

Laser-Selektivlöten: Beherrscher Prozess für die Automobil-Elektronik



Als Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) kennt man heute ein Phänomen, das normalerweise mit einer Technologie verknüpft ist, die im letzten Jahrhundert entdeckt wurde und in den frühen 1960er Jahren ihre ersten konkreten Anwendungen fand.

In weniger als 50 Jahren wurde sie zur Grundlage für zahlreiche Anwendungen, die heute eine hohe technische Reife erreicht haben und für die kommenden Jahre noch zahlreiche weitere, neue Entwicklungen versprechen.

Der Laser

Vor der Erörterung des Laserlöten wird zunächst kurz die Laser-

technik im Allgemeinen vorgestellt, um die Prozesse des Laserlöten noch leichter zu verstehen. Ganz allgemein lässt sich sagen, dass bei Verwendung geeigneter Materialien und unter Beachtung spezieller Randbedingungen bestimmte physikalische Gesetzmäßigkeiten ausgenutzt werden können, um einen „Laserstrahl“ zu erzeugen, der nichts anderes ist, als eine genau definierte elektromagnetische Welle.

Es handelt sich dabei jedoch nicht um eine allgemeine elektromagnetische Welle, sondern eher um eine Strahlung mit der Eigenschaft, einen „kohärenten“ Fluss - sowohl in räumlicher, als auch in zeitlicher Sicht - zu emittieren. Von diesem „Fluss“ leiten sich zwei wichtige Aspekte des Strahls ab:

- Der Strahl ist „monochromatisch“, besteht also aus einem sehr engen Bereich von Wellenlängen, der, je nach Typ und verwendetem Material, von infrarotem bis zu ultraviolettem Licht angesiedelt sein kann
- Der Strahl ist „kollimiert“, besteht also aus einem Satz paralleler, unidirektionaler Sub-Elemente

Insbesondere die zweite Eigenschaft, die Kollimation, führt zu der Fähigkeit des Lasers, Energie mit einer wesentlich höheren „Dichte“ (Energie je Fläche) transportieren zu können, als herkömmliche Lichtquellen.

Energiequelle für definierte Bereiche

Das heißt, ein Laser kann als Energiequelle betrachtet werden, die fähig ist, ohne direkten Kontakt Energie in kleine und definierte Bereiche eines Zielobjekts einzukoppeln. Über die Auswahl der geeigneten Wellenlänge lässt sich der Laserstrahl für die beteiligten Prozesse und Materialien optimieren, um beste Übertragung sowie maximalen Energieeintrag zu erreichen.

Der Laserstrahl kann, ausgehend von der Quelle, über Glasfasern oder ein System von Spiegeln gezielt auf ein Ziel ausgerichtet werden. Die Spiegel können starr oder beweglich angeordnet werden. Sogenannte Spiegelgalvanometer können den Strahl, falls erforder-

lich, präzise auf sein Ziel lenken. Ein wesentliches Element der Übertragungskette des Lasers ist die Optik, deren Aufgabe es ist, den Strahl auf den gewünschten Punkt und in der gewünschten Weise zu fokussieren.

Technologien für die Produktion elektronischer Baugruppen

Bei der Entwicklung von Technologien für elektronische Bauteile und Baugruppen zeigte sich im Verlauf der letzten 20 Jahre ein kontinuierlicher Rückgang bei bedrahteten Bauteilen (THTs) zu Gunsten von SMT-Komponenten (SMDs). Aus verschiedensten Gründen bietet die SMT-Technologie gegenüber der Vorgänger-Technologie erhebliche Vorteile. Diese sollen hier aber nicht weiter erörtert werden. Fakt ist aber auch, dass eine vollständige Eliminierung von THT-Bauteilen und -Technologien nie wirklich stattgefunden hat.

Effektives Löten

Jeder, der sich mit der Bestückung elektronischer Leiterplatten befasst, weiß, dass er sich, vor allem bei der Produktion von Großserien, mit den Aspekten der präzisen und schnellen Montage und des effektiven Lötens einiger THT-Bauteile auf der Baugruppe befassen muss. Dabei dürfen keine bereits bestückten Bauteile geschädigt werden und die Qualität der Baugruppe, die bis dahin schon weniger kritische, auf hohen Durchsatz ausgelegte Prozesse durchlaufen hat, muss aufrechterhalten bleiben.

Außerdem haben sich in jüngster Zeit Designs immer mehr durchgesetzt, bei denen Baugruppen aus einer oder mehreren bestückten Leiterplatten bestehen, die dann meist in ein Kunststoffgehäuse verbaut werden. Entsprechend wuchsen auch die Anforderungen in der Produktion. In diesen Fällen werden die Elektronikern meist über Metallzungen verbunden, die zugleich für die mechanische und elektrische Verbindung der Komponenten sorgen. Diese müssen bestückt und, wie bei THT-Bauteilen, mit den verschiedenen Komponenten der Baugruppe verlötet werden.

Autor

Alberto Ghirelli,
Manager of the
"Productronics" division
der Seica SpA
www.seica-de.com

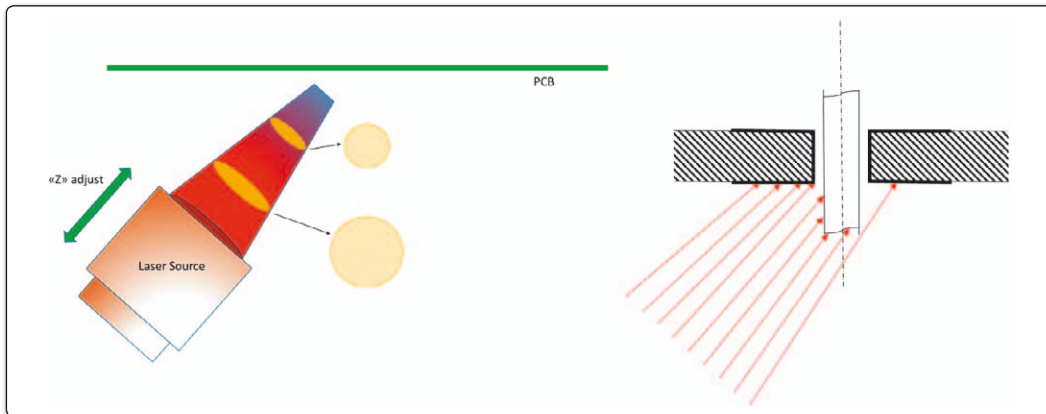


Bild 1: Ansicht eines „Laserkegels“

Laser und Selektivlöten im Automotive-Bereich

In der Automotive-Branche sind die Stückzahlen in der Produktion generell sehr hoch – genauso wie die Erwartungen an Ausbeute und Qualität. Design- und Integrationsanforderungen erzwingen häufig, dass die Elektronik in externe Gehäuse montiert werden, die meist Formen aufweisen, die in herkömmlichen Lötssystemen nur schwer oder gar nicht gehandhabt werden können. Die hohe Produktionsleistung erfordert eine kontinuierliche Fertigung mit hohem Automatisierungsgrad. Der ständige Zwang zur Kostenreduzierung lässt keinen Raum für hochkomplexe und/oder teure Anpassungen. Schließlich bleibt durch die ungezügelt Anforderungen an die Markteinführungszeiten keinerlei Möglichkeit, Design-Reviews durchzuführen, um die Herstellbarkeit der Baugruppe durch Verwendung herkömmlicherer Technologien weiter zu verbessern.

Aufgrund der bisherigen Erörterungen ist leicht nachvollziehbar, dass Laser über immanente Eigenschaften verfügen, die sie zu einer sehr interessanten Technologie machen, die für das Selektivlöten elektronischer Baugruppen genutzt werden kann.

Besonderheiten

- Laser erfordern keinen direkten Kontakt mit der Lötstelle
- Laser bieten Zugang zu Leiterplatten mit ansonsten erheblichen Zugangsproblemen und großer Nähe benachbarter Bauteile
- Laser können bei Leiterplatten eingesetzt werden, bei denen die zu verlötende Seite nach oben zeigt (was bei bestimmten, hoch-

- automatisierten Linien nicht ungewöhnlich ist)
 - Laser können entsprechend den betroffenen Lötstellen ihre Leistung modulieren und die Strahlgeometrie anpassen
 - Laser können ohne zusätzliche Einrichtungen an unterschiedliche Produktionsanforderungen angepasst werden
- Das sind nur einige der Vorteile der Lasertechnologie.

Der Laser und das Selektiv-Löten in der Elektronik

Beim Entwurf eines derartigen Systems ist es zwingend erforderlich, eine ganze Reihe von Aspekten zu beachten. Einige davon sind bereits in der Entwicklungsphase relevant, andere erst, wenn Daten während der Versuchsphase gesammelt werden.

Am Anfang steht die Analyse der Laserquelle, die die gesamte Energiemenge für den Prozess aufbringt. Die heute auf dem Markt verfügbaren Halbleiterlaser können eine angemessene Leistung bei gut nutzbaren Wellenlängen liefern. Für den Lötprozess eignen sich am besten Energien in der Größenordnung von 60 Watt Dauernennleistung. Dieses Leistungsniveau kann eine ansehnliche Metallmasse erhitzen und zum Schmelzen bringen. Am besten eignen sich Wellenlängen im Bereich von 970 bis 1064 Nanometer, da sie minimale Reflexionen mit guter, konstanter Energieabsorption durch die zu verlötenden Materialien verbinden.

Es gilt jedoch noch weitere relevante Aspekte zu prüfen, wie z.B. die ausreichende Gleichförmigkeit des Strahls beim Verlassen der Optik. Wenn sie nicht gegeben ist, erfolgt

auch die Erwärmung der Lötstelle ungleichmäßig, was die Qualität und Wiederholbarkeit des Prozesses empfindlich beeinträchtigen kann.

Der von der Quelle ausgegebene Strahl, der theoretisch zylindrisch (mit gaußscher Intensitätsverteilung) geformt ist, wird über eine Glasfaser an die Optik angekoppelt. Diese Faser muss sehr sorgfältig ausgewählt werden. Ziel ist es, die, von der Art der Quelle abhängigen Unterschiede durch Abbildungsfehler (Aberrationen) zwischen theoretischem und realem Strahl zu korrigieren. Aus dem zylindrischen Strahl wird dann ein konischer Verlauf geformt, um den Lötprozess optimal zu gestalten. Dafür muss der Fokuspunkt variabel sein. Praktisch gesehen lässt sich der Durchmesser des Laserstrahls, und damit die Intensität der eingebrachten Energie an der zu erwärmenden Oberfläche, durch Veränderung des Abstands zwischen Optik und Oberfläche einstellen.

Wie jeder Lötprozess muss auch das Laserlöten spezielle Prozess-

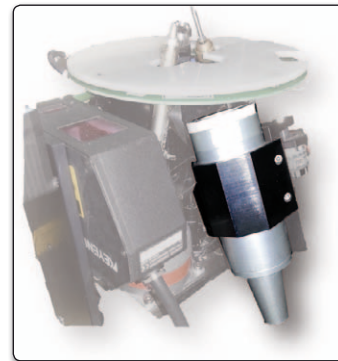


Bild 2: Laseroptik



Bild 3: Optisches Pyrometer im System

schritte implementieren, um ein entsprechendes thermisches Profil sicherzustellen. Dazu zählen das Vorwärmen der Bauteile, die Aktivierung des Flussmittels, das Aufschmelzen des Lots und das Aufrechterhalten des flüssigen Zustands, um eine gute Benetzung sowie die Ausbildung der richtigen Dicke der intermetallischen Phase sicherzustellen, damit neben der elektrischen Verbindung auch eine gute mechanische Festigkeit erzielt wird.

Die Qualität der Lötverbindung hängt stark von der Implementie-

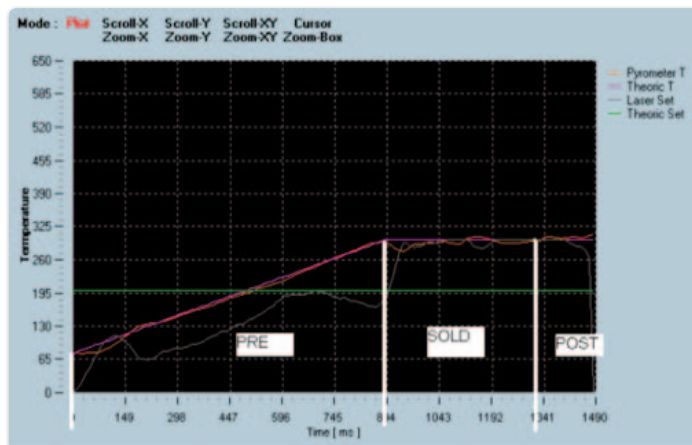


Bild 4: Vom Pyrometer ermitteltes thermisches Profil

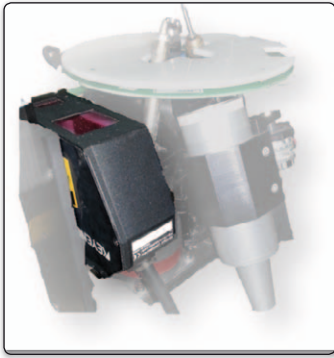


Bild 5: Lötkegel mit Baugruppen-Planaritätssensor



Bild 6: Drahtdispenser mit Sensor

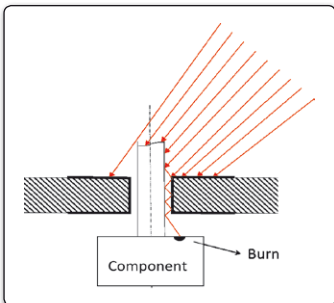


Bild 7: Verbrennung am Bauteilkörper

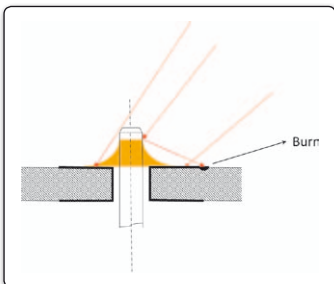


Bild 8: Verbrennung an der Padkante

überwachen zu können, muss ein geeigneter Sensor im System permanent die Temperatur der Lötstelle erfassen. Das Selektiv-Löt-system sollte also, abgesehen von der Strahlungsquelle und der zugehörigen Optik, auch ein präzises „optisches Pyrometer“ aufweisen, wodurch es dann möglich ist, die Temperatur der Lötstelle zu überwachen, um während des Programm-Debuggings Leistung, Intensität und Zeitdauer optimal einzustellen.

Permanente Überwachung

Da die Intensität der eingebrachten Energie sowohl von der Leistung der Quelle, als auch von der Oberfläche des Strahlungsziels abhängt, ist es wesentlich, diese Parameter permanent überwachen zu können – bei jeder Lötstelle. Die von der Laserquelle abgegebene Momentanleistung kann sehr einfach über das Steuergerät geregelt werden.

Um den Energieeintrag in die Oberfläche kontinuierlich und wiederholgenau regeln zu können, muss die exakte Höhe, in der sich die Baugruppe befindet, permanent bekannt sein, damit jegliche Verwindungen der Leiterplatte durch vorherige, thermische Prozesse kompensiert werden können. Daher ist es notwendig, dass das System mit einem Sensor ausgerüstet ist, der den tatsächlichen Abstand zwischen der Laseroptik und Baugruppenoberfläche messen kann. Nur so kann sichergestellt werden, dass die programmierte Z-Höhe, die für den korrekten Energie-Eintrag verantwortlich ist, bei jeder Baugruppe eingehalten wird.

Lot als Füllmaterial

Eingesetzt wird ein Lotdraht mit einer No-Clean-Flussmittelseele. Inzwischen sind Formulierungen auf dem Markt verfügbar, die speziell für die Anforderungen des Laserlötens ausgelegt sind. Natürlich können verbleite und bleifreie Prozesse implementiert werden. Die Handhabung der Lotlegierung ist nicht ganz einfach: der Programmierer sollte die genaue Vorschubzeit, die Menge und die Richtung, aus der der Draht zugeführt wird, präzise festlegen können. Es sollte möglich sein, diese Richtung zu ändern – auch während des Drahtvorschubs – um den Anschluss umkreisen zu können

und so, falls erforderlich, die Benetzung und das Aufschmelzen zu optimieren. Das System sollte also mit einem Drahtdispenser ausgestattet sein, der den Lötendraht von einer Spule abrollt und präzise zur Lötstelle leitet.

Präzise Wiederholgenauigkeit

Um eine präzise Wiederholgenauigkeit des Prozesses sicherzustellen, muss das System in der Lage sein, die genau richtige Menge Lötendraht für jede Lötstelle zuzuführen. Da sich die Spitze des Drahts als Ergebnis des vorherigen Lötvorgangs ausbildet, ergibt sich nie der exakt gleiche Abstand zur Leiterplatte. Der Drahtdispenser muss das berücksichtigen und Schwankungen ausgleichen, um ansonsten unvermeidliche Fehler bei der Menge des zur Lötstelle zugeführten Drahts zu vermeiden.

Endoberfläche

Zuletzt ein kurzer Hinweis zur gewählten Endoberfläche der Leiterplatte. Die praktische Erfahrung aus jahrelangen Tests ergab, dass HAL (Hot Air Levelling) die am besten geeignete Endoberfläche ist. Diese wenig überraschende Tatsache ist dem Umstand geschuldet, dass diese Beschichtung relativ unkritisch bezüglich der Lagerung der Leiterplatte ist. Auch chemisch Zinn sowie Nickel-Gold liefern gute Ergebnisse. Wegen der stärkeren Reflexion erfordert die Goldoberfläche eine höhere Laserleistung und eine längere Prozesszeit. Abschließend noch ein Wort zur organischen Schutzpassivierung (OSP). Sie ist zwar kostengünstiger und auch aus technischer Sicht beim Laserlöten einsetzbar, in Bezug auf Prozessstabilität ist sie jedoch kritisch zu bewerten, da sie durch ungünstige Lagerbedingungen und vorherige thermische Prozesse spürbar beeinträchtigt wird.

DFS - Design for laser solderability

Trotz seiner Vorteile und der unerreichten Flexibilität ist das Laserlöten bei der Baugruppen-Herstellung nicht in allen Fällen unproblematisch – manchmal sogar ungeeignet. Ein fehlerhaftes Leiterplattendesign, bei dem Lochdurchmesser und Durchmesser des Bauteilanschlusses nicht aufeinander abgestimmt sind, kann dazu führen, dass

Bauteilgehäuse auf der gegenüberliegenden Seite der Leiterplatte verbrannt oder beschädigt werden. In diesem Fall kann der Laser, der in den übermäßigen Spalt zwischen Bauteilanschluss und Lochwand eintritt, durch die Lochmetallisierung mehrfach gespiegelt auf der anderen Seite austreten und so auf den Bauteilkörper treffen.

Ein anderes Beispiel: unter bestimmten Bedingungen kann der Laser durch den Bauteilanschluss und die Lötstellenoberfläche während der Formierung teilweise abgelenkt werden und zu einer Verbrennung (typischerweise an der Padkante) führen. Andere kritische Prozessaspekte entstehen, wenn beim Layout erforderliche Wärmefallen nicht realisiert wurden, die das Abfließen der Lötwärme in Masse- oder Spannungsversorgungsflächen verhindern sollen.

Durch Beachtung einiger Designregeln in der Layoutphase lassen sich diese Probleme jedoch minimieren. Die Regeln sind in Empfehlungen der DFM-DFS-Richtlinie klar benannt.

Zusammenfassung

Durch Laserlöten lassen sich einige Herausforderungen in der Elektronik-Produktion, speziell im Bereich Automotive, meistern, wo es um große Stückzahlen und hohe Qualitätsanforderungen geht. Ein laserbasiertes Selektivlöt-system muss sich leicht in automatisierte Produktionslinien integrieren lassen. Der Lötprozess sollte sowohl auf der Ober- als auch auf der Unterseite möglich sein. Prinzipiell ist auch beidseitiges Löten machbar. Die Systeme punkten mit geringem Platzbedarf und ihre Steuerungen stellen eine hohe Verfügbarkeit bei minimalem Wartungsaufwand sicher.

Zu den weiteren Vorzügen dieser Technologie zählt ihr geringer Energieverbrauch. Im Vergleich mit anderen Löt-systemen haben Laserlöt-Anlagen einen sehr geringen Energiebedarf (generell unter 2,5 kW max.), da keine Löt-bäder flüssiges Lot vorhalten müssen. Durch ihre internen Sicherheitsvorkehrungen und Schutzmechanismen sind die laserbasierten Selektivlöt-anlagen extrem sicher zu betreiben: sie gelten als Laser der Klasse 1, vergleichbar einem CD-Spieler. ◀