

15. Kapitel / Arnold Wiemers

Drucke und Lacke auf Leiterplatten

Wenn Leiterplatten bunt werden...

Mehr als nur ein Farbtupfer

Selten begegnet man heute noch Leiterplatten, die ohne jeden Lackaufdruck sind. Und wenn doch, dann handelt es sich meistens um Baugruppen aus dem Hochfrequenzbereich, die zudem durch eine eigenwillige Leiterbildausprägung auf sich aufmerksam machen.

Die klassische Leiterplatte ist seit Ende der 80er Jahre des letzten Jahrtausends praktisch immer wenigstens mit Lötstopplack abgedeckt. Eine aufgedruckte Bestückungskennzeichnung kam mit den Jahren standardseitig dazu. Die doppelseitige Bestückung mit bedrahteten Bauteilen, heute "THT-Technologie" genannt, hat den Druck von Abziehlack forciert. Für den InCircuitTest (~ ICT) wurde unterstützend ein Viadruck eingeführt. Der Druck von Carbon revolutionierte die Fertigung einfacher Leiterplatten. Später kam noch der Heatsinkdruck dazu, um die Entwärmung einer Baugruppe zu fördern.

Wenn die Konstrukteure der Leiterplatten und Baugruppen alle momentan zur Auswahl stehenden Drucke für ihre Projekte vorsehen, dann stellen sie den Leiterplattenhersteller nicht nur vor logistische Probleme.

Nicht immer sind die chemischen Wechselwirkungen zwischen den aufgedruckten Substraten bekannt und harmlos. Und mit der Aufbringung eines Lackes während der Leiterplattenproduktion ist es ja auch nicht getan.

Die nachfolgende Bestückung der Baugruppe erfordert ein Fluxen der Leiterplattenoberfläche und es werden (...gegebenenfalls) noch mal Lösungsmittel zur Reinigung der Baugruppe eingesetzt. Durch das Löten der Bauteile steht zudem genügend Wärmeenergie für die Provokation ungewollter chemischer Reaktionen zur Verfügung.

Die zusätzlichen Drucke von Substraten auf Leiterplatten sind deshalb keinesfalls vernachlässigbar.

Lötstopplack

Lötstopplack wurde in den 1970er Jahren eingeführt, um beim Wellenlöten Verschleppungen von Lot vom bedrahteten Bauteilpin zum benachbarten Bauteilpin oder zur benachbarten Leiterbahn oder von Leiterbahn zu Leiterbahn zu vermeiden. Das funktionale Substrat war/ist ein 2-Komponenten-Epoxydharz. Die Aufbringung auf die Leiterplatte erfolgt/e im Siebdruck.

Der Umbruch in der Bauteiltechnologie gegen Anfang der 90er Jahre mit massiver Einbindung oberflächenmontierter Bauteile (i.e. SMT = **S**urface**M**ounted**T**echnology) hat dazu geführt, daß die Lötstopplackbeschichtung einer Leiterplatte vom Siebdruck auf ein Fotodruckverfahren umgestellt wurde.

Die fototechnische Belichtung eines Lackes mit einem Film hat erheblich geringere Toleranz, als der Siebdruck, ist im Ergebnis auf der Leiterplatte kontrollierter ausgeprägt und läßt sich in der Produktionslogistik sicherer und effektiver handhaben. Nur mit fotostrukturierbaren Laminaten lassen sich SMD-Bauteile mit Anschlußrastern von 300µm bis 400µm auf Padflächen von 200µm Breite zuverlässig löten, ohne daß das Risiko einer schlechten Benetzbarkeit der Lötflächen in Kauf genommen

werden muß. Die Option, Fotolack mit einem Laser belichten (~ polymerisieren) zu können, eröffnet zudem einige Perspektiven für die Zukunft.

Die Forderung der SMD-Technologie nach planen und wohldefiniert beschichteten Lötflächen hat zu den heute üblichen chemisch erzeugten Endoberflächen auf Leiterplatten geführt. Typische Vertreter sind Chemisch Gold (~ ENIG = "Electroless Nickel Immersion Gold"), Chemisch Zinn und Chemisch Silber (~ ASIG = "Autocatalytic Silver Immersion Gold").

Ohne Lötstoplack als Resist sind diese Oberflächen nicht herstellbar. Der Leiterplattenherstellerprozessiert zuerst den Lötstoplack, der letztlich dann nur noch die Lötflächen freiläßt. Dementsprechend scheidet sich auch nur auf diesen Flächen die Endoberfläche ab, während alle übrigen Leiterbildstrukturen unter der Lackschicht in Kupfer verbleiben (Bild 15-1).

Ein deutlicher Vorteil dieser Vorgehensweise ist die optimale Signalübertragung auf/in der Kupferleiterbahn.

Spätestens zu diesem Zeitpunkt wird klar, daß die Aufbringung von Lötstoplack selbstverständlich einen Einfluß auf die physikalische Funktion der Baugruppe hat. Kriechstrom- und Spannungsfestigkeit erhöhen sich bei Leiterplatten, die mit Lötstoplack beschichtet sind. Die Wärmeabstrahlung von Baugruppen mit dunklem und mattem Lötstoplack ist intensiver, als bei hellen und glatten Lacken.

Die Signallaufzeit auf mit Lack

beschichteten Leiterbahnen wird verlangsamt, weil die in Lack eingebettete Leiterbahn in ihrer Umgebung ein höheres Epsilon-R sieht, als eine unbeschichtete Leiterbahn.

Mit der Orientierung der Via- und Leiterbildgeometrien hin zur Mikrofeinleitertechnik (~ MFT) wird sogar erheblicher Einfluß auf das CAD-Layout genommen. Weil fototechnisch strukturierter Lötstoplack üblicherweise aufgegossen oder aufgesprüht wird, werden Vias mit einem Enddurchmesser von < 300µm nicht mehr vollständig verfüllt. Leider verschließt die Lackabdeckung die Vias auch nicht. Bedingt durch Temperaturwechsel und Vibration reißen die Abdeckungen ein. Feuchtigkeit, kristalline Rückstände aus der Leiterplatten- und Baugruppenproduktion sowie Kondensate aus der Einsatzumgebung können mittelfristig die Hülsen korrodieren und zum Ausfall der Baugruppe/des Gerätes/der Maschine/der Anlage führen.

Abhilfe ist da vor Allem durch ein komplexes CAD-Layout möglich. Wohlüberlegte Padstacks schaffen Abhilfe, führen aber auch zu einer hohen Variantenvielfalt an Routingstrategien.

Lötstoplack muß nicht immer grün sein. Schwarz, rot, blau, braun, weiß und gelb sind akzeptable Alternativen. Bedingt durch den Verarbeitungsprozeß beim Leiterplattenhersteller sind jedoch an den Maschinen die Lackbehälter nur mit erheblichem Aufwand zu reinigen und zu tauschen, so daß grün vorerst die bevorzugte Farbvariante bleibt.



Bild 15-1 Anforderungen an Lötstoplack auf Leiterplatten

Bestückungsdruck

Auf der Leiterplatte kann der Bestückungsdruck die Position von Bauteilen kennzeichnen. Bestückungsdruck ist ein thermisch härtender 2-Komponenten-Epoxyharzlack, vergleichbar dem Lötstoplack. Die Aufbringung erfolgt im klassischen Siebdruckverfahren oder in einem neueren Verfahren mit einem Inkjet-Printer.

Die Bauteilkennzeichnung hat vor hauptsächlich informative Aufgaben. Während der Erstellung des CAD-Designs gibt sie Auskunft über den Bauteiltyp und über die Orientierung des Bauteils zu den anderen Bauteilen der elektronischen Schaltung (Bild 15-2).

Über den Bestückungsdruck können gesperrte Bereiche auf der Leiterplatte markiert werden. Diverse Warn- und Sicherheitshinweise (...50V,...CMOS-Bauteile,..etc), die für die Inbetriebnahme und die Wartung der jeweiligen Baugruppe von Bedeutung sind, können aufgedruckt werden.

Sinnvoll sind die Markierung von Bauteilpolaritäten und die Positionierung von Jumpers sowie Auskünfte zum Produkt (...der Name der Leiterplatte, Revisionsstand) und zum Hersteller der Leiterplatten (...Logo, Zeitpunkt der Produktion).

Bestückungsdruck kann auf alle Leiterplattentypen mit allen gängigen Oberflächen gedruckt werden. Der Druck kann auf beide Leiterplattenseiten aufgebracht werden. Standardfarben sind gelb und weiß.

Der Bestückungsdruck sollte in der Datenbank des CAD-Systems so angelegt sein, daß Polaritäten und Bauteilnamen nach der Bestückung der Leiterplatte nicht abgedeckt werden und somit auch später noch lesbar sind.

Die dielektrischen Eigenschaften des Bestückungsdruckes sind vergleichbar mit den dielektrischen Eigenschaften des Lötstoplackes. Bestückungsdruck auf Leiterbahnen verändert die Impedanz und damit die Signallaufzeit.

Bedauerlicherweise muß bei dichtbestückten SMD-Layouts oft noch zusätzlich ein Bestückungsplan am CAD-System erstellt werden, damit eine zweifelsfreie und aussagekräftige Dokumentation für qualitätssichernde Maßnahmen vor, während und nach der Baugruppenproduktion vorliegt.

Abziehlack

Abziehlack ist ein thermisch härtender 1-Komponenten-Lack, der im Siebdruckverfahren aufgebracht wird. Der Lack ist dickflüssig und wird daher mit einem Sieb mit großen Maschenöffnungen gedruckt. Die darstellbaren Strukturen sind deshalb recht grob.

Die Aufgabe des Abziehlackes ist es, Bohrungen und freiliegende metallische Flächen abzudecken, die beim Wellenlöten *nicht* mit Lot verfüllt oder benetzt werden dürfen.

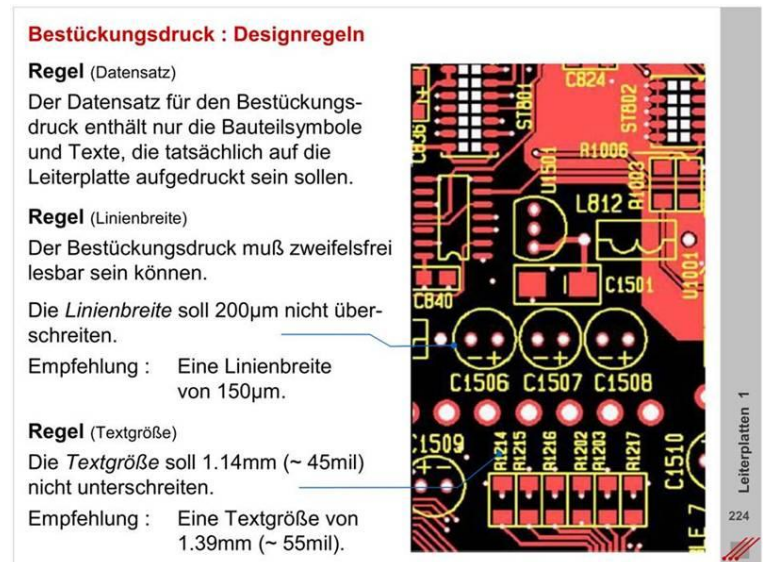


Bild 15-2 Definitionen für den Bestückungsdruck

Diese Anforderung tritt bei Baugruppen auf, die *doppelseitig* mit THT-Bauteilen bestückt werden. Nach dem ersten Wellenlötgang würden die offenen Bohrlöcher der noch unbestückten Bauteile Lot aufnehmen. Das Bestücken dieser Bauteile für den zweiten Lötvorgang wäre dann nicht möglich.

Nach dem ersten Wellenlöten kann der Abziehlack händisch abgezogen werden. Bei mehr als einem Lötvorgang wird der Lack jedoch durch das Ausgasen der Weichmacher verspröden und dadurch an Elastizität deutlich verlieren.

Die Konstruktion des Abziehlacks erfolgt am CAD-System praktisch immer von Hand. In einem Service-layer werden die Bereiche gezeichnet, die später auf der Leiterplatte mit Abziehlack überdeckt werden sollen (Bild 15-3).

Zur besseren Orientierung sollten währenddessen Befestigungspositionen oder Flächenbereiche (... z.B. Goldstecker) am CAD-Bildschirm immer im Hintergrund angezeigt werden.

Der Druck von Abziehlack sollte nur für eine Seite der Baugruppe vorgesehen werden.

Jede übliche Leiterplattenoberfläche kann mit Abziehlack bedruckt werden, wenn die zu bedruckende Fläche mechanisch stabil genug ist.

Viadruck

Der Viadruck (...auch "Viafüller" genannt) kann auf einer Leiterplatte mehrere Aufgaben übernehmen. Weil die offenen Löcher der Vias durch den Viadruck mit einem Substrat verschlossen werden, können die (...späteren) Baugruppen für den InCircuitTest mit Vakuum adaptiert werden.

Die hohe Bestückungsdichte moderner SMD-Baugruppen führt unweigerlich zu stark eingeschränkten Freiräumen bei der Entflechtung des Layouts am CAD-System. Oft werden dann die Vias für die Verdrahtung der Signale zwischen den elektronischen Komponenten so dicht an die Lötflächen herangeführt, daß zwischen Via und Lötfläche kein Lötstoplacksteg mehr vorhanden ist.

Das unweigerliche Abfließen von Lotpaste in die Bohrhülse kann dann zu einer massiven Vorschädigung der betroffenen Lötstelle führen, weil sich dadurch das Lotvolumen direkt am Pin des Bauteils dramatisch reduzieren kann.

Ein Füllen der Vias verringert dieses Risiko. Vias können mit einem 1-Komponentenlack im Siebdruck verschlossen werden. Alternativ kann auch ein 2-Komponentenlack eingesetzt werden, der fototechnisch und UV-härtend prozessiert wird.

Der Viadruck verhindert das Eindringen flüssiger und/oder kristalliner Rückstände während der Leiterplatten- und Baugruppenproduktion.

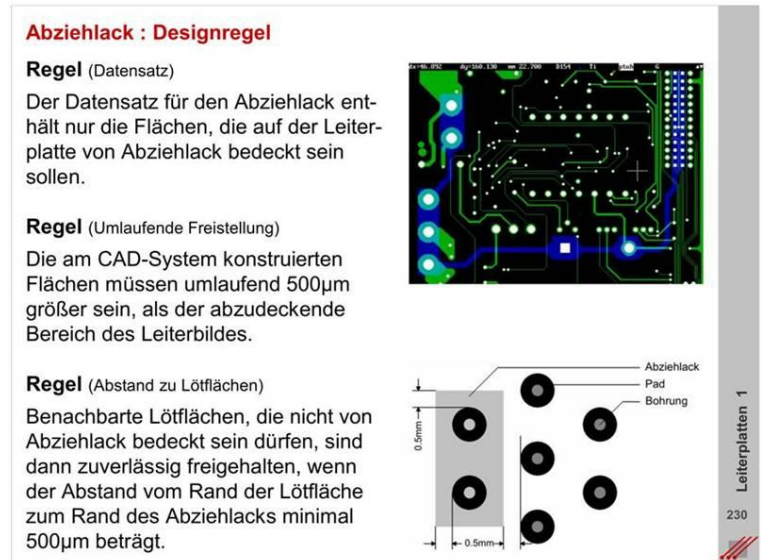


Bild 15-3 Die Konstruktion des Abziehlacks

Mit Blick auf den Einsatzbereich der Baugruppe wird auch die Aufnahme von Kondensat vermieden (Bild 15-4).

Ein doppelseitiger Viadruck ist nicht empfehlenswert, weil es beim Druck auf die zweite Seite zu Lufteinschlüssen in den Viahülsen kommt. Beim Löten der Baugruppe kann dann der entstehende Gasdruck zu einer lokalen Schädigung der Hülse führen.

Der einseitige Viadruck soll die Hülse um bis zu 75% verschließen. Wenn das für die langfristig zuverlässige Funktion einer Baugruppe nicht ausreichend ist, dann kann an Stelle des Viadrucks nur eine andere Technologie ausgeführt werden, zum Beispiel das Pluggen von Vias mit Epoxydharz oder Silberleitpaste.



Bild 15-4 Viadruck auf CPU-Boards

Heatsinkdruck

Der Bedarf, eine Baugruppe zu entwärmen, nimmt mit der Leistungsfähigkeit elektronischer Baugruppen zu. Mit der Konstruktion von Multilayersystemen muß jedoch auch bedacht werden, daß bei FR4-Materialien der passive Wärmetransfer aus dem Inneren der Leiterplatte nach außen nur schlecht abläuft. Um eine stabile Funktion sicherzustellen, muß die Entwärmung aktiv unterstützt werden.

Das am Einfachsten anzuwendende physikalische Prinzip ist, die Wärme im Inneren aufzunehmen, nach außen zu führen und dort in der Fläche zu verteilen. Der Druck von Heatsinkpaste kann diese Aufgabe leisten, wenn die Leiterplattendicke und der minimale Enddurchmesser der Vias angepaßt sind.

Heatsinkpaste wird immer im Siebdruck auf die Leiterplatte gebracht. Weil die Paste nicht elektrisch leitend ist, kann sie großflächig auf der Leiterplattenoberfläche verteilt werden, vorausgesetzt, die Platzierung der Bauteile läßt das zu.

Die Paste für den Heatsinkdruck ist hochviskos, so daß ein grobes Sieb mit großer Maschenöffnung eingesetzt werden muß.

Auch der Heatsinkdruck ist kein Prozeß, für den am CAD-System eine Layerspezifikation vordefiniert ist. Bei der Anlage von Flächenstrukturen, die mit Lack bedruckt werden sollen, ist ein Abstand von 500µm zu nicht zu bedruckenden Flächen einzuhalten.

Wichtig ist, daß die Wärme aus dem Inneren eines Multilayers herausgeführt wird. Das geht nur, wenn die Paste in die Hülsen der Vias gedruckt wird und diese zu mindestens 50% verfüllt. Üblich sind 75% und natürlich wären 100% ideal.

Die Leiterplattendicke sollte 1.20mm nicht unterschreiten. Bedingt durch die hohe Viskosität der Paste ist ein Verfüllen von BlindVias nicht möglich. Der minimale Enddurchmesser sollte für Durchkontaktierungen nicht unter 300µm liegen, damit die Paste während des Siebdruckes in die Hülse gedrückt werden kann.

Je nach Wärmespreizung fällt die Entwärmung unterschiedlich effektiv aus und muß eventuell durch ergänzende Maßnahmen (...Konvektion, Kontaktabnahme) aktiv unterstützt werden.

Carbondruck

Carbonpaste ist eine elektrisch gut leitende Graphitpaste, die in Siebdrucktechnik aufgebracht wird. Carbon verbessert die Härte mechanisch beanspruchter Kontakte (... Tasten, Schleifer), die direkt von der Leiterplattenoberfläche abgenommen werden.

Carbonpaste kann auf alle metallischen Flächen, auf die Leiterplatte oder direkt auf die Oberfläche des Basismaterials gedruckt werden. Carbon wird in den unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt, um verschiedenste funktionale Eigenschaften für eine Baugruppe zu erlangen.

Wird zwischen den Leiterbahnen auf der Oberfläche der Leiterplatte und dem Carbondruck eine hinreichende Isolation aufgebracht, dann kann die Carbonpaste mit der Funktion eines elektrischen Layers gedruckt werden. Mit dieser Strategie sind einfache elektronische Baugruppen (...Fernbedienungen, Computermäuse, Anzeigeelemente) mit dennoch komplexer Verdrahtung machbar und es kann das Konfektionieren, die Montage und das Löten von Drahtbrücken eingespart werden.

Carbonpaste kann auf die Vias nicht kontaktierter doppelseitiger Leiterplatten gedruckt und mit Vakuum durch die Viabohrung gezogen und ausgehärtet werden. Wenn die Anforderungen an die Anwendung der Baugruppe die Toleranz und die mittlere Qualität dieses Verfahrens zulassen, dann kann der technische Aufwand für das Galvanische Kontaktieren eingespart werden.

Auf hohem Niveau bewegt sich der Carbondruck, der für die Funktion passiver *Embedded Components* genutzt wird. Dabei werden gerechnete Induktivitäten und/oder Widerstände als Carbonstruktur auf die inneren Lagen von Multilayern gedruckt. Durch mechanische Verfahren oder Laserablation ist ein Trimmen der Widerstandswerte möglich. Das elektrophysikalische Verhalten der Baugruppe kann dadurch verbessert werden. Für das CAD-Layout ergeben sich zusätzliche Freiräume auf den Außenlagen, die konventionell für die weitere Bauteilbestückung genutzt werden können.

Am CAD-System muß der Druck von Carbonpaste immer in die Logistik des Layoutens eingebunden werden. Die zu bedruckenden Bereiche müssen in einem eigenen graphischen Layer untergebracht werden.



Bild 15-5 Carbondruck auf den Kontaktflächen einer Leiterplatte

Weil Carbonpaste Strom sehr gut leitet, ist unbedingt ein Design-Rule-Check erforderlich, der sicherstellt, daß nach dem Aufdruck des Carbons auf der Leiterplatte kein Kurzschluß entsteht, respektive, daß keine Unterschreitung von Mindestabständen zwischen benachbarten Strukturen stattfindet (Bild 15-5).

Hinweis

Alle Lacke erfordern einen Trocknungsprozeß. Werden mehrere Lackverfahren eingesetzt, dann geht der Wärmeeintrag beim Trocken immer zu Lasten der Leiterplatte.

Die Wechselwirkung zwischen Lacken und Coatings, die mit der Baugruppenproduktion aufgebracht werden, kann kritisch sein. Bei unbekanntem Kombinationen sollte die Verträglichkeit vorab geprüft werden. Fragen Sie Ihren Leiterplatten- und/oder Baugruppenproduzenten.

