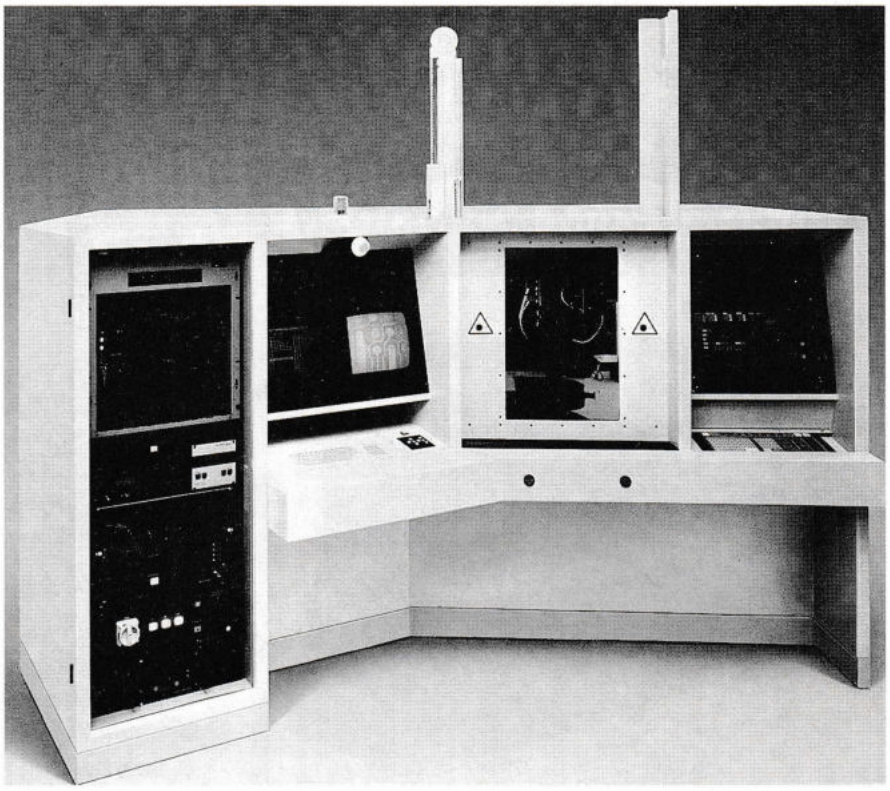
Dipl.Ing. Walter Kraus;
Diepl.-Wirtsch.-Ing. Thomas Nie

Der Laser macht Dampf

Laser-CVD für die Leiterplattenindustrie



Die Reparatur von Mehrschichtkeramikträgern in der Leiterplattenindustrie ist oft recht schwierig. Durch Prozeßfehler oder kleine Verunreinigungen entstehen Unterbrechungen auf den winzigen Leiterbahnen aus Gold. Mit Hilfe eines Laser-CVD-Verfahrens können diese Bauteile instand gesetzt werden.

CVD steht für Chemical Vapor Deposition, also chemische Dampfabscheidung. Dabei wird eine Kammer bis zu einem bestimmten Druck evakuiert und anschließend mit einer gasförmigen Verbindung wieder gefüllt. Diese metallorganische Verbindung enthält – zunächst molekular gebunden – ein Metallatom wie z.B. Gold, Palladium, etc., welches bei Einwirkung von großer Hitze freigesetzt wird. Es entsteht sozusagen Metalldampf. Man unterscheidet zwei Abscheideprinzipien:

Gezielte Bedampfung per Laserstrahl

- Den fotolytischen Prozeß, bei dem die Moleküle direkt durch Absorption der Strahlung zersetzt werden und
- Den pyrolytischen Prozeß, bei dem die zu bedampfende Stelle auf dem Material erhitzt wird und diese somit indirekt die Zersetzung verursacht.

Beim Laser-CVD-Verfahren wird die notwendige Hitze durch einen in der Kammer erzeugten Laserfokus produziert. Um diesen Fokus herum entsteht eine kleine »Metallwolke«. Bringt man nun die Metallwolke in Kontakt mit irgendwelchen Materialien, so entsteht auf diesen ein Niederschlag, d.h., das Material wurde gezielt bedampft.

Im Gegensatz zum Bedampfen durch Zerstäubung von Material hat das Laser-CVD den Vorteil, daß gezielt nur an der Stelle Material aufgetragen wird, an der der Laserstrahl auftrifft. Dadurch bleibt die Kammer sauberer und das Verfahren ist sparsamer. Somit ist auch der Einsatz von teuren Edelmetallen wirtschaftlich und problemlos. Weiterhin von großem Vorteil ist die Möglichkeit durch einfachen Wechsel des Prozeßgases unterschiedliche Metallschichten in rascher Folge übereinander aufdampfen zu können.

Die vorgestellte Anlage wurde nach Spezifikationen eines namhaften Computerherstellers konzipiert und gefertigt. In diesem speziellen Fall wird das Laser-CVD-Verfahren zur Reparatur von Mehrschichtkeramikträgern eingesetzt. Im Gegensatz zu den Keramikschichten, wird die oberste und damit letzte Schicht in Dünnfilmtechnik hergestellt. Durch auftretende Prozeßfehler oder auch kleinste Verunreinigungen während der einzelnen Produktionsschritte entstehen in den winzigen Leiterzügen aus Gold Unterbrechungen. Die über Wochen bis zu diesem Zeitpunkt entstandene Wertschöpfung eines Mehrschichtkeramikträgers ist so hoch, daß sich die Investition dieser Reparaturanlage in kürzester Zeit amortisiert. Ziel ist es also, die Unterbrechungen der Goldleiterbahnen durch den Einsatz von Laser-CVD zu beheben. Dabei sind zwei wichtige Forderungen zu berücksichtigen:

- Die aufgetragenen Leiterzüge müssen eine gleichmäßige Breite und Höhe aufweisen.
- Der elektrische Leitungswiderstand des aufgetragenen Leiterzugs muß dem des Originalleiterzuges entsprechen.

Um die genannten Forderungen zu erfüllen, muß das Open-Repair-System eine Vielzahl von Bedingungen erfüllen. Eine der wichtigsten ist der Einsatz

eines CW-Lasers mit einer Wellenlänge von rund 550 nm (grün), bei der der fotolytische Prozeß gewährleistet ist. Weiterhin ist ein stufenloses Einstellen der Laserleistung nötig. Zudem muß die Erzeugung eines Laserfokusses mit einem Durchmesserbereich von drei bis sieben µm gewährleistet sein. Wichtig ist auch die Erzeugung einer gleichmäßigen Relativbewegung zwischen Substrat und Fokus mit Geschwindigkeiten von 2 µm/sec bis hin zu maximal 200 mm/sec.

Bedingung: CW-Laser mit 550 nm Wellenlänge

Während diese vier Bedingungen Grundvoraussetzung für den CVD-Prozeß sind, müssen für die Gesamtfunktion der Anlage noch folgende Forderungen erfüllt sein: Die Steuerung des gesamten Prozesses muß vollautomatisch sein. Eine Beobachtungsmöglichkeit des Substrats bei der Justage und während des CVD-Prozesses muß über Kamera und Monitor gewährleistet werden. Wichtig ist die Sicherstellung der an der Vakuumkammer notwendigen Funktionen wie:

- Evakuieren
- Messen der unterschiedlichen Kammerdrücke während des Prozesses
- Füllen der Kammer mit Prozeßgas
- Spülen der Kammer mit Stickstoff nach dem Aufdampfprozeß

Um die äußeren Voraussetzungen für die hohe Präzision einer solchen Anlage zu erfüllen, wird in eine stabile Gestellkonstruktion aus Stahlprofilen knapp 1000 kg Granit integriert.

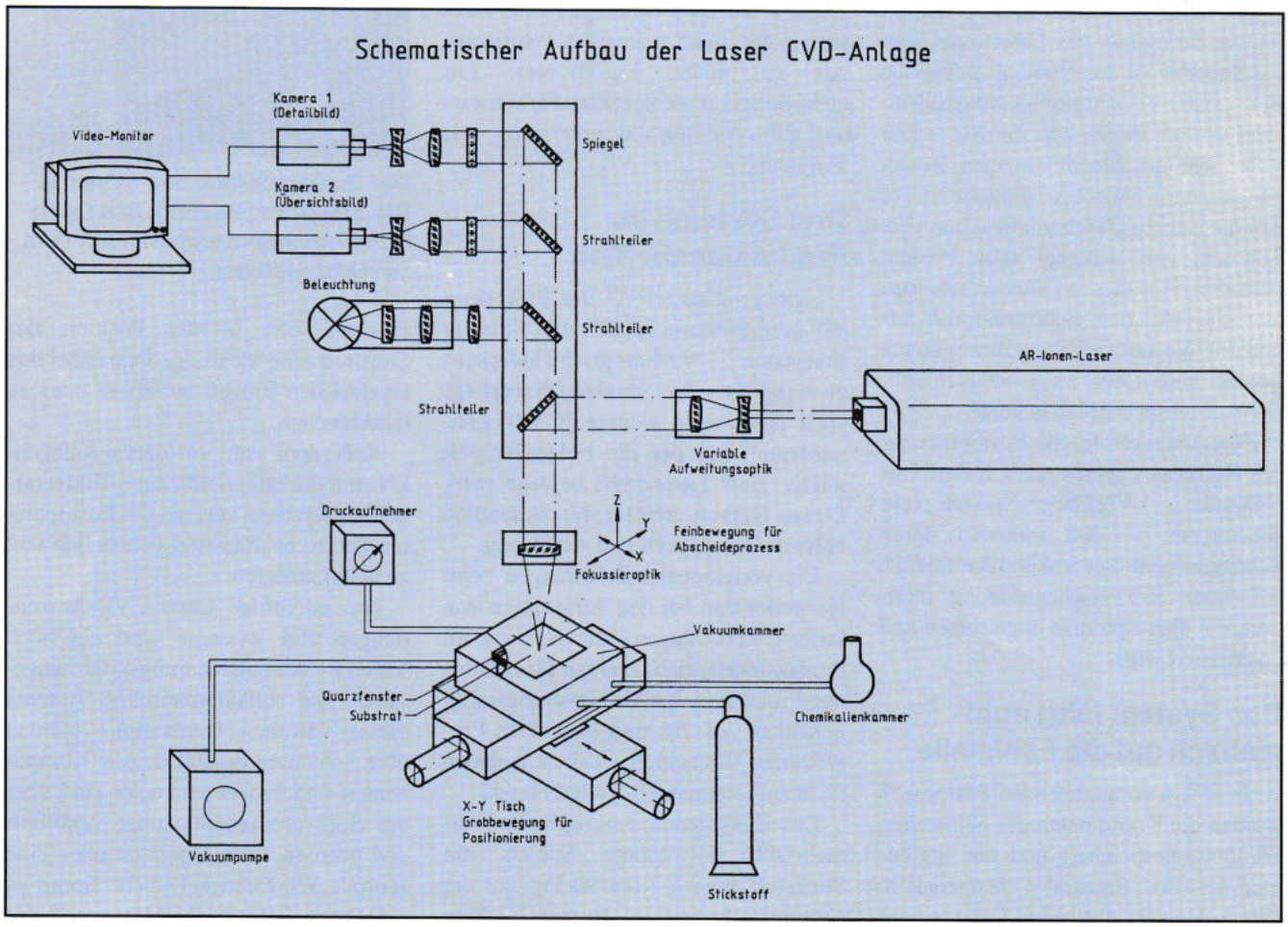
Alle optischen und bewegten mechanischen Komponenten sind mit dem Granit verschraubt. Damit wird optimale Dämpfung und relative Unempfindlichkeit gegen Änderung der Umgebungstemperatur erreicht. Sowohl der gesamte Granitaufbau als auch das Maschinengestell stehen zusätzlich auf Schwingungsdämpfern. Diese verhindern störende Vibrationen beim Verfahren der Positioniertische und Erschütterungen, die über den Fußboden von äußeren Störquellen auftreten können.

Der Laser ist ein Argon-Ionen-Laser mit einer Maximalleistung von fünf Watt, der auf einen Single-Line-Betrieb bei der Wellenlänge 514 nm eingestellt ist. Bei dieser Wellenlänge hat der Laser den besten Wirkungsgrad und erreicht eine Leistung von zwei Watt, während die fünf Watt nur im All-Line-Betrieb erreichbar sind.

Gestellkonstruktion aus Granit gefertigt

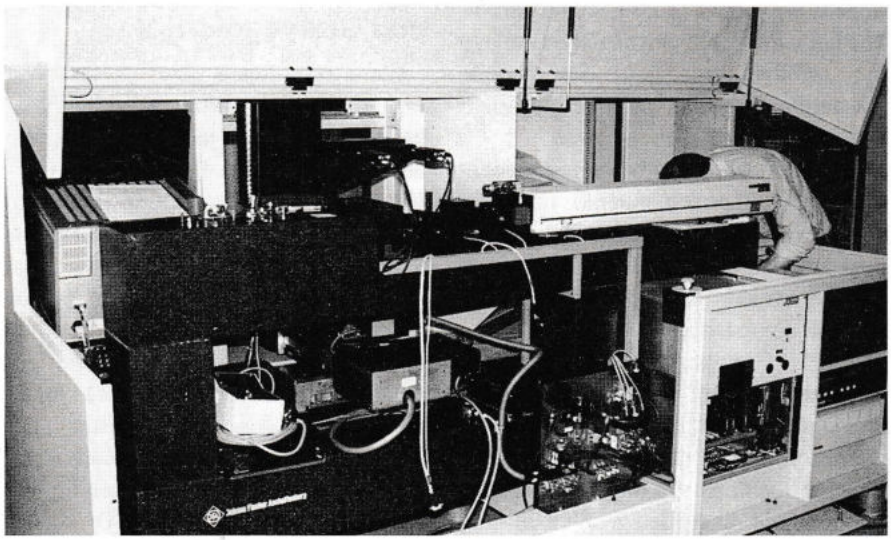
Der Argon-Ionen-Laser bietet zwar insgesamt einen sehr schlechten Wirkungsgrad, besitzt jedoch eine extrem hohe Stabilität und die geforderte CW-Charakteristik. Der Laser muß im gesamten Leistungsbereich stabil arbeiten.

Um den geforderten kleinen Fokusdurchmesser (drei bis sieben µm) zu erreichen, wird ein kurzbrennweitiges Objektiv eingesetzt. Weil dieses Objektiv durch das Quarzfenster der Vakuumkammer hindurch »arbeiten« muß, erweist es sich als notwendig, die Korrektur der Optik an die Dicke des Quarzglasfensters anzupassen. Der Abstand des Fokus zum zu beschichteten Material ist ein sehr wichtiger Prozeßparameter, deshalb wurde die



Schematischer Aufbau einer Laser-CVD-Anlage zur Leiterplattenreparatur. **Skizze: Baasel Lasertech**

Optik mit einem Autofokussystem ausgestattet, welches in »Zusammenarbeit« mit einer Z-Achse und dazugehöriger Steuerung einen einmal als optimal ermittelten Arbeitsabstand wiederholgenau anfährt.



Das Laser-CVD-System während der Montage. Es geht in die Elektronikindustrie. Bilder: Baasel Lasertech

Ein völlig neuartiges Prinzip kommt für die Bewegung des Laserfokus über das Substrat zur Anwendung: Der große Bereich der Verfahrgeschwindigkeiten - zwei µm/sec bis zu 200 mm/sec – läßt sich nicht mit einem einzigen Bewegungssystem abdecken. Zudem ist bei den langsamen Geschwindigkeiten eine Toleranz von maximal zehn Prozent gefordert. Aus diesen Gründen scheiden hier die üblichen Schrittmotoren aus und für die notwendigen Bewegungen werden stattdessen zwei unterschiedliche Antriebsprinzipien genutzt:

Zum einen erfolgt die Positionierung des Substrates relativ zum Laserfokus (schnelle Verfahrgeschwindigkeit: drei mm/sec – 200 mm/sec) durch Schrittmotoren: Die Vakuumkammer ist auf einer X-Y-Tischanordnung montiert, die über Spindeln angetrieben und positioniert wird.

Das System fährt automatisch auf die Fehlstelle

In einem vorangehenden Prüfprozeß werden die Koordinaten der Fehlstellen ermittelt, gespeichert und die Seriennummer des Substrates festgehalten. Die Anlage ist über eine Datenleitung mit einem PC-Netz verbunden und erhält für jedes Substrat die Koordinaten der Fehlstellen, die über den Prozeßrechner an die Steuerung der X-Y-Tische übergeben werden. Diese fahren dadurch automatisch die zu reparierenden Stellen an. Die eventuell durch Lagetoleranzen notwendige Feinkorrektur erfolgt durch manuelles Positionieren mit einer Jog-Tastatur. Ein elektronisch eingeblendetes Fadenkreuz auf dem Monitorbild unterstützt den Vorgang.

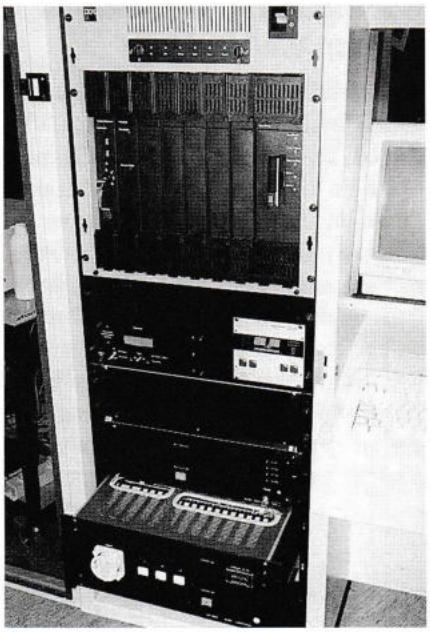
Drei Systeme im Produktionsbetrieb

Zum zweiten erfolgt die Bewegung des Laserfokusses relativ zum Substrat (langsame Verfahrgeschwindigkeit: zwei µm/sec – drei mm/sec). Sie erfolgt auch durch eine weitere X-Y-Tischanordnung, mit der die Fokussieroptik relativ zum Laserstrahl bewegt wird. Dieses System arbeitet mit wesentlich höherer Genauigkeit und Auflösung.

Die vorhandenen Erfahrungen beim Hersteller und bei den Anwendern von Laser-CVD-Anlagen – drei Systeme im Produktionsbetrieb – zeigen für zukünftige Projekte einige Verbesserungsmöglichkeiten auf. So sind die reinen Prozeßzeiten, das heißt die Zeiten, in denen nicht aufgetragen wird, relativ hoch.

Das Evakuieren, Absaugen und das mehrfach notwendige Spülen mit Stickstoff nimmt zirka 70 Prozent der Gesamtzykluszeit in Anspruch. Eine deutliche Reduzierung dieser Zeiten ist durch ein Zwei-beziehungsweise Mehrkammernsystem möglich, bei dem an einer Kammer abgeschieden wird, während an den anderen Pumpbeziehungsweise Spülvorgänge ablaufen.

Um einen sehr wichtigen Prozeßparamter – nämlich den Fokusdurchmesser – variieren zu können, ist eine kontinuierliche Verstellung vorgesehen. Zur Kontrolle dieser Variablen wird neben der Vakuumkammer ein Fokusdurchmessermeßgerät installiert. Es



Der Steuerschrank des Systems. Die Steuerungstechnik des Open-Repair-Systems kommt auch vom Systemhersteller.

erlaubt exakt in der Position des Substrats eine Messung, ohne dabei den eigentlichen Prozeß zu stören oder zu unterbrechen.

Außerdem sieht ein neues Anlagenkonzept die Integration eines Bildverarbeitungssystems vor, um das Positionieren der zu bearbeiteten Fehlstellen voll zu automatisieren.

Für zukünftige Laser-CVD-Anwendungen und -systeme wird ein noch höherer Automatisierungsgrad angestrebt. Die vollautomatischen Systeme dieser »zweiten Generation« werden über Schleusen beschickt. Alle Komponenten und Prozeßparameter sind über die Software untereinander verknüpft und werden vom Operator über eine zentrale Workstation bedient. Somit ist eine hohe Prozeßsicherheit gewährleistet. ◊