

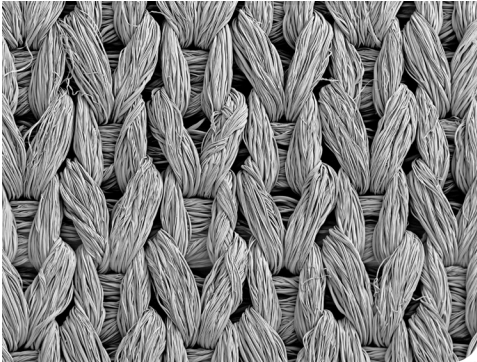


Abb. 1

Win Labuda

HiTech-Reinigungstücher

*Präzisionswerkzeuge einer modernen
Fertigungskultur*

Clear & Clean - Forschungslabor

In der Halbleiter-, der pharmazeutischen, der optischen und der Raumfahrt-Industrie hat sich das Reinigen kritischer Oberflächen im Fertigungsumfeld mit HiTech-Reinigungstüchern als besonders wirksam erwiesen. Reinigungsprozeduren sind zeitintensiv und somit ein nicht unerheblicher betrieblicher Zeitkostenfaktor. Die Beschaffenheit solcher HiTech-Tücher soll gewährleisten, daß in möglichst kurzer Zeit ein möglichst großer Teil der Verunreinigungen vom Reinigungstuch aufgenommen werden. Die Verunreinigungen auf den Oberflächen sind in vielen Fällen unsichtbar. Oft sind es partikel- oder schichtförmige Ablagerungen im Dickenbereich $< 1 \mu\text{m}$.

Der Erfolg einer Präzisions-Reinigung ist also normalerweise weder mit dem bloßen Auge sichtbar noch ohne besonderen Aufwand messbar. Erfahrungsgemäß bildet der Anbieter-Markt für solche Produkte, welche nicht umfassend und multinational spezifiziert sind, sehr unterschiedliche Qualitäten aus. Dies gilt auch für HiTech-Reinigungstücher. Der vorliegende Aufsatz soll dieses Produkt, den Stand der Technik im Jahr 2000 und sein Einsatz-Umfeld näher beschreiben.

Der Vorgang des wischenden Reinigens

Beim wischenden Reinigen findet ein Masse-Transfer statt: Die Verunreinigung wird beim Reinigungsvorgang von der Oberfläche in das Reinigungstuch hinein übertragen. Gleichzeitig gelangen jedoch geringe Mengen der Masse des Tuchs auf die zu reinigende Oberfläche und verbleiben dort als unerwünschter Rückstand. Das sind zumeist Faserabrieb, Mesopartikel, Submikronpartikel, Ölrückstände aus der Garnherstellung oder Tensid- oder ionische Rückstände aus dem Fertigungs-Prozess der textilen Rohmaterialien. Bei den normalen Reinigungsprozeduren z. B. im Haushalt oder in einer Werkstatt haben solche Verunreinigungsreste aus dem Tuch für das Reinigungsergebnis selten eine große Bedeutung. Bei hochentwickelten, industriellen Prozessen jedoch können Rückstände aus vorhergegangenen Reinigungs-Prozeduren selbst im μg -Bereich erhebliche Auswirkungen auf das Prozeß-Ergebnis haben. Aus diesem Grunde hat sich etwa ab 1970 eine Industrie entwickelt, welche eigens für die Aufgaben der Präzisions-Reinigung geeignete Reinigungsmittel anbietet.

Art der Verunreinigung	Art der HiTech-Reinigungstücher
Verunreinigungen auf den offen zugänglichen Reinraum-Oberflächen (Tische, Cleanbenches, Reinraummöbel)	Standard-Reinraum-Tücher aus Polyester/Cellulose-Gemisch oder aus reinen Viskosefasern
Verunreinigungen der Maschinen (Equipment-Innenflächen)	Equipment-Reinigungstücher aus hochwertigen, mehrfach dekontaminierten Polyester-Gestriicken mit versiegeltem Kantenbereich
Verunreinigungen von optischen Gläsern, Spiegeln und ultraglaten Oberflächen	Optik-Tücher aus Mikrofilamenten-Gestriicken hoher Dichte
Verunreinigungen der Fußböden	Boden-Reinigungstücher aus abriebfesten Polymerfasern mit hoher Flüssigkeitsaufnahme

Tabelle 1

Klassifizierung der Verunreiniger

Die Verunreiniger von Oberflächen im HiTech-Umfeld lassen sich grob in zwei Gruppen unterteilen: Die erste Gruppe umfaßt solche Verunreiniger, welche im wesentlichen aus organischen und nichtorganischen Mikro-Raumgebilden bestehen. Diese liegen außer Fasern, Faserfragmenten, Pollen und Hautabrieb alle im unsichtbaren Bereich. Es handelt sich im Wesentlichen um:

- 1.1. Fasern, Faserfragmente
- 1.2. Meso-Partikel < 10 µm
- 1.3. Submikron-Partikel < 1 µm
- 1.4. Bakterien < 1 µm
- 1.5. Viren von < 0,1 µm
- 1.6. Pollen < 100 µm
- 1.7. Hautabrieb bis 1000 µm

Außer den teilchenartigen (partikulären) gibt es jedoch auch schichtförmige Verunreinigungen:

- 2.1. Fingerabdrücke
- 2.2. Ölschichten
- 2.3. Flüssigkeits-Schichten
- 2.4. Fettschichten, Pasten
- 2.5. Polymerschichten
- 2.6. Kristallisationen
- 2.7. Farb- und Lackschichten
- 2.8. Gele
- 2.9. Tensidschichten
- 2.10. Rückstände aus Niederschlägen

Solche Schichten können von einer Atomlage bis zu 500 µm dick sein. Selten zeigt sich die Verunreiniger in schichtförmigen oder partikulären Formen allein. Zumeist findet man auf den Oberflächen beide in Kombination. Ein HiTech-Reinigungstuch muß also eine große Bandbreite von Verunreinigern aufnehmen können und bis zu seiner Entsorgung sicher binden. Die Bindung von Partikeln an die Reinigungstuch-Fasern erfolgt vornehmlich durch van der Waals-Kräfte, die Bindung von schichtförmigen Verunreinigungen ergibt sich durch Adhäsion. Im Feuchtzustand der Tücher binden wiederum die Kapillarkräfte das Lösungsmittel, in welchem sich die Partikel und anderen Verunreiniger aufhalten.

Klassifizierung der HiTech-Reinigungs-Tücher

HiTech-Reinigungsmittel müssen sowohl der Verunreinigung, welche entfernt werden soll, als auch der zu reinigenden Oberfläche angepaßt sein. Dabei sollen jedoch möglichst alle Verunreinigungen mit einem möglichst kleinem Typenspektrum an Tüchern gleichermaßen gut entfernbar sein. Unter Berücksichtigung dieser Umstände lassen sich Zuordnungen zwischen Verunreinigungen und HiTech-Tüchern treffen (siehe Tab. 1).

Der Einsatz von Lösungsmitteln

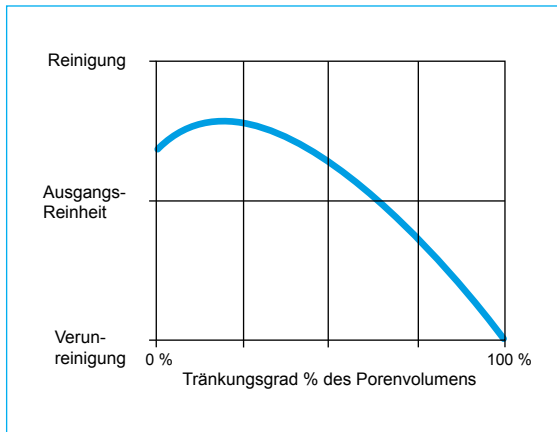


Abb. 2 Effektivität des wischenden Reinigens mit lösungsmittel-getränkten Reinigungstüchern

Die Reinigungs-Effektivität von HiTech-Reinigungs-Tüchern

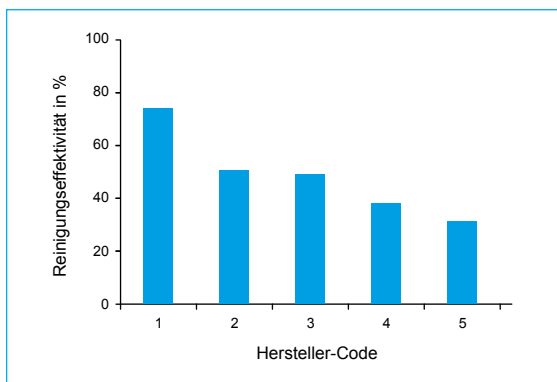


Abb. 3 Das Diagramm zeigt die Reinigungs-Effektivität der jeweils zwei effizientesten Tücher von fünf Herstellern (1 bis 5) für dünne Ölschichten auf Glas-Substrat.

Die meisten Reinigungsaufgaben im Reinraum werden nicht mit trockenen, sondern mit lösungsmittel-getränkten Tüchern durchgeführt. Das kann den Reinigungsvorgang beschleunigen und in vielen Fällen wird eine Reinigung erst dadurch überhaupt möglich. Im Reinraum finden als Lösungsmittel beim wischenden Reinigen vornehmlich Gemische aus Isopropylalkohol und DI-Wasser Verwendung. Auch wird gelegentlich Aceton eingesetzt. Für einige Reinigungsprozeduren z. B. im Plasmaätz-Bereich werden Isopropylalkohol und DI-Wasser auch ungemischt eingesetzt. Die Tränkung der Tücher mit dem Lösungsmittel erfolgt normalerweise manuell durch eine Spritzpumpe. Dabei wird das Tuch an den Stellen, wo der Lösungsmittel-Strahl auftrifft, sehr stark gefeuchtet. An solchen Orten hoher Durchfeuchtung ist die Reinigungsfähigkeit des Tuchs jedoch stark reduziert bis nicht vorhanden (siehe Abb. 2 und Lit. 1). Es ist daher sinnvoll, bereits im Anlieferungszustand homogen getränkte Tücher in entsprechender Verpackung einzusetzen.

Der Anwender von HiTech-Reinigungsmitteln ist nicht interessiert an deren Reinheit sondern an deren Reinigungs-Effektivität. Sie sagt etwas darüber aus, welche Menge der ursprünglichen Verunreinigung in % nach einem einzigen Wischvorgang noch auf der Oberfläche vorhanden ist. Dieses Merkmal ist bestimmend dafür, wie lange ein Reinigungsvorgang dauert und somit wie hoch die Kosten dafür sind. Die Reinigungs-Effektivität von HiTech-Reinigungstüchern verschiedener Hersteller ist sehr unterschiedlich (siehe Abb. 3).

Lediglich ein (europäischer) Hersteller macht für seine Produkte Angaben über deren Reinigungs-Effektivität. Für dünne Fettschichten auf Glasoberflächen z.B. liegt sie bei den weltweit bekannten Reinraumtüchern zwischen 15 und 75 % je nach Hersteller und Tücherart. Die Abbildungen 4, 5 und 6 zeigen die Oberflächenstruktur drei verschiedener Reinigungstuch-Fabrikate. Abb. 7 zeigt in diesem Zusammenhang die Reinigungs-Effektivität dieser drei Tücher. Die Messung der Reinigungs-Effektivität für Submikron-Partikel kann nach einer Methode von Schmidt, Opiolka und Kück [Lit. 2] oder nach Klumpp [Lit. 3] durchgeführt werden. Zur Messung der Reinigungs-Effektivität für Flüssigkeiten und pastöse Verunreinigungen eignet sich die gravimetrische oder ellipsometrische Abtragsmessung [Lit. 4].

Insbesondere bei der Präzisionsreinigung von Oberflächen mit Rauigkeiten $< 10 \mu\text{m Rz}$ ist die Anzahl der Berührungspunkte zwischen Oberfläche und die Art der Garnkrümmungen pro cm^2 Reinigungstuch (Papillen) ein bestimmendes Merkmal für deren Reinigungs-Effektivität. Hocheffiziente Tücher für die Reinigung solcher Oberflächen sind auf der Basis dieser Grundlagen konstruiert.

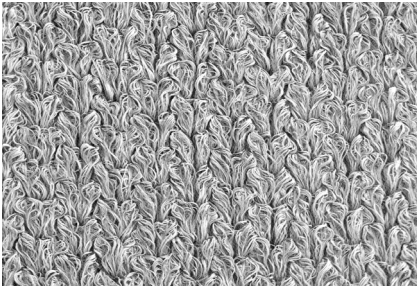


Abb. 4

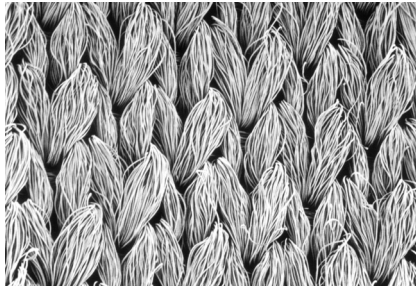


Abb. 5

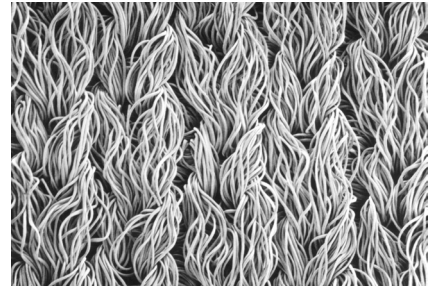


Abb. 6

Mess- und Prüfmethoden

Der Erfolg einer Reinigungs-Prozedur mit Hilfe von HiTech-Reinigungsmitteln ist zumeist mit dem bloßen Auge nicht sichtbar. Man ist also auf zuverlässige Mess-Methoden angewiesen, um diesen Aspekt der Gebrauchsgüte von HiTech-Tüchern zu erfassen und zu dokumentieren.

Lange Zeit schien es nicht möglich, die Qualität von HiTech-Tüchern sinnvoll und reproduzierbar zu bewerten. Es fehlte an technisch fundierten Prüfmethoden und entsprechendem Instrumentarium. Die Folge war oftmals die Auswahl denkbar ungeeigneter, dafür jedoch möglichst billiger Tücher - zum Nachteil des Anwenders. Unnötig lange Reinigungszeiten und ein hohes Maß an Verunreinigungs-Rückstand auf den Oberflächen waren die Folge. Auf leicht nachvollziehbaren Denkfehlern beruhende Prüfmethoden, wie die Tauchmethode und die Twist-Methode (biaxial-shake method (IES-RP-CC-004.2) und dry „Flex“ test) des amerikanischen Industrie-gesponsorten Instituts IES, Institute for Environmental Sciences, trugen und tragen weiterhin zur allgemeinen Konfusion bei. Die amerikanischen Hersteller von HiTech-Reinigungstüchern weigern sich aus bestimmten Gründen beharrlich, physikalisch sinnvollere Prüfmethoden zu akzeptieren. Europäische Fachaufsätze werden dort prinzipiell nicht zitiert. Seit 1990 hat jedoch ein (europäisches) Unternehmen der Branche praktisch anwendbare Prüfmethoden entwickelt, welche nun der Allgemeinheit zur Verfügung stehen.

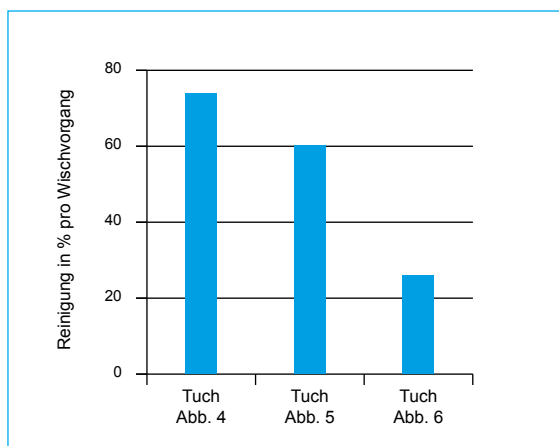


Abb. 7 Diagramm der Reinigungs-Effektivität pro Wischvorgang ausgewählter Reinraum-Tücher

Die wichtigsten Prüf-Parameter bei HiTech-Reinigungstüchern sind:

- 1 - Reinigungs-Effektivität für verschiedene Verunreiniger-Gruppen
Hilfsweise: Faser- und Partikelabrieb beim Wischen über spezifizierte Oberflächen-Strukturen
- 2 - Flüssigkeits-Rückstand auf der Oberfläche nach feuchten Wischvorgängen
- 3 - laterale Lösungsmittel-Aufnahme und Verteilungsgeschwindigkeit beim Wischvorgang

Für alle die o. a. Prüf-Parameter existieren heute erprobte Prüfmethoden. Außer den genannten speziellen Prüf-Para-

metern gibt es weitere, welche jedoch durch einschlägige DIN-ISO-Methoden prüfbar sind. Ein Problem in diesem Zusammenhang ist es, daß die Prüfmethode oftmals spezielle Geräte erfordern, welche dem Reinraum-Ingenieur im eigenen Hause nicht zur Verfügung stehen. In Europa gibt es ein Labor für die Untersuchung von Hi-Tech-Reinigungstüchern. Das ist jedoch ziemlich ausgelastet. Es wäre also wünschenswert, wenn leicht zu handhabende und preiswerte Prüf-Instrumente geschaffen würden, um vergleichende Qualitäts-Bewertungen der HiTech-Reinigungstücher auch beim Anwender sicher und schnell durchführen zu können.

Die Kosten des wischenden Reinigens im Reinraum-Betrieb

Das wischende Reinigen ist in großen Reinraum-Betrieben mit z.B. einem Bedarf von > 1 Mio Tücher pro Jahr ein erheblicher Kostenfaktor. Selten ist in der Vergangenheit bedacht worden, daß die Benutzung von 1 Mio. Reinigungstücher im Jahr auch bedeutet, daß eine Million mal ein Mensch ein Tuch in die Hand genommen hat und damit durchschnittlich 45 Sekunden lang eine Reinigung durchgeführt hat. Ein solcher Standard-Reinigungsvorgang kostet in der Halbleiterbranche ca. 2,10 DM [Lit. 5]. Dabei liegen die Materialkosten für die Reinigungstücher bei 8,7 %, die Kosten der Reinigungszeit bei 84,8 % und die Kosten für den durch Reinigungstücher verursachten Produktionsausschuß bei etwa 6,5 % der Gesamtkosten des wischenden Reinigens. Erhebliche Einsparungen sind also lediglich im Bereich des Tücher-Handling (Reinigungszeit) möglich. Es bieten sich die folgenden Möglichkeiten kostensenkender Maßnahmen:

- 1 - Verhinderung von Mehrfach-Entnahmen von Tücherstapeln durch Einsatz geeigneter Einzeltuchspender und Boxen
- 2 - Reduzierung der Hol-, Entsorgungs- und Suchzeiten in der Fertigung durch erhöhte Präsenz von Reinigungstüchern im Fertigungsumfeld
- 3 - Einsatz von Tüchern mit nachweisbar höherer Reinigungs-Effektivität
- 4 - Einsatz von Tüchern, welche nach dem feuchten Wischvorgang einen geringeren Flüssigkeitsrückstand auf der Oberfläche hinterlassen
- 5 - Einsatz von Tüchern in lösungsmittel-getränktem Anlieferungszustand

Der Markt für HiTech-Reinigungsmittel

Der Weltmarkt für HiTech-Reinigungstücher liegt materialwertmäßig etwa bei 240 Mio US-Dollar. Weil der Kostenblock Reinigungstücher jedoch nur 8,7 % [1] des gesamten Kostenblocks wischendes Reinigen im HiTech-Betrieb ausmacht, beeinflußt die Qualität der HiTech-Reinigungstücher einen mit der Reinigung verbundenen Kostenblock Handling in der Größenordnung von etwa 2,35 Milliarden US-Dollar und außerdem einen Kostenblock Produktions-Ausschuß von ca. 180 Mio. US-Dollar.

Den Markt für HiTech-Reinigungstücher teilen sich eine Reihe spezialisierter Unternehmen. Zwei davon, eines in den USA, eines in Europa, betreiben eine systematische Erforschung des wischenden Reinigens; die meisten haben lediglich eine mehr oder weniger gut ausgerüstete Qualitätskontrolle. In Deutschland fertigt ein Unternehmen seit 1979 HiTech-Reinigungstücher für den Standard- und high-end-Bereich. Bei Betrachtung der globalen Liefermengen sind die Amerikaner weiterhin führend. In der Forschung und im Bereich high-end-Produkte liegt Europa jedoch deutlich auf der Überholspur.

Der Branche fehlen dringend Impulse aus der Industrie und Forschung. Viele Reinraumbeauftragte haben die Chancen zu Kostensenkungen auf diesem Gebiet noch nicht erkannt. Oftmals fokussiert man sich auf den Materialpreis, anstelle die lukrativen Einsparungsmöglichkeiten aus dem handling-Bereich zu nutzen. Es fehlt an technischer Phantasie, Willen zur geistigen Durchdringung des Produktes, unternehmerischem Denken und ein Produkt-Image, welches dem mittlerweile technologisch hochwertigen Produkt HiTech-Reinigungstuch gerecht wird.

Marktentwicklung und Zukunft

In Deutschland ist z. B. die Marktentwicklung hin zum Einzelblatt-Spender und Mobilboxen zum großen Teil abgeschlossen. Nur wenige der großen Anwender setzen in der Fertigung noch Tücherstapel in Polybeutel-Verpackung ein. Ein Blick in die Zukunft der Branche bietet folgende highlights:

- Im high-end-Bereich wird es ganz neue Reinigungsmittel-Formen geben. Diese werden den physiologischen Gegebenheiten der Hand mehr angepaßt sein als quadratische Reinigungstücher und ein schnelleres Arbeiten erlauben. Die Reinigungs-Effektivität solcher Tücher wird außerdem höher sein als bei den bisher eingesetzten Produkten.
- Bei der Präzisionsreinigung von Plasmaätz-Maschinen, in der Halbleiter-Fertigung und bei der Siebreinigung im Hybrid-Schaltungsdruck werden neuartige HiTech-Reinigungstücher ohne offenliegende oder harte Schneidkanten eingesetzt werden. Dadurch werden die Stillstandszeiten der Maschinen bzw. der Produktions-Ausschuß um eine interessante Größenordnung reduziert werden.
- Anstelle von HiTech-Reinigungstüchern im trockenen Anlieferungszustand werden aus Gründen der besseren Reinigungs-Effektivität in Zukunft mehr solche im feuchten Anlieferungszustand eingesetzt werden. Diese werden im Fertigungsumfeld in Hermetic-Boxen oder verschließbaren Beuteln bereitgestellt werden.
- Es wird Präzisions-Reinigungstücher von ultra-hoher Reinigungs-Effektivität für die Substrat-Reinigung geben. Damit werden sich Verunreinigungs-Schichten (Schmier) bis hinunter zu < 1 nm Dicke entfernen lassen.

- Für die Kennwerte Reinigungs-Effektivität und Oberflächen-Reinheit wird es schon sehr bald einfache Prüfmittel geben, die preiswert sind und von jedermann ohne spezielles Training eingesetzt werden können.

Der Autor

Win Labuda ist bei der Clear & Clean GmbH in Lübeck für die Entwicklung von High-End-Verbrauchsmaterialien für die Reinraumtechnik tätig. Er entwickelte seit 1979 eine Reihe zuverlässiger Prüfmethoden für HiTech-Reinigungstücher und war Mitgestalter der VDI-Richtlinie für Oberflächenreinheit. Er gründete 1985 ein Forschungslabor für die Erforschung des wischenden Reinigens. Aus seiner Feder stammen mehr als 15 Aufsätze zum Thema Reinraum-Verbrauchsmaterial und er hat bisher über 100 Vorträge zu diesem Thema gehalten.

Literatur

- [1] Mattina, Charles F. et al. – The cleanliness of wiped surfaces: particles left behind as a function of wiper and volume of solvent used, CleanRooms 96 East, 1996, Proceedings
- [2] Schmidt, F., Opiolka, S., Kück, H. – Kalibrierung von Waferscannern mit Hilfe der Lichtmikroskopie , VDI-Bericht 919, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1992
- [3] Klumpp, Bernhard – Prüfverfahren zur Untersuchung der Partikelreinheit technischer Oberflächen, IPA-IAO Forschung und Praxis 182, Springer-Verlag, 1993
- [4] Labuda, Win – Die Erforschung des wischenden Reinigens, am 60. Geburtstag ein persönlicher Rückblick auf 20 Jahre Forschung, 1978-1998, C&C-Publikation, 1998, Lübeck
- [5] Labuda, Win et al. – Die Kosten des wischenden Reinigens im Reinraumbetrieb, C&C-Publikation, 1999, Lübeck