert, um das Tastgefühl zu erhalten.

Auch die Chemikalien-Beständigkeit des Handschuhmaterials hat reintechnische Bedeutung: Bereits kurzzeitiger Kontakt mit einigen Lösungsmitteln, Säuren oder Laugen verändern die Oberflächen-Struktur des Handschuhs im Sinne einer Erweichung, so dass es bei nachfolgender Berührung von Material-Oberflächen zu Abschmiereffekten kommen kann.

Eine sinnvolle Prüfung der reintechnischen Qualität von Schutzhandschuhen muss sich an in der Praxis auftretenden Spitzen-Belastungen orientieren.

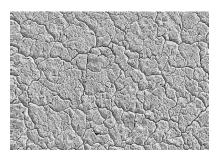


Abb. 2 Struktur eines Latex-Handschuhs, Oberfläche 400fach

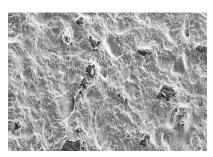


Abb. 3 Struktur eines Vinyl-Handschuhs, Oberfläche 400fach



Abb. 4 Struktur eines Nitril-Handschuhs, Oberfläche 400fach REM-Fotos: Yuko Labuda

aktuelle Prüfmethoden

Handschuhe: IEST-Tauchmethode

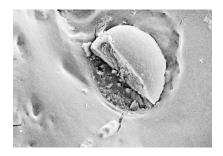


Abb. 5 Oberfläche eines Nitril-Handschuhs, 3.800fach, Partikelbildung im Vulkanisierprozess

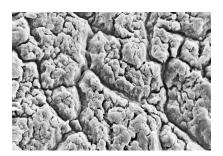


Abb. 6 Oberfläche eines Latex-Handschuhs, 3.800fach, deutliche Furchenbildung

Im Jahr 2000 hat der Autor eine Patentschrift (DE 10016832) für ein Substrat zur Sichtbarmachung von Partikeln und/oder Materialschichten durch Bestrahlung mit Schräglicht eingereicht. Aus dieser Erfindung liess sich eine einfache Visualisierungs-Methode für filmartige als auch partikelförmige Verunreinigungen durch den Umgang mit Einweg-Handschuhen der Reintechnik ableiten [Lit. 7]. Deren Durchführung ist sehr zeitsparend im Vergleich mit der dann im Jahr 2004 von Marjorie Sovinski (NASA) beschriebenen Contact-Transfer-Methode [Lit. 6].

Es existiert die bekannte Handschuh-Prüfmethode des IES (Institute of Environmental Sciences), USA (IES-RP-CC-005-87-T), in der die Prüfung einer Vielzahl von Merkmalen beschrieben ist.

Prüfmethode IEST-RP-CC005.4 (Okt. 2013) sieht vor, den Handschuh-Prüfling nach Grauwert-Ermittlung im reinen Arbeitsumfeld mittels Greifzange über einem sorgfältig gereinigten Becherglas des Volumens 2000 ml festzuhalten und mit 750 ml 0,2 µm - gefiltertem DI-Wasser der chemischen Reinheit 18M-Ohm zu befüllen, so dass überschüssiges DI-Wasser in das Becherglas hineinfließt. Der nun sowohl außen als auch innen vom DI-Wasser benetzte Prüfling wird nach dem Füllen zunächst im Becherglas belassen. Das Becherglas mit Handschuh wird auf einen 2-Achsen-Schüttler mit einem Schüttelhub von 1,9 bis 2,5 cm befestigt und 10 min lang geschüttelt. Der Handschuh wird entfernt und entsorgt. Das Partikel-beladene DI-Wasser wird mittels Flüssigkeits-Partikelzähler oder mikroskopisch analysiert. Bei dieser Prüfmethode werden z. B. für einen Nitril-Handschuh durchschnittlich 700 Partikel > 0,5 µm/cm² Handschuhfläche gemessen. Die Handschuh-Oberfläche in cm² wird näherungsweise durch Masse-Vergleich eines Material-Ausschnitts der Abmessungen 50 x 50 mm bestimmt. Bei Vinyl- und Latex-Handschuhen sind es etwas weniger, bei den offenporigen PU-Vlies-Handschuhen mehr Partikel. Ein Reinraum-Handschuh der Größe XXL hat eine (äußere) Oberfläche von etwa 680 cm². Daraus errechnet sich eine Gesamt-Partikelmenge von 476.000 Partikel > 0,5 μm, die bei dieser Prüfmethode ins DI-Wasser hinein freigesetzt werden. Die Methode ist einfach in der Handhabung, sie simuliert jedoch nicht den Vorgang der Partikelfreisetzung von den Handschuhen im realen - also im trockenen Gebrauchszustand. Die so erhaltenen Prüfergebnisse sind nicht nahezu realitätskonform. Die Entwickler der IEST-Prüfmethode haben sich damals in den 80er Jahren offenbar dafür entschieden, die Unsicherheiten der Partikelhaftung, hervorgerufen z. B. durch wechselnde Oberflächen-Ladungen, zu umgehen. Vor die Wahl gestellt, haben sie sich auf den weniger plausiblen, dafür stabileren Parameter geeinigt. Das ist die Partikel-Freisetzung ins flüssige Medium hinein.

Handschuhe: C&C-ManuStretch-Test

C&C-ManuStretch-Test (Abb. 7). Zur Prüfung der Gebrauchsbedingten Partikelfreisetzung von Reinraum-Handschuhen wurde eine alternative Methode entwickelt, die in weiten Grenzen der Gebrauchs-Handhabung von Reinraum-Handschuhen entspricht. Wie alle Prüfmethoden die auf der Freisetzung von Partikeln auf Oberflächen beruhen so unterliegt auch diese Methode den unwägbaren Einflüssen von Feuchte, Temperatur und statischer Elektrizität der Lagerungs- bzw. Prüf-Umgebung. Diese Einschränkungen treffen jedoch ebenso auf das geprüfte Material zu. Die Menge der freigesetzten luft-getragenen Partikel lässt sich prüfungsgemäß mit Hilfe eines Luftpartikelzählers bestimmen. Dazu wurde die folgende Prüfbewegung definiert:

Die mit dem Reinraum-Handschuh bekleidete Hand wird zur Faust geballt und innerhalb einer Sekunde bis zur höchst möglichen Breite geöffnet. Dieser Vorgang erfolgt zehn Mal innerhalb von zehn Sekunden. Der Arm des Prüfers ruht während der Prüfung auf einer eigens dafür geschaffenen Armablage oberhalb der Sonden-Ebene. Die Methode gilt dann als plausibel, wenn der Variationskoeffizient der zehn Zähl-Variablen innerhalb von 50 % liegt. Um etwaige Ausreißer von der Berechnung auszuschließen nehmen wir von einer Reihe mit 24 Zufallswerten sowohl die 2 oberen als auch die 2 unteren Werte von der Berechnung aus. Bei 36 Zufallswerten sind es die 3 oberen und die 3 unteren, die wir unberücksichtigt lassen.

Bei Reinraum-tauglichen Nitril-Handschuhen ergab sich bei 24 Messzyklen von je 60 Einzelmessungen - also insgesamt 1440 Einzelmessungen - nach Abzug der beiden Höchst- und Niedrigstwerte ein Durchschnittswert von 78 Partikel > 0,5 μm bei einer Messzeit von 1 Messung pro 2,5 Minuten. Wir werden anhand von Messreihen bei verschiedenen Konditionierungen der Prüflinge feststellen, ob sich die relative Umgebungsfeuchte auf die elektrische Oberflächenladung der Handschuhfolie und somit die Partikelfreisetzung auswirkt bzw. ob sich im Tragezustand der Handschuhe überhaupt eine Oberflächenladung aufbaut.



Abb. 7 C&C-ManuStretch-Test zur Bestimmung der Partikel-Freisetzung von Handschuhen (Clear & Clean-Forschungs-Labor)

Bei der Messung der Verunreinigung von Handschuhoberflächen durch Tauchen des Prüflings ins DI-Wasser muss bedacht werden, dass die abgespülte Handschuhoberfläche wesentlich größer ist als die effektive Oberfläche beim Kontakttransfer. Der Kontakttransfer findet stets nur im Bereich der Innenhandflächen, und dort insbesondere im Bereich der Fingerkuppen und der Handballen, statt. Dies ergibt sich näherungsweise aus den anatomisch vorgegebenen Handstellungen beim wischenden Reinigen.

Eine sinnvolle Prüfmethode müsste also die folgenden Parameter einschließen:

- die effektive Kontaktübertragung von Partikeln > 0,5 μm im Rahmen normalerweise ausgeübter Tätigkeiten
- die Kontakt-Übertragung von Organika aus dem Handschuhmaterial im Rahmen normalerweise ausgeübter Tätigkeiten

Diese angeführten Prüfungen sollten auch nach Kontakt der Handschuh-Außenfläche mit solchen Medien durchgeführt werden, welche erfahrungsgemäß die Oberflächenstruktur des Polymers verändern und möglicherweise bei Fortsetzung der Handhabung des Handschuhs zu veränderten Partikeltransfers oder Organika-Abschmierungen führen würden.

Roger Welker beschreibt in seiner interessanten dreiteiligen Aufsatzreihe über Reinraum-Handschuhe in der amerikanischen Zeitschrift MIKRO-Magazine verschiedene Ansätze für Prüfmethoden: Er erwähnt in seinen Aufsätzen auch die belegungsdichte-orientierten Prüfmethoden. Er beschreibt aber auch transferorientierte Methoden und er ist der einzige Autor, welcher sich mit dem Problem der Kontaminierung, Dekontaminierung und Rekontamination während der Tragezeit von Reinraum-Handschuhen sachlich auseinandersetzt. Durch seine Beiträge erfahren wir viele interessante Einzelheiten über das Produkt Reinraum-Handschuh, welche uns bisher nicht bekannt waren.

Im Rahmen der Erfassung der Oberflächenreinheit von Handschuhen denkt man zunächst einmal an das Ultraschallgestützte Abwaschen der Partikel im DI-Wasserbad. Dies funktioniert jedoch nicht zuverlässig bei der Prüfung von natürlichem Latex, weil der Latex durch Ultraschall-Schwingungen schnell angelöst werden kann. Für die Partikelzählung scheinen zunächst Flüssigkeits-Partikelzähler am besten geeignet, weil diese am schnellsten arbeiten. Bei dem Versuch, die Partikelzählung mit Hilfe von Flüssigkeits-Partikelzählern durchzuführen, ergaben sich erhebliche Messwertfehler, vermutlich durch Blasenbildung in der Messkammer. Dies war selbst dann der Fall, wenn eine Vakuum- oder Ultraschall-Entgasung stattgefunden hatte. Außerdem funktionieren solche Zähler im allgemeinen nicht im Zusammenhang mit Flüssigkeiten, in denen sich Tensidanteile befinden.

In mehreren Versuchsreihen haben wir herausgefunden, dass dreimaliges Tauchen des Handschuhs in 18,2 M-Ohm DI-Wasser bei Zugabe von 0,03 Gew. % eines Tensids reproduzierbare Partikel-Freisetzungen liefert. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die in das DI-Wasser freigesetzten Partikel über ein Mikroporenfilter extrahiert werden müssen. Die Filterauswertung kann mikroskopisch-visuell oder mit Hilfe elektronischer Bildanalyse erfolgen.

Welker berichtet auch von einer Prüfung der Freisetzung von Ionen aus Schutzhandschuhen. Dabei wurde ein Handschuh mit 18 M-Ohm DI-Wasser gefüllt und an der Einschlüpföffnung verschlossen. Danach wurde er eine Stunde lang einer Temperatur von + 60 bis 80° C ausgesetzt. Nach Abkühlung wurde das DI-Wasser mit Hilfe der Ionen-Chromatographie auf Anionen-Rückstände hin untersucht. Im Ergebnis dominierten Chloride und Sulfate. Außerdem wurden Partikelmengen von > 8.000 Partikel/cm² bei Partikelgrößen > 0,8 µm Feret-Durchmesser gezählt. Eine solche Extraktions-Methode scheint jedoch von stark überhöhtem Simulationsgrad, weil in der Praxis kein Handschuh bei diesen Temperaturen und gleichzeitig liquidem Umfeld mit Extraktions-Charakter eingesetzt wird.

Eine interessante Prüfmethode der ionischen Barrierefunktion von Reinraum-Handschuhen wurde dem Autor im Jahre 1986 von Herrn Wolfgang Kraft, damals Intermetall Freiburg, nahe gebracht: Nachdem ein Reinraum-Handschuh eine Minute lang getragen wurde, erfolgte ein Tauchbad in DI-Wasser der Qualität 18,2 M-Ohm. Anschließend wird das Wasser ionenchromatographisch, mit AAS oder mittels Kapillar-Elektrophorese auf Metallionen hin untersucht. Die gleiche Prüfung findet nach einer Tragezeit von 30 min statt. Deutliche Unterschiede weisen auf eine starke Ionen-Migration hin. Diese wirkt sich unausweichlich auf die Parameter Kontakttransfer und ionische Kontamination aus (siehe Tabelle 2).

Eine der Verunreiniger-Arten von Einmal-Handschuhen der Reintechnik ist die ionische Kontamination. An den Material-Oberflächen der Handschuhe sind Anionen und Kationen angelagert, die sich mit Hilfe von Kapillar-Elektrophorese oder

Handschuh-Art	Anionen in ppm					Kationen in ppm							
	CI	No2	So4	NO3	F	HPO3	NH4	K	Na	Li	Mg	Ва	Ca
Reinraum-Nitril Handschuh weiss, dekontaminiert	28,66	0,137	3,496	100	0,137	0,351	7,025	29,68	31,98	-	0,099	-	27,18
Standard-Nitril Handschuh blau, nicht dekontaminiert	0,57	-	2,248	10,06	<0,01	0,255	0,836	4,395	3,431	0,02	0,319	0,082	9,608
PU-Vlies (beidseitig) Handschuh, nicht dekontaminiert	0,053	0,07					0,063	0,078	0,078	-	-	0,091	0,242
PE-Folien Handschuh, nicht dekontaminiert													

Tabelle 2 Anionen- und Kationen-Nachweis, Anzahl der geprüften Prüflinge: 1 Stck/Art

Ionen-Chromatographie in ihrer Masse bestimmen lassen. Die Erfassungs-Grenze solcher Mess-Systeme liegt nach heutigem Stand bei etwa 10 ppb. Das ist ausreichend, um auch geringste Kontamina-tionen zu erfassen. Die Proben werden 20 min lang in einer Mikrowellen-Extraktions-Anlage in einem Lösungs-Mittel extrahiert, und anschließend werden An- und Kationen Kapillar-Elektrophoretisch besimmt. In Tabelle 2 sind die Prüfergebnisse von Handschuh-Fabrikaten tabellarisch aufgeführt.

Nicht für jede HiTech-Fertigung sind Ionen in den in der Tabelle angegebenen Mengen als kritische Verunreiniger einzustufen. Aber beispielsweise in der Halbleiter- und Leiterplatten-Fertigung sind eine Reihe von Ionen unerwünscht. Dies betrifft insbesondere Cl, SO4, K und Na-Ionen. Die in der Tebelle angegebenen Daten dienen lediglich der generellen Information. Um genaue Messwerte zu erhalten müssten min. 12 Prüflinge pro Los bestimmt werden.

Die Erfassung von transferierten Organika-Mikroschichten ist qualitativ mit Standard-Meßmethoden nicht beherrschbar. Quantitativ jedoch ist es möglich, mit Hilfe der C&C-Transfer-Platte [Lit. 8] Kontakt-Übertragungen bis zur Größenordnung von 1 nm Schichtdicke hinunter sichtbar zu machen. Dies scheint ausreichend, um praxisrelevante Aussagen machen zu können.

Reinraum-Handschuhe und Elektrostatik

Wie vom Autor bereits für das Produkt Reinraum-Reinigungstücher eingehend beschrieben, so zählen auch Schutzhandschuhe zu dem ESD-kritischen Verbrauchsmaterial, welches in Reinräumen Einsatz findet - bestehen sie doch aus Kunststoffen und kommen ständig mit anderen Oberflächen in Berührung. Außerdem bilden Handschuhe oftmals den Berührungspunkt, über welchen der elektrische Ladungsausgleich einer Person erfolgt. Zu den HiTech-Produkten, welche im Fertigungsprozess besonders durch Ladungen von Schutzhandschuhen gefährdet sind, gehören u.a. Wafer, Magnetköpfe und Festkörper-Laser.

Bei Herausgabe dieser Arbeit (10-2017) können nach unserer Erfahrung die Parameter triboelektrische Aufladung, (z. B. erzeugt mit einem Fallschlitten nach Ehrler) und die Entladungszeit als sinnvolle Parameter genutzt werden. Eine ausführliche Beschreibung der Methode findet sich in der Literatur [Lit 5]. Der Parameter Oberflächen-Widerstand wurde von uns als nicht zuverlässig erkannt und scheidet daher für unsere Beurteilung der ESD-Eignung von Reinraum-Produkten aus. Es scheint unumgänglich, dass alle mit ESD im Zusammenhang stehenden Prüfungen stets in einer Klimakammer und immer bei zum Beispiel 40 % relH und + 20 Grad Celsius und alternativ bei 25 % relH und + 20 Grad Celsius stattfinden. Im Zusammenhang Reinraum-Handschuhe und ESD-Verhalten haben Hartkopf, Heymann, Lehmann, Newberg und Welker

einen interessanten Beitrag geleistet, welcher ebenfalls die Entladungszeit als wesentliches Prüfmerkmal anführt [Lit 3].

Es wurden Versuche mit den Entladungszeiten von Nitril-, Latex-und PVC- Handschuhen unter verschiedenen Tragebedingungen gemacht. Dabei wurde auch das Tragen von Unterzieh-Handschuhen berücksichtigt. Die Ergebnisse sind nachstehend zusammengefasst:

- Die Entladungszeiten nahmen ganz erheblich zu, wenn die Versuchsperson kein geerdetes Ableitband trug. Kein Prüfling konnte die in den HiTech-Industrien geforderten Entladungszeiten ohne Ableitband (wrist-strap) erreichen.
- Die Entladungszeiten nehmen ab, wenn Nitril-Handschuhe fertigungsgemäß chloriert wurden.
- Die Entladungszeiten von PC-Handschuhen veränderten sich nicht in Abhängigkeit vom Umgebungsklima (12 %: 50 % relH). Bei den Nitrilhandschuhen war die Änderung der Entladungszeiten deutlich erkennbar. Am stärksten war der Unterschied bei nicht chlorierten Nitrilhandschuhen und am wenigsten bei inwendig und außen chlorierten Nitrilhandschuhen messbar. Alle 4 geprüften Typen hatten Entladungszeiten von < 500 ms für einen Spannungsabfall von 1000V auf < 10 V.
- Das Tragen von Unterhandschuhen verlängert generell die Entladungszeit. Auch dabei bleibt diese jedoch im Rahmen von < 500 ms für eine Reduzierung von 1000 V auf < 10 V.
- Die Entladungszeiten verringern sich beim Tragen von Unterzieh-Handschuhen und stabilisieren sich nach etwa 5 min Tragezeit.
- Bereits kontaminierte Handschuhe haben erheblich höhere Entladungszeiten als Handschuhe im Anlieferungszustand.
- In DI-Wasser gewaschene Handschuhe haben geringfügig bessere (geringere) Entladungszeiten als nicht gewaschene.

Welker berichtet in seinem Aufsatz auch über die Möglichkeit, Schutzhandschuhe während der Arbeitszeit sporadisch zu reinigen und somit die Partikelbelastung der Oberfläche erheblich zu reduzieren. Bei einer einfachen DI-Wasser-Wäsche durch Händereiben wurde mit Hilfe eines Hamamatsu-Wafer-Inspektionssystems eine Abnahme der übertragenen Partikel von 175 Partikeln pro cm² auf 3 Partikel pro cm² > 5 µm Durchmesser erreicht. Um Erfahrungen über die Rekontamination der gereinigten Handschuhe zu gewinnen, wurde nach 20 Minuten Reinraumarbeit erneut eine Messung der Oberflächenreinheit durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass bereits zu diesem frühen Zeitpunkt etwa die Hälfte der Partikelbelastung des Anlieferungszustands erreicht war. Daraus ergibt sich die Tabelle 3.

Reinigung von Handschuhen im Tragezustand

	Partikel				
Anlieferungs-Reinheit	175				
nach erster Handwäsche	3				
nach 5 Min. Reinraum-Gebrauch	50				
nach 20 Min. Reinraum-Gebrauch	90				
nach erneuter Handwäsche	3				

Tabelle 3 Reinigung von Handschuhen im Tragezustand (Partikel $> 5~\mu m$ Durchmesser pro cm²)

Versuche, die Reinraum-Operators zu bewegen, nach gewissen Zeitabständen des Arbeitens eine Handschuhwäsche vorzunehmen, schlugen in den USA jedoch fehl, weil die Bereitschaft der Operators, sich in dieser Weise zu organisieren, sehr gering war. Drei Arten der sporadischen Handschuh-Reinigung wurden versucht:

- gelegentliches Waschen
- gelegentliche Berührung einer Klebematte mit dem Handschuh (Partikelreduzierung von etwa 40 %)
- Reinigen des Handschuhs mit einem HiTech-Reinigungstuch

Während die Option 2 wiederum am Widerstand der Operators scheiterte, war es für die Option 3 nicht möglich, auf dem Markt ausreichend kostengünstige getränkte Einwegtücher zu finden, welche den gewünschten Reinigungseffekt sichern konnten.

Hypoallergene Schutzhandschuhe

Solche Handschuhe unterscheiden sich von Latex-, Nitril- oder Vinyl- oder Polyethylenhandschuhen wie folgt:

- Sie sind dampfdurchlässig, es entsteht kaum Schweißbildung und der bekannte Wärmestau beim Handschuhtragen wird stark verringert.
- Sie sind sehr elastisch und passen sich daher der Handform gut an.
- Sie sind hypoallergen, d. h. sie verursachen extrem selten Allergien.
- Sie sind mehrfach waschbar, wobei durch die Porenstruktur des Vlies-Materials beim Waschvorgang automatisch auch die Handschuh-Innenseiten gewaschen werden.

Diese Handschuhe sind aufgrund ihrer Porosität durchlässig für Flüssigkeiten. Sie eignen sich also nicht für Arbeiten im Nassund Chemikalienbereich. Der im ersten Moment scheinbare Nachteil eines hohen Preises wird durch die allgemein längere Tragedauer und die mehrfache Waschbarkeit dieser Handschuhe nahezu aufgewogen. Er wird jedoch mehr als aufgewogen, wenn man den wesentlich höheren Tragekomfort der PU-Vlies-Handschuhe für die Mitarbeiter betrachtet.

Es gibt diese Handschuhe auch aus einer Innenhand seitigen 25 µm dicken PU-Folie kombiniert mit einem Außenhand seitigem PU-Vlies. Diese Kombination eignet sich besser für Arbeiten mit feuchten Werkstücken und/oder beispielsweise Reinigungstüchern. Eine statistisch fundierte Untersuchung soll in Zukunft darüber Aufschluss geben, ob diese Art der Handschuhe während der Arbeit vergleichsweise größere Mengen an Partikeln und/oder Ionen und Organika an die Oberflächen der Umgebung abgibt oder nicht. Dazu muss zunächst einmal bekannt sein, welches Maß an Transfer bei den anderen Handschuharten stattfindet.

Tragekomfort und Handschuhkosten

Es besteht ein natürlicher Interessen-Gegensatz zwischen dem Wunsch der Reinraum-Betreiber nach Kosten-Begrenzung und dem Wunsch des Mitarbeiters nach Tragekomfort. Nur wer selbst einmal 7 Stunden lang mit eng anliegenden Einweg-Handschuhen aus Nitril oder Latex gearbeitet hat, kann beurteilen, welche Belastungen des Arbeitskomforts dies mit sich bringt. In dem Zusammenhang ist es interessant festzustellen, dass sich die Betriebsräte dieses brisanten Themas bisher wenig angenommen haben. Das Thema liegt oftmals in der Hand der Betriebsärzte. Damit ist es auf einen Bereich der Anomalität und der Krankheit festgelegt. Ist das Thema betriebsintern nicht bei den Betriebsärzten angesiedelt, so liegt es bei den Sicherheits-Ingenieuren. Auch diese Gruppe ist jedoch nicht den nicht-numerischen Kenngrößen Tragekomfort und Behaglichkeit verpflichtet. Diese Anomalitäts- oder Sicherheits-Festlegung behindert allgemein die Produktentwicklung in Richtung Schutzkleidung mit einem höheren Arbeitskomfort. Genau genommen gehört dieses Thema betrieblich in eine Arbeitsgruppe Schutzkleidung, welche sich hauptsächlich aus Mitarbeitern zusammensetzen sollte, welche mit der Schutzkleidung auch ganztägig arbeiten müssen.

Das Konzept der "handschuhlosen" Fertigung in Reinräumen der Industrie

Bei der Infineon AG wurde ab 1992 bis 2003 eine sog. "handschuhlose" Fertigung betrieben. Prinzipiell ist es in der Reinraumproduktion von Halbleiter-Wafern erforderlich, die Waferoberfläche von den Abscheidungen der menschlichen Haut frei zu halten. Dies geschieht im allgemeinen durch das Tragen von Handschuhen. Man kann aber auch einen anderen Weg gehen, so dass der Operator z. B. beim Transportieren den Wafer-Carrier durch einen Carriergriff in ausreichendem Abstand vom Körper entfernt hält.

"Handschuhlose" Fertigung bedeutet nicht, dass in dieser Fertigung kein einziger Handschuh mehr eingesetzt würde. Bei solchen Arbeiten, bei denen Carrier-Griffe nicht einsetzbar sind, trug der Operator einen Polyäthylen-Handschuh, welcher nur für die Dauer der betreffenden Verrichtung auf der Hand belassen und danach abgestreift und entsorgt wurde. Dieser hautfreundliche Polyäthylen-Handschuh liegt preislich etwa bei 30 % eines Nitril-Handschuhs. Möglicherweise ergibt sich aus diesem mitarbeiterfreundlichen Arbeitsvorbild eine Grundlage für einen branchenweiten Verzicht auf das Tragen von Schutzhandschuhen im Rahmen vieler Arbeiten der Reintechnik. Dies scheint insbesondere dort möglich, wo die Reinräume mit einem SMIF-System ausgestattet sind. Außerdem reduziert sich der Handschuh-Bedarf etwa geldwert-mäßig auf die Hälfte, was auch von der Betriebskostenseite her interessant ist.

Es wurde in der Vergangenheit oftmals bezweifelt, dass das Infineon-Konzept eine echte Alternative zum Handschuh-Konzept ist, ohne dass eine damit einhergehende Defektdichte-Erhöhung den Vorteil wieder mindert. Eine Prüfung des

Literatur

Fraunhofer Instituts Integrierte Schaltungen in Erlangen hat die langjährigen Infineon- (Siemens-) Erfahrungen jedoch bestätigt.

- [1] Welker, Roger W. et al. Using contamination and ESD tests to qualify and certify cleanroom gloves, Micro Magazine, May 1999
- [2] Welker, Roger W. Controlling particle transfer caused by cleanroom gloves, Micro Magazine, September 1999
- [3] Welker, Roger W. et al. Evaluating the ESD performance of gloves under realistic cleanroom conditions, Micro Magazine, May 2000
- [4] Lamprecht, Monika Wann ist ein Reinraum-Handschuh ein "Reinraum-Handschuh"? Shield Scientific B. V., ReinRaum-Technik 5/2016
- [5] Labuda, Win Triboelektrische Effekte beim Einsatz von Reinraum-Tüchern und Papier, VDI-Berichte 1342, Tagungsband der reinraumtechnischen Fachtagung des Vereins Deutscher Ingenieure in Fulda 1997
- [6] Sovinski, Marjorie F. Contamination of Critical Surfaces from NVR Glove Residues Via Dry Handling and Solvent Cleaning, NASA Technical Reports, April 2004
- [7] Labuda, Win Reinraum-Verbrauchsmaterial, Aspekte, Simulation, Argumente, Sonderausgabe in ReinRaumTechnik 1/2017
- [8] Labuda, Win, Haupt, Stefan Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen, ReinRaumTechnik 2/2017
- [9] Smith, Brian The development of Nitrile Gloves, Health and Safety International, Issue 37, Jan. 2011