به نام خدا

تولید نیمه صنعتی خمیر لحیم و بررسی انواع آلیاژها و فلاکسهای مصرفی در آن

به وسیله:

مهدی جاویدی

۱۳۸۱ /۸/ ۶
۱۳۸۱ /۸/ ۶

پایان نامه

ارائه شده به معاونت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی

از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

مهندسی مواد

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر سیروس جوادپور،استادیار بخش مهندسی مواد (رئیس کمیته).....

دکتر سید احمد جنابعلی جهرمی، دانشیار بخش مهندسی مواد.....

دکتر ابوالقاسم دهقان، استادیار بخش مهندسی موادسس.....

۴۲۵۲۸

شهریورماه ۱۳۸۱

تقدیم به :

ایثار همسرم ، رأفت پدرم و دعای مادرم

٤٢٥٢٥

سپاسگزاری

از اساتید محترم بخش مهندسی مواد دانشگاه شیراز که سالها خوشه چین علم و معرفتشان بوده ام ، به خصوص از جناب آقای دکتر سیروس جوادپور که راهنماییهای پدرگونه ایشان را هرگز فراموش نخواهم کرد و همچنین از زحمات آقایان مهندس مطلع ، مهندس معدلی، مهندس بابا جعفری ، مهندس اوجی و مهندس طلاقت و از تمام دوستانی که در انجام این پایان نامه همکار و همیار اینجانب بوده اند کمال تشکر و سپاسگزاری را به عمل می آورم.

چکیده

تولید نیمه صنعتی خمیر لحیم و بررسی انواع آلیاژها و فلاکسهای مصرفی در آن

به وسیله:
مهدی جاویدی

خمیر لحیم ، ترکیبی از پودر آلیاژ لحیم در یک فلاکس شیمیایی می باشد ، با ترکیب این دو جزء در یکدیگر خمیری همگن به دست می آید.از خمیر لحیم برای اتصال قطعات الکترونیک بر روی بردهای مدار چاپی ، در لحیم کاری به روش SMT استفاده می شود.
آلیاژهای مختلفی به عنوان لحیم در این خمیر مورد استفاده قرار می گیرند که معمولترین این آلیاژها ، آلیاژ یوتکتیک سرب و قلع با ترکیب Sn63-Pb37 و با درجه حرارت ذوب $^{\circ}C$ ۱۸۳ می باشد.این آلیاژ به روش اتمیزاسیون در محیط خنثی به پودرهایی با دانه های کاملا کروی و سطوحی صاف تبدیل می شود.از طرفی فلاکس،یک محلول شیمیایی است که از چهار جزء عمده تشکیل می شود.این اجزاء شامل ، جزء اصلی فلاکس(Carrier or Binder) ، جزء حلال(Solvent) ، جزء فعال کننده(Activator) و جزءتصحیح کننده ویسکوزیته فلاکس می باشد (Viscosity Modifier).
مواد مختلفی به عنوان اجزاء فلاکس مورد استفاده قرار می گیرند.در این تحقیق از پودر آلیاژ یوتکتیک (سرب-قلع) به عنوان پودر آلیاژ لحیم درخمیرلحیم استفاده شد، همچنین از اجزاء دی اتیلن گلیکول مونوبوتیل اتر (Diethylene Glycol Monobutyl Ether) به عنوان حلال،گام روزین (Gum Rosin) به عنوان جزء اصلی فلاکس،اسیدساکسنیک (Succenic Acid) به عنوان جزء فعال کننده و روغن کرچک (Castor Oil) به عنوان جزء تصحیح کننده ویسکوزیته در فلاکس استفاده گردید.ترکیب ۹۲ درصد پودر آلیاژ لحیم و ۸ درصد فلاکس برای ساخت خمیر لحیم نمونه استفاده شد.
خمیر لحیم نمونه ، نتایج خوبی از لحاظ قابلیت چاپ ،قابلیت خشک شدن، قابلیت ترکنندگی ، ویسکوزیته و مقاومت در برابر فرونشینی از خود نشان می دهد.استفاده از آلیاژهای بدون سرب و مشتقات گام روزین برای دستیابی به خمیر لحیم با کیفیت مطلوبتر پیشنهاد می گردد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جداول	خ
فهرست تصاویر	ذ
فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱-بردهای مدار چاپی	۶
۱-۲-لحیم کاری	۷
۱-۳-خمیر لحیم	۱۶
فصل دوم : مروری بر تحقیقات پیشین	۲۷
فصل سوم :تئوری	۳۱
۳-۱- دیدگاه متالورژی	۳۲
۳-۲- ساختار آلیاژها	۳۲
۳-۳- آلیاژهای لحیم	۳۳
۳-۴- ترکنندگی و پخش لحیم	۴۱
۳-۵- تشکیل ترکیبات بین فلزی	۴۹
۳-۶- پودر آلیاژ لحیم	۵۰
۳-۷- خصوصیات فیزیکی آلیاژهای لحیم	۶۴
۳-۸- خصوصیات مکانیکی آلیاژهای لحیم	۶۹
۳-۹- آلیاژهای لحیم بدون سرب	۷۰
۳-۱۰- فلاکسهای مصرفی در خمیر لحیم	۷۴
فصل چهارم :روش تحقیق و نحوه انجام تستهای بررسی کیفیت	۱۰۰
۴-۱- ساختار خمیر لحیم تولید شده	۱۰۱
۴-۲- آزمایش تعیین ویسکوزیته خمیر لحیم	۱۱۲
۴-۳- آزمایش تعیین ضریب پخش	۱۱۳
۴-۴- آزمایش تعیین فرونشینی گرم	۱۱۴

عنوان	صفحه
۴-۵- آزمایش تعیین فرونشینی سرد	۱۱۵
۴-۶- قابلیت خشک شدن خمیر لحیم	۱۱۶
۴-۷- قابلیت چاپ خمیر لحیم	۱۱۶
۴-۸- بازیافت پودر آلیاژ لحیم از خمیر لحیم	۱۱۷
فصل پنجم : نتایج و بحث	۱۱۸
۵-۱- مقدمه	۱۱۹
۵-۲- نتایج آزمایش تعیین ویسکوزیته خمیر لحیم	۱۱۹
۵-۳- نتایج آزمایش تعیین ضریب پخش	۱۲۰
۵-۴- نتایج آزمایش فرونشینی گرم و سرد	۱۲۰
۵-۵- نتایج آزمایش قابلیت خشک شدن خمیر لحیم	۱۲۱
۵-۶- نتایج آزمایش قابلیت چاپ خمیر لحیم	۱۲۲
۵-۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی از پودر آلیاژ لحیم	۱۲۳
فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات	۱۲۴
۶-۱- نتیجه گیری	۱۲۵
۶-۲- پیشنهادات	۱۲۷
پیوست	۱۲۹
منابع	۱۳۴

فهرست جداول

عنوان و شماره	صفحه
جدول ۳-۱- درجه حرارت ذوب چند عنصرمعمول در آلیاژهای لحیم	۳۴
جدول ۳-۲- درجه حرارت خط جامد و مایع و محدوده ذوب آلیاژهای معمول	۳۵
جدول ۳-۳- انرژی آزاد سطوح مختلف	۴۶
جدول ۳-۴- توزیع و اندازه ذرات پودرهای تولید شده به روشهای مختلف	۵۵
جدول ۳-۵- مقایسه دانسیته ظاهری پودرها با دانسیته آلیاژ در حالت Bulk	۵۷
جدول ۳-۶- تبدیل مش های استانداردبه اندازه های میکرون و اینچ	۶۰
جدول ۳-۷- خصوصیات فیزیکی برخی از آلیاژهای معمول در لحیم کاری	۶۵
جدول ۳-۸- تغییرات ویسکوزیته قلع خالص،سرب خالص و آلیاژ سرب-قلع با دما	۶۷
جدول ۳-۹- ظرفیت حرارتی قلع خالص،سرب خالص و آلیاژ سرب-قلع	۶۸
جدول ۳-۱۰- مقاومت الکتریکی و رسانایی حرارتی قلع خالص،سرب خالص و آلیاژ	۶۸
جدول ۳-۱۱- مقاومت به خزش آلیاژ سرب-قلع در درجه حرارت اتاق تحت تنش	۶۹
جدول ۳-۱۲- خصوصیات کلی آلیاژ (قلع-بیسموت)	۷۲
جدول ۳-۱۳- خصوصیات کلی آلیاژ یوتکتیک (قلع-نقره)	۷۳
جدول ۳-۱۴- دسته بندی انواع فلاکس، بر اساس جزء اصلی تشکیل دهنده آنها	۷۵
جدول ۳-۱۵- تقسیم بندی فلاکسهای حلال در آب	۸۱
جدول ۴-۱- تغییر درصد روزین در نمونه های آزمایشگاهی	۱۰۳
جدول ۴-۲- اسیدهایی که در ساخت نمونه های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفتند	۱۰۴
جدول ۴-۳- نمک هایی که در ساخت نمونه های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفتند	۱۰۴
جدول ۴-۴- تغییر درصد اسید در نمونه های آزمایشگاهی	۱۰۶
جدول ۴-۵- تغییر درصد نمک در نمونه های آزمایشگاهی	۱۰۶
جدول ۴-۶- انواع حلالهای به کار رفته در فلاکسهای نمونه	۱۰۷
جدول ۴-۷- تغییر درصد حلال در نمونه های آزمایشگاهی	۱۰۸
جدول ۴-۸- انواع جزء تصحیح کننده ویسکوزیته،به کار رفته در فلاکسهای نمونه	۱۰۹

عنوان و شماره	صفحه
جدول ۴-۹- تغییر درصد جزء تصحیح کننده ویسکوزیته در فلاکسهای نمونه	۱۱۰
جدول ۴-۱۰- تغییر درصد پودر و فلاکس	۱۱۱

فهرست شکلها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- مونتاژ قطعات الکترونیک به روش THT	۴
شکل ۱-۲- مونتاژ قطعات الکترونیک به روش SMT	۵
شکل ۱-۳- تر شدن محل لحیم کاری به وسیله مذاب لحیم	۱۰
شکل ۱-۴- عدم تر شدن محل لحیم کاری به وسیله مذاب لحیم	۱۱
شکل ۱-۵- لحیم کاری به روش غوطه وری	۱۴
شکل ۱-۶- لحیم کاری به روش Drag	۱۵
شکل ۱-۷- لحیم کاری به روش موجی	۱۶
شکل ۱-۸- مراحل لحیم کاری به روش SMT	۱۷
شکل ۱-۹- چاپ خمیر لحیم با استفاده از شابلنهای نایلونی	۲۰
شکل ۱-۱۰- چاپ خمیر لحیم با استفاده از شابلنهای فلزی	۲۱
شکل ۱-۱۱- چاپ خمیر لحیم با استفاده از نازل	۲۲
شکل ۱-۱۲- چاپ خمیر لحیم با استفاده از پین ها	۲۲
شکل ۱-۱۳- نواحی چهارگانه در پروفیل حرارتی	۲۴
شکل ۳-۱- ساختار اتمی در محلول جانشانی و بین نشین	۳۳
شکل ۳-۲- نمودار فازی آلیاژ (سرب-ایندیوم)	۳۶
شکل ۳-۳- نمودار فازی آلیاژ (قلع-بیسموت)	۳۷
شکل ۳-۴- نمودار فازی آلیاژ (قلع-سرب)	۳۸
شکل ۳-۵- نمودار فازی آلیاژ (سرب-بیسموت)	۳۸
شکل ۳-۶- نمودار فازی آلیاژ (قلع-ایندیوم)	۳۹
شکل ۳-۷- نمودار فازی آلیاژ (قلع-آنتیمونی)	۴۰
شکل ۳-۸- نمودار فازی آلیاژ (قلع-نقره)	۴۱
شکل ۳-۹- نمودار فازی آلیاژ سه تایی (قلع-سرب-نقره)	۴۲
شکل ۳-۱۰- نمودار فازی آلیاژ سه تایی (قلع-سرب-بیسموت)	۴۳
شکل ۳-۱۱- تر شدن محل لحیم کاری به وسیله مذاب لحیم	۴۵

عنوان	صفحه
شکل ۳-۱۲- اکسید زدایی توسط فلاکس و چسبیدن مذاب لحیم روی محل لحیم	۴۶
شکل ۳-۱۳- پخش شدن مذاب روی سطح جامد	۴۸
شکل ۳-۱۴- تغییر در سطح پخش شدن مذاب با تغییر درصد قلع در آلیاژ قلع-سرب	۴۸
شکل ۳-۱۵- ترکیبات بین فلزی قلع-طلا	۵۰
شکل ۳-۱۶- ترکیبات بین فلزی قلع-مس	۵۱
شکل ۳-۱۷- پودرهای اسفنجی شکل،تولید شده به روش واکنشهای شیمیایی	۵۲
شکل ۳-۱۸- پودرهای دندریتی شکل،تولید شده به روش رسوب الکترولیتی	۵۲
شکل ۳-۱۹- پودرهای ورقه ای شکل،تولید شده به روش فرایندهای مکانیکی	۵۳
شکل ۳-۲۰- پودرهای کروی شکل،تولید شده به روش اتمیزاسیون	۵۴
شکل ۳-۲۱- روند تولید پودر به روش اتمیزاسیون	۵۵
شکل ۳-۲۲- تصویر SEM از پودرهای کروی، تولید شده به روش اتمیزاسیون	۵۸
شکل ۳-۲۳- تصویر SEM از پودرهای بی نظم،تولید شده به روش اتمیزاسیون	۵۸
شکل ۳-۲۴- نمودار فازی آلیاژ (قلع-نقره-مس)	۷۱
شکل ۳-۲۵- روند اکسید زدایی توسط فلاکس با افزایش درجه حرارت	۹۰
شکل ۳-۲۶- نمای نزدیک از روند اکسیدزدایی توسط فلاکس	۹۰
شکل ۳-۲۷- اعمال فلاکس به روش استفاده از بورس	۹۱
شکل ۳-۲۸- اعمال فلاکس به روش ایجاد کف	۹۲
شکل ۳-۲۹- اعمال فلاکس به روش اسپری کردن	۹۳
شکل ۳-۳۰- اعمال فلاکس به روش موجی	۹۳
شکل ۴-۱- صفحات مسی به همراه شابلن فلزی	۱۱۳

فصل اول

مقدمه

مقدمه

کارآیی یک دستگاه الکترونیکی، به کارآیی اجزاء الکترونیک موجود در آن وابسته است. در تولید انبوه دستگاههای الکترونیکی، روزانه صدها میلیون اتصال لحیم ایجاد می‌شود. به عنوان مثال یک گیرندهٔ رادیو به طور معمول دارای پانصد اتصال الکترونیک می‌باشد و یک تلویزیون سیاه وسفید معمولی دارای یک هزار اتصال الکترونیکی می‌باشد و یک تلویزیون رنگی حدود دو هزار اتصال لحیم دارد. در مقایسه می‌توان گفت که کامپیوترها و سیستم‌های تلفن حدود صدهزار اتصال لحیم دارند. این اتصالات باید به طور مناسب و سالم ایجاد شوند به طوری که نه تنها دستگاه بعد از تولید کیفیت و کارآیی لازم را داشته باشد، بلکه در طول عمر خود نیز با مشکلی مواجه نشود،[۱].

لحیم کاری یک فرایند ساده می‌باشد که در آن محل‌هایی که باید به یکدیگر اتصال داده شود، در کنار هم قرار می گیرد سپس این محل‌ها توسط مذاب لحیم تر می‌شود، به طوری که بعد از سرد شدن مذاب، اتصال به وسیله لحیم برقرار می‌شود. در صنعت الکترونیک برای لحیم کاری از آلیاژهای سرب و قلع با درجه حرارت ذوب حدود $^{\circ}C$ ۱۸۵ استفاده می‌شود.

لحیم کاری (Soldering) دو نقش مهم را بازی می‌کند:

الف) نقش مکانیکی Mechanical Support

دراین نقش لحیم وظیفه نگهداشتن قطعات را در کنار هم بازی می‌کند.

ب) نقش الکتریکی Electrical Support

در این نقش لحیم وظیفه برقراری اتصال الکتریکی لازم بین قطعات را بر عهده دارد.

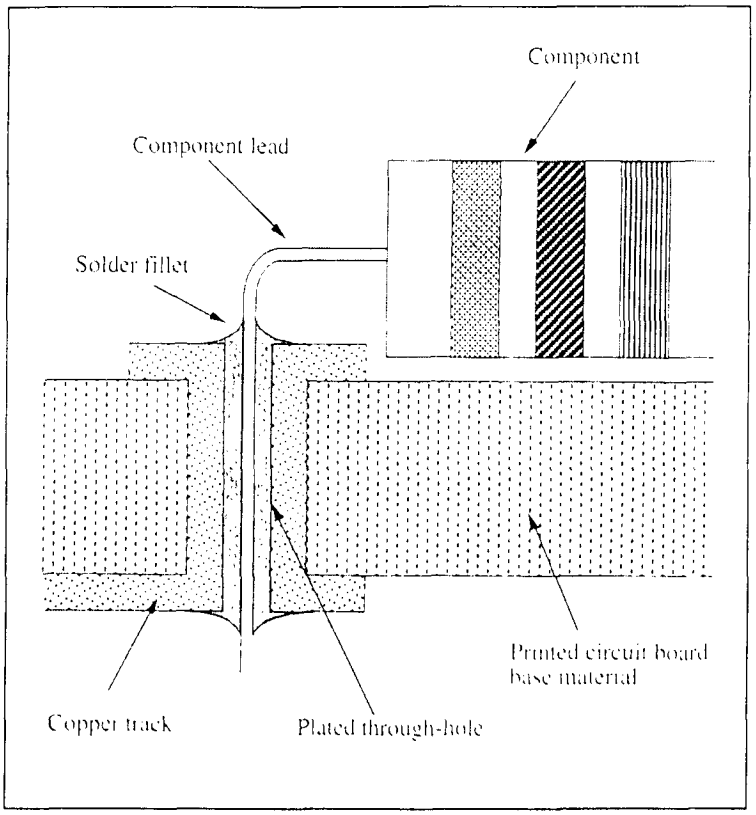
رومیها از دیرباز با لحیم و لحیم کاری آشنا بودند به طوری که در قدیم برای مهر و موم کردن و همچنین برای اتصال بعضی قطعات از سرب استفاده می‌کردند. صنعت الکترونیک بهترین روش را برای اتصال قطعات الکترونیک، در لحیم کاری پیدا کرد وبرای سالیان طولانی این کار به روش دستی انجام می‌گرفت و کاملاً واضح است روش لحیم کاری دستی ، یک روش گران، وقت گیر، پر اشتباه و کند می‌باشد زیرا هر قطعه باید به طور جداگانه اتصال داده شود و این مسائل در صنایع بزرگ مشکل آفرین می‌باشد. البته هنوز هم این روش در سیستم‌های کوچک مقرون به صرفه است. به خصوص برای تعمیر قطعات الکترونیک و جایگزینی آنها، هنوز می‌توان از روش لحیم کاری دستی استفاده کرد.

در چهل سال اخیر تلاش‌ها و راهکارهای فراوانی برای اتوماتیک کردن روشهای لحیم کاری ارائه شده و هر روز نیز روشی جدیدتر و سریع تر ارائه می‌گردد. به طوری که می‌توان گفت رفتن انسان به کرهٔ ماه بدون این پیشرفتها امکان پذیر نبود، زیرا بردهای الکترونیکی که در سازمان ناسا (Nasa) ودر سفینه‌های فضایی استفاده می‌شد، از تعداد زیادی اتصال لحیم برخودار بودند که ایجاد این اتصالات به صورت دستی باعث می‌شد تا وزن هر برد به اندازهٔ ده درصد سنگین‌تر از روشهای لحیم کاری جدید باشد و این مقدار افزایش وزن با در نظر گرفتن تعداد بردهای زیادی که مورد استفاده قرار می‌گرفت،قابل توجه بود.

در ده‌ها سال گذشته یکه و تنها روشی که برای مونتاژ قطعات الکترونیکی مورد استفاده قرار می گرفت روش THT (Through Hole Technology) بود که در شکل(۱-۱) نشان داده شده است.

دراین روش قطعات الکترونیکی دارای پایه‌های بلندی بودند (Leads) که این پایه‌ها از یک سری حفره که در محل مشخص روی برد ایجاد شده است عبور کرده و از پشت، این پایه‌ها لحیم کاری می‌شوند. مسیر الکترونیکی روی این برد به وسیله یک سری مدار از جنس مس ایجاد شده است. این مسیرها ازمحل سوراخ‌ها نیز عبور می‌کند به گونه‌ای که با اتصال قطعات الکترونیک به وسیله لحیم، جریان الکتریکی بین تمام قطعات برقرار می‌شود. باید توجه داشت که در این روش، به خاطر اثر موبینگی ، مذاب لحیم در داخل حفره‌ها نفوذ می‌کند، به این

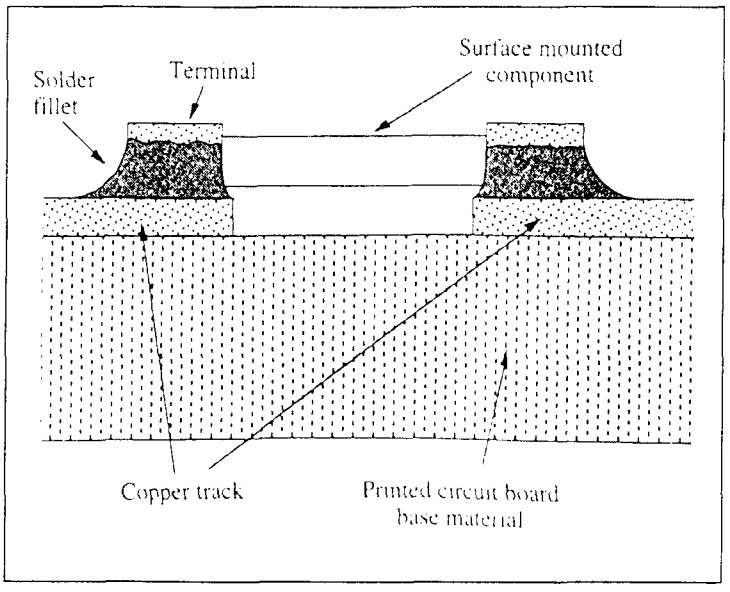
مذاب که بین مسیر الکترونیکی مسی و پایه‌های قطعات قرارداد، به اصطلاح پرکننده (Filler) گفته می‌شود، [۱].



شکل (۱-۱): مونتاژ قطعات الکترونیک به روش THT ،[۱] .

بعدها روش اتصال سطحی یا SMT (Surface Mounted Technology) به وجود آمد که چهرهٔ لحیم کاری در صنعت الکترونیک را دگرگون ساخت، شکل(۱- ۲) .

تغییر در روشهای مونتاژ قطعات، بدون تغییر در روشهای لحیم کاری امکان پذیر نبود. تغییر در تکنولوژی مونتاژ قطعات، اکثر کمپانی‌ها را به سمت روش لحیم کاری جدید کشانید به طوری که اتصال بعضی از قطعات خاص به روش قدیمی THT امکان پذیر نبود و اتصال این قطعات تنها به روش SMT امکان پذیر بود.



شکل (۱-۲): مونتاژ قطعات به روش SMT ،[۱].

شکل(۱- ۲) مونتاژ قطعات به روش SMT را نشان می‌دهد که با مقایسه آن با شکل (۱-۱)، تفاوتهای روش THT و SMT آشکار می‌شود. در روش لحیم کاری جدیدیعنی روش SMT سطح برد فاقد سوراخ می‌باشد و از طرفی قطعات دارای پایه‌های بلند نمی‌باشند و پایه‌های آنهاکوتاه است و روی سطح برد قرار می‌گیرند و به همین خاطر به قطعاتی که در روش SMT استفاده می‌شوند،قطعات بدون پایه (Leadless Component) گفته می‌شود و در مقایسه، به قطعاتی که در روش THT استفاده می‌شوند،قطعات پایه دار گفته می‌شود (Leaded Component) ، [۱] .

۱-۱-بردهای مدار چاپی Printed Circuit Boards

در مونتاژ قطعات الکترونیک، از بردهای مدار چاپی برای نگهداشتن قطعات در کنار هم استفاده می‌شود. روش ساخت این بردها، به روشی که بعداً برای اتصال قطعات بر روی آنها استفاده می‌شود، وابسته می‌باشد. برای لحیم کاری بردهای مختلف، روشهای مختلفی موجود می‌باشد.