

Jörg Kickelhain

Laserunterstützte Strukturierung von Feinstleitern für die Mikroelektronik

Untersuchungen zur additiven Herstellung flexibler Feinstleiterelemente durch Excimerlaserablation festhaftender, metallorganisch aktivierter Schichten auf Polyimidfilmen

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Kickelhain, Jörg:

Laserunterstützte Strukturierung von Feinleitern für die Mikroelektronik / Jörg Kickelhain. -
Berlin : Weißensee-Verl., 2000

Zugl.: Rostock, Univ., Diss., 1999 u.d.T.: Kickelhain, Jörg: Untersuchungen zur additiven Herstellung flexibler Feinleiterschaltungen durch Excimerlaserablation festhaftender, metallorganisch aktivierter Schichten auf Polyimidfilmen
ISBN 3-934479-23-5

Unter dem Titel

»Untersuchungen zur additiven Herstellung flexibler Feinleiterschaltungen durch Excimerlaserablation festhaftender, metallorganisch aktivierter Schichten auf Polyimidfilmen«

als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universität Rostock vorgelegt von Dipl.-Ing. Jörg Kickelhain, geb. am 24.04.1962 in Berlin, aus Neustadt am Rbge..

Gedruckt auf holz- und säurefreiem Papier, 100 % chlorfrei gebleicht.

© Weißensee Verlag, Berlin 2000
Wilhelm-Wagenfeld-Str. 1, 13086 Berlin
Tel. 0 30 / 91 20 7-100
www.weissensee-verlag.de
e-mail: mail@weissensee-verlag.de

Alle Rechte vorbehalten

Umschlag: Chili Grafik-Design, Berlin
Umschlagfoto mit freundlicher Genehmigung der Firma Tessera System Building Blocks,
Michael W. Warner, Vice President Product Development & Manufacturing, 3099 Orchard Drive,
San Jose, California 95134, Phone 408-894-0700 Company, Fax 408-894-0768

Printed in Germany

ISBN 3-934479-23-5

Technik als Chance

Technik wird von Menschen entwickelt und genutzt, um neue Handlungsspielräume in Gesellschaft, Ökonomie und Ökologie zu eröffnen. Verantwortlich entwickelte Technik hat zunehmend Ziele, die der Erhaltung und Verbesserung von Lebensqualität, Wohlstand, Gesundheit und Sicherheit und dem Schutz der Umwelt dienen. Einen Großteil der Errungenschaften, die in den letzten Jahrhunderten, Jahrzehnten und Jahren unser Leben komfortabler gemacht und unseren Horizont erweitert haben, verdanken wir der Technik. Auch wenn sie bisweilen auf Skepsis stößt und wenn der Umgang mit ihr manchmal nicht ohne Risiken ist, bleibt trotzdem nüchtern festzuhalten:

Wir brauchen Hochtechnologie für die Zukunft mehr denn je. Sollte der „technologische“ Kontakt Deutschlands zu den führenden Nationen abreißen, könnten wir und die kommenden Generationen den gewohnten Lebensstandard nicht halten.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Formelzeichen und Abkürzungen	III
1. Einleitung.....	1
2. Stand von Wissenschaft und Technik.....	3
2.1 Verbindungstechnik - Flexible Feinstleitorschaltungen	3
2.2 Additive, strukturierte Metallisierung von Kunststoffoberflächen mittels Lasertechnik	9
2.2.1 Direkte laserinduzierte, strukturierte Metallabscheidung aus gasförmiger, flüssiger und fester Phase	10
2.2.1.1 Chemische (LCVD) und physikalische (LPVD) Abscheidung aus der Gasphase.....	10
2.2.1.2 Abscheidung aus der flüssigen Phase.....	10
2.2.1.3 Laserinduzierte Konvertierung von Feststoffschichten.....	11
2.2.2 Abscheidung von Metallstrukturen nach Laserbehandlung in chemisch-reduktiven Bädern	12
2.2.2.1 Chemisch-reduktive Metallisierung und Haftungsmechanismen.....	12
2.2.2.2 Laserstimulierte photolytische und photothermische Reaktionen.	14
2.2.2.3 Direkte Leitbildübertragung mittels Laserstrahlung	15
2.2.2.4 Laser Direct Imaging.....	16
2.3 Betrachtungen zur Laser- und Excimerlasertechnik.....	16
2.4. Excimerlaserinduzierte Ablation von Polymeren	22
2.4.1 Ablationstheorie nach dem Absorptionsverhalten der Werkstoffe.....	25
2.4.2 Photolytischer (photochemischer) Abtragsprozeß.....	26
2.4.3 Photothermischer Abtragsprozeß	27
2.4.4 Pyrolytischer Abtragsprozeß (therm. aktivierter Photoprozeß.....	28
2.4.5 Kritische Bewertung der vorgestellten Modellbeschreibungen.....	29
3. Zielsetzung	31
4. Theoretische Untersuchungen zum Ablationsvorgang.....	33
4.1 Modellbildung.....	33
4.1.1 Bindungsbrüche innerhalb des Polymers	33
4.1.2 Einfluß der Ablationswolke	36
4.2 Ergebnisse der Simulationsrechnungen	37
4.2.1 Parameter für die Simulation des Abtrags von Polyimid	37
4.2.2 Berechnungsergebnisse für den Abtrag von Polyimid.....	39
4.2.3 Simulation des Primerabtrags.....	41
4.3 Zusammenfassung	42
5. Versuchstechnik	43
5.1 Prinzipieller Verfahrensablauf zur Strukturierung von Feinstleitorschaltungen	43
5.2 Aufbau des Excimerlaser-Systems.....	44
5.2.1 Excimerlaser-Strahlquelle	46

5.2.1.1	Leistungsdaten / Charakteristika des eingesetzten Lasers	46
5.2.1.2	Laserimpulsverhalten	47
5.2.2	Optischer Aufbau	48
5.2.2.1	Strahlhomogenisierung	49
5.2.2.2	Maskenabbildung	51
5.3	Versuchsaufbau zur chemisch-reduktiven Metallisierung	53
5.4	Basismaterial – Polyimidfolie	56
5.5	Prüfmethodik	58
5.5.1	Haftfestigkeitsmessungen der aufgetragenen Schichten	58
5.5.2	Emissionsspektroskopische Charakterisierung des Laserplasmas	60
5.5.3	Hochgeschwindigkeitskamerauntersuchungen zur Ausbreitung des Ablationsplasmas	64
6.	Experimentelle Untersuchungen	65
6.1	Untersuchungen zum Schichtaufbau	65
6.2	Transmissionsverhalten des Primers bei 248 nm Wellenlänge	68
6.3	Bestimmung des technologischen Arbeitsfensters	68
6.4	Ausgeführte flexible Feinstleiterschaltung	73
6.5	Einflüsse einzelner Prozessschritte auf das Eigenschaftsbild der Feinstleiterschaltung	76
6.5.1	Eigenschaftsbeeinflussung des Polyimids durch Laserstrahlung	76
6.5.2	Haftfestigkeit und Schichtdicke des Primers	80
6.5.3	Laser – Ablationsvorgang	84
6.5.3.1	Untersuchungen zu Ablationsniederschlägen/Verunreinigungen	84
6.5.3.2	Shielding-Effekt	87
6.5.4	Trocknungs- und Spülvorgänge	89
6.5.4.1	Verbesserung der mechanischen Kennwerte der Polyimidfolie	89
6.5.4.2	Einfluß auf die Haftfestigkeit der Metallisierung	92
6.6	Physikalische Untersuchungen zur Optimierung der Technologie	94
6.6.1	Emissionsspektroskopische Charakterisierung des Laserplasmas	94
6.6.1.1	Emissionsspektren	95
6.6.1.2	Fluenzabhängigkeit	98
6.6.1.3	Einzelschußspektren	99
6.6.1.4	Dynamik in der Ablationsplume	99
6.6.1.5	Zusammenfassende Diskussion	105
6.6.2	Ausbreitung des Ablationsplasmas	106
6.6.3	Einflußgrößen auf den Ablationsniederschlag	108
6.6.3.1	Lage der optischen Bildebene zur Folienoberfläche	109
6.6.3.2	Mittlere Energiedichte	110
6.6.3.3	Umgebungsdruck	111
6.6.3.4	Unterschiedliche Gase	113
7.	Zusammenfassung	117
8.	Literatur	119

1. Einleitung

Der Markt der oberflächenmontierbaren Bauelemente (Surface Mounted Device, SMD-Technik) hat sich in der Fertigung von elektronischen Baugruppen und Geräten stürmisch entwickelt. Schon im Jahre 1998 wurden ca. 70% aller Bauelemente in Oberflächenmontagetechniken mit dem Schaltungsträger verbunden.

Entwicklungen von hochintegrierten Chips mit Anschluß-Rastermaßen von 0,3 mm (Super-Fine-Pitch) und Anschlußzahlen bis zu 344 befinden sich schon heute in der Serienproduktion im Einsatz [21].

Ein neuartiges Prinzip der Ankontaktierung von Chips (Chip-Size-Packaging) ermöglicht bereits heute eine Platzerparnis von bis zu 85% im Vergleich zu konventionellen Chip-Entflechtungs- und Verpackungstechniken. Die hierfür benötigten flexiblen Zwischenverdrahtungsträger verlangen Leiterbahn- und Isolationskanalaufösungen von ca. 10µm bis 20µm. Für das Jahr 2000 wird prognostiziert, daß der Anteil der mit solchen Verfahren direkt montierten Chips bei 20% der Gesamtstückzahl liegen wird (in 1998 8%) [29].

Ausgehend vom anhaltenden Trend zu immer kleineren mikroelektronischen Produkten (beispielsweise in der Telekommunikation, Computer- und Videotechnik), einerseits und vom Trend zu weiter miniaturisierten Chips andererseits müssen zwingend auch Technologien für Leiterplatten und Verdrahtungsträger mit erhöhter Packungsdichte entwickelt werden [30].

Das Konzept des flexiblen Schaltungsträgers ist gegenüber starren Leiterplatten in beengten Bauräumen grundsätzlich vorteilhaft; hier wachsen die Anforderungen an die Feinheit von Leiterbahnen und Isolationskanälen in besonderem Maße.

Auf diesem Wege zur Feinstleiteteknik stoßen konventionelle Strukturierungsverfahren fertigungstechnisch zunehmend an ihre Grenzen. Strukturauflösungsprobleme, sobald Leiterbahn- und Isolationskanalabstände von 80 µm unterschritten werden, hohe Ausschußquoten und ernstzunehmende Umweltprobleme stellen sich als schwerwiegende Nachteile dar.

Zur Erfüllung der gesteckten Ziele werden laserunterstützten Strukturierungstechnologien in Verbindung mit additiven Metallisierungsverfahren große Chancen zugesprochen, nicht zuletzt auf Grund von hoher Umweltfreundlichkeit dieses technologischen Konzeptes. Die Entwicklung der dafür geeigneten UV-Excimerlaser sowie der additiven Metallisierung haben in den letzten Jahren starke Fortschritte gemacht.

Vor diesem Hintergrund hat die vorliegende Arbeit das Ziel, einen Beitrag zur Realisierung von Feinstleiterstrukturen auf flexiblen Basismaterialien mittels Excimerlaser zu leisten und damit aktiv zur Miniaturisierung von mikroelektronischen Produkten beizutragen.

7. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit sind einerseits die wissenschaftlichen Grundlagen für ein Fertigungsverfahren erarbeitet worden, andererseits stellen die experimentellen Untersuchungen sicher, diese innovative Technologie für die Herstellung von flexiblen Feinstleiterelementen innerhalb der industriellen Serienproduktion nutzen zu können. Hierbei wird die Einsatzmöglichkeit von Excimerlasern im Zusammenhang mit einer neuartigen Technologie zur additiven Erzeugung von Feinstleiterstrukturen auf flexiblen Schaltungsträgern untersucht.

Ein ursprünglich für die Grobstrukturierung von Leiterplatten mittels Siebdrucktechnik entwickelter Haftprimer wird zunächst vollflächig auf eine Polyimidfolie aufgetragen und dann mit einer Auflösung kleiner 20 µm mittels Excimerlaser abgetragen und damit strukturiert.

Dieser Arbeit liegt die Aufgabenstellung zugrunde, diese neue Verfahrensidee zur Herstellung flexibler Feinstleiterelemente umfassend auf die Tauglichkeit für den industriellen Großeinsatz zu untersuchen.

Zunächst wird der Stand der Technik hinsichtlich der Verfahrenselemente „Lasergestützte Strukturierung“ und „reduktive Metallisierung“ recherchiert und bewertet. Alternative Ansätze zur Schaltungsherstellung werden dargestellt. Teilweise werden ergänzende Messungen zum Entwicklungsstand des Excimerlasers oder zur Charakterisierung des Materials Polyimid in der Elektronik und zu den Eigenschaften von Metallisierungsbädern durchgeführt.

Für den experimentellen Kern der Arbeit wird eine Excimerlaser-Anlage aufgebaut und eingemessen. In Reihenuntersuchungen werden dann die grundlegenden Arbeitsparameter wie Energiedichte und Pulsanzahl des Laserstrahls optimiert und festgelegt. Mit diesen Einstellungen wird ein hochauflösender und sehr konturenscharfer Primerabtrag zur Schaltungsstrukturierung möglich.

Die Haftfestigkeit der Metallisierung, die Beeinträchtigung und Wiederherstellung wesentlicher Folieneigenschaften nach der erforderlichen Behandlung im alkalischen Kupferbad sind weitere Schwerpunkte der experimentellen Arbeit. Im Ergebnis wird ein Metallisierungs-, Spül- und Trocknungsprozeß vorgestellt, der die Erfüllung der einschlägigen Normvorgaben für elektronische Schaltungen sichert. Durch spektroskopische wie auch extrem schnelle bildaufzeichnende Untersuchungen wird schließlich der eigentliche Wirkprozess des Lasers dokumentiert und analysiert.

Neben einem theoretischen Beitrag zum tieferen physikalischen Verständnis des eigentlichen Ablationsprozesses werden hier wichtige unmittelbar verwertbare Erkenntnisse über Entstehung, Auswurf und auch Reduzierung der Ablationspartikel gewonnen. Unerwünschte Metallabscheidungen können so vermieden werden.