

## بررسی آزمون های شوک مکانیکی بر روی اتصالات لحیم های بدون

### سرب SAC در صنایع الکترونیکی

صفورا عشاقی<sup>۱</sup>

هیات علمی، موسسه آموزش عالی دانش پژوهان پیشرو

soshaghi@yahoo.com

سیدمحمد رضا لقمانیان<sup>۲</sup>

هیات علمی، دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان

آدرس پست الکترونیکی نویسنده دوم

m\_loghmanian@yahoo.com

فرزانه شیروانی جوزدانی<sup>۳</sup> و صبا مختاری<sup>۴</sup>

دانشجو، موسسه آموزش عالی دانش پژوهان پیشرو

soshaghi@yahoo.com

### چکیده

لحیم بدون سرب (Sn-Ag-Cu (SAC 305/405 که جایگزین لحیم یوتکتیک قلع-سرب شده است، به دلیل سفتی بالا و واکنش های سطحی بیش از حد لحیم کاری، ماهیتی شکننده تر دارد. این منجر به بروز بیشتر خرابی اتصالات لحیم کاری در هنگام مونتاژ و عملیات جابجایی روی سطح در نتیجه خمش PCB، ضربه شوک و افت می شود. در این کار، آزمایش های مکانیکی شبیه سازی ضربه شوک بر روی SAC بدون سرب با درصد های وزنی مختلف انجام شد. این مواد SAC برای استفاده در اتصالات لحیم کاری اجزای آرایه شبکه توپ ریز (BGA) که بر روی مادربرد نصب شده بودند، آماده شدند. پس از آزمایش های شوک مکانیکی، اندازه گیری های کرنش بر روی اجزای BGA برای اندازه گیری یکپارچگی اتصال لحیم انجام شد، که مشخص گردید با تشکیل مواد بین فلزی در بخش عمده و در سطح مشترک لحیم کاری SAC مرتبط است. آزمایش های کشش توپ برای تعیین میزان توده ای و استحکام سطحی و شکستگی مفصل لحیم انجام شد که به عنوان حالت ۱، ۲ یا ۳ طبقه بندی گردید. نهایتاً بین واکنش های متالورژیکی درصد وزن نقره (Ag) و مس (Cu) یک همبستگی وجود داشت.

واژه های کلیدی: لحیم بدون سرب، شوک مکانیکی، لحیم کاری، سطح نهایی

<sup>۱</sup>صفورا عشاقی (ترجیحاً نویسنده مسؤول از اعضای هیات علمی دانشگاه ها باشد. نویسنده مسؤول لزوماً نویسنده اول نمی باشد که مسؤولیت ارتباط با دبیرخانه کنفرانس را بر عهده دارد و تمامی مسؤولیت علمی مقاله برعهده نویسنده مسؤول می باشد).

۱- مقدمه

مونتاژ PCB و عملیات جابجایی که شامل حمل و نقل و جابجایی است، رخ دهد.

به ویژه، بار خمشی PCB در غیاب حفاظت از بار مکانیکی کافی، نرخ کرنش بالایی را اعمال می کند. قابلیت اطمینان اتصال لحیم SAC در فرآیند مقیاس بندی مداوم برای بسته های نسل بعدی که نیاز به اندازه گام ظریف تر و اندازه اتصال کوچک تر دارد، حیاتی تر می شود. در این کار، از لحیم های SAC با درصد های وزنی نقره و مس (وزنی) مختلف برای بسته BGA استفاده شد. شوک های مکانیکی ابتدا بر روی برد تست BGA اعمال شد و عملکرد اتصالات لحیم کاری SAC پس از شوک با استفاده از اندازه گیری کرنش و روش کشش توپ مورد ارزیابی قرار گرفت. ریزساختار ترکیبات مختلف لحیم کاری پس از واکنش به سطح ENIG با استفاده از میکروسکوپ های الکترونی روبشی و انتقالی مورد بررسی قرار گرفت.

روش پراش X و اندازه گیری مقاومت الکتریکی استفاده شده است.

۲- مواد و روش ها

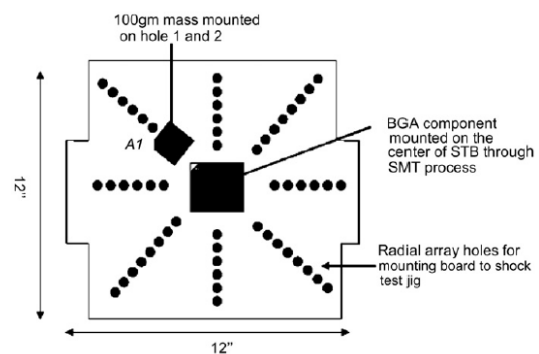
یک بسته آرایه شبکه توپ 37.5 میلی متر مربع با گام 0.8 میلی متری، با دهانه تعریف شده از ماسک لحیم کاری ۴۳۰ میکرومتر استفاده شد. اجزای BGA از طریق فرآیند نصب سطحی بر روی برد تست شوک STB سوار شدند. تخته متشکل از سوراخ های متعددی است که به صورت آرایه

بسته الکترونیکی بدون سرب از آلیاژ Sn-Ag-Cu (SAC) به عنوان یکی از گزینه های جایگزین سازگار با محیط زیست برای لحیم کاری یوتکتیک قلع-سرب (Sn-Pb) استفاده می کند. این آلیاژها دارای ویژگی های مطلوبی مانند عرضه فراوان، ویژگی های ترشوندگی کافی و عملکرد خستگی حرارتی-مکانیکی بهتر هستند [۱،۲]. لحیم کاری SAC نیز به دلیل پایداری ریز ساختاری بالا مورد علاقه است. با این حال، آلیاژهای مبتنی بر قلع (Sn) به دلیل نقطه ذوب بالاتر، واکنش های سطحی بیش از حد دارند و حلالت بالاتر Sn در نیکل (نیکل) یا مس انتظار می رود زیرا دمای جریان مجدد باید تا ۳۷ درجه سانتی گراد افزایش یابد [۲]. یک لایه ضخیم تر از ترکیبات بین فلزی (IMCs) می تواند به دلیل واکنش های سطحی در رابط های لحیم کاری تشکیل شود. این IMC ها عموماً شکننده تر از فلز پایه هستند که می تواند تأثیر نامطلوبی بر قابلیت اطمینان اتصال لحیم کاری داشته باشد. به طور کلی شناخته شده است که بسته های الکترونیکی که از لحیم یوتکتیک Sn-Pb استفاده می کنند معمولاً با ضریب ۲ برابر در کرنش خمشی متوسط تخته مدار چاپی (PCB) در مقایسه با لحیم کاری SAC بهتر هستند. گزارش های مختلف نشان داده اند که لحیم کاری های بدون سرب در مقایسه با لحیم کاری Sn-Pb عملکرد ضعیف تری دارند. عملکرد ضعیف تر لحیم کاری SAC مانند خرابی مفصل ممکن است در هنگام

هیچ اثر پیری روی تخریب رابط وجود نداشته باشد. آزمایش مکانیکی، یعنی روش کشش توپ سرد (CBP) [۷ و ۸]، در رابط لحیم کاری توپ به پد برای بررسی رفتار شکننده اتصال لحیم کاری انجام شد. بار آزمایش باید به اندازه کافی بالا باشد تا سرعت ضربه اعمال شده به اتصال لحیم کاری در آزمایش ضربه را تقلید کند [۹]. برای آزمایش CBP، قبل از اعمال بار کششی برای شکستن پیوند، از یک گیره مکانیکی برای اتصال توپ لحیم کاری استفاده شد. نرخ کشش توپ روی ۵۰۰ میکرومتر بر ثانیه ثابت شد در حالی که فشار گیره روی ۲۵ psi تنظیم شد. آزمایش بر روی ۲ واحد / سلول آزمایش با ۲۵ توپ / واحد بر روی واحدهای نمونه با جریان مجدد برای ۱ X و ۴ X انجام شد. سپس ریزساختار اتصالات لحیم کاری پس از ضربه با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده ها، سه حالت شکست پیشنهاد شد: حالت ۱ برای شکست بالابر پد، حالت ۲ برای شکست باند، و حالت ۳ برای شکست لحیم کاری حجیم، همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است. برای یکپارچگی مفصل لحیم کاری، حالت ۳ حجیم شکست لحیم کاری نشان دهنده مکانیسم شکست نرم و ایده آل است، در حالی که حالت ۲ برای شکست باند ناشی از شکست شکستگی سطحی در لایه IMC است که محل شکست معمولی اتصال شکننده است. توالی شوک بر اساس محور Z و Z با افت ۵ برابری در رو به بالا در STB و ۵ برابر افت رو به پایین با شتاب اوج ۴۰G بود که به ۲۰۰۰

شعاعی مرتب شده اند تا تخته را روی جک آزمایشی محکم کنند. پدهای تخته مورد استفاده شامل دهانه فلزی MD و ماسک لحیم تعریف شده SMD بود.

کرنش سنج در گوشه بسته برای اندازه گیری کرنش موضعی اعمال شد. این آزمایش شامل استفاده از بارهای دینامیکی برای توصیف عملکرد لحیم کاری به عنوان تابعی از کرنش سطح تخته اندازه گیری شده در گوشه بسته بود. یک جرم ۱۰۰ گرمی در موقعیت A1 قالب روی STB، همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، نصب شد تا در هنگام خم شدن تخته به صورت دینامیکی به محل اتصال لحیم کاری فشار وارد شود. برای اندازه گیری سطح کرنش و اطمینان از بارگذاری متقارن، کرنش سنج ها در چهار گوشه بسته قرار داده شدند. پوشش سطح طلائی غوطه ور نیکل الکترولس انتخاب شده ENIG پرکاربردترین فناوری پوشش پد برای بسته های با چگالی بالا است.



شکل ۱: شماتیک برد دستگاه شوک STB

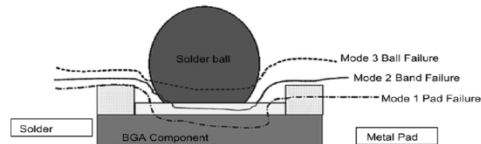
آزمایش های بعدی روی این اتصالات لحیم کاری در شرایط محیطی کنترل شده در عرض یک هفته انجام شد تا

### ۳- نتایج و بحث

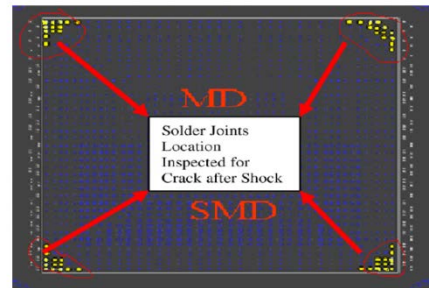
تست شوک مکانیکی قدرت کشش توپ لحیم کاری برای ترکیبات مختلف SAC را با لحیم Sn-Pb-X به ترتیب پس از ۱X و ۴X جریان مجدد اتصال توپ مقایسه کنید. نشانگر X در نمودار جعبه نشان می دهد که شکستگی حالت-۲ در طول آزمایش کشش ایجاد شده است. این نقاط حالت شکست شکننده را نشان می دهند در حالی که نمودارهایی با نشانگر سیاه نشان دهنده شکستگی حالت-۳ در لحیم کاری حجیم هستند. برای جریان مجدد ۱ برابر، مواد لحیم کاری که شکست شکننده حالت-۲ را نشان ندادند شامل Sn-Pb-X، Sn-1Ag-0.5Cu، Sn-2.5Ag-1Cu و Sn-2.5Ag-1.5Cu هستند. کسانی که شکستگی شکننده حالت ۲ را نشان دادند، به ترتیب شدت، Sn-4Ag-3Cu، Sn-1Ag-3Cu و Sn-4Ag-0.5Cu بودند که همان Sn-3Ag-0.5Cu بود. هنگامی که تعداد جریان مجدد از ۱ برابر به ۴ برابر افزایش یافت، روند افزایشی شکست شکننده حالت-۲ مشاهده شد. به عنوان مثال، شکستگی شکننده در Sn-1Ag-0.5Cu و Sn-2.5Ag-1.5Cu پس از ۴ بار جریان مجدد رخ داد، اما نه در لحیم

Sn-Pb-X و Sn-2.5Ag-1Cu که فقط در قسمت عمده شکستند. کاهش قابل توجهی در استحکام اتصال لحیم کاری نیز در لحیم‌هایی با ۳ درصد مس پس از جریان‌های مجدد متعدد ثبت شد. شکل ۴ نتایج ترک ناشی

میکرو کرنش در گوشه بسته BGA ترجمه شد. این حد شوک به این دلیل انتخاب شد که ۲۰ درصد بالاتر از سطح کرنش اندازه گیری شده بود که باعث شکست اتصال لحیم کاری Sn-4Ag-0.5Cu شده بود (نمونه ۷). شکل ۳ نواحی دارای اجزای BGA (53 اتصال در چهار گوشه بسته) را نشان می دهد که پس از آزمایش شوک از نظر ترک بررسی شده اند. این ۵۳ اتصال لحیم کاری در گوشه نسبتاً مستعد شکست شوک بودند. یک معیار شکست شامل شکستگی رابط های لحیم است که توسط کرنش تخته تحت محیط شوک با سطح شکست بیش از ۴۰ درصد اندازه گیری شده بود. پس از اتمام آزمایش شوک، تخته ها تحت آزمایش رنگ و پری قرار گرفتند. نواحی با اتصالات لحیم شکسته با رنگ های قرمز رنگ آمیزی می شوند.



شکل ۲: سه حالت شکست لحیم



شکل ۳: نواحی دارای اجزای BGA اتصال در چهار گوشه بسته

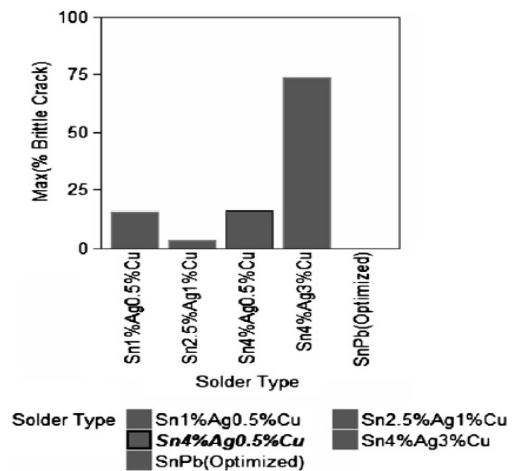
#### ۴- نتیجه گیری

آزمایشات شوک به صورت مکانیکی القا شده بر روی اتصالات لحیم SAC مختلف بدون سرب انجام شد. یکپارچگی لحیم کاری SAC پس از شوک، که بر روی سطح طلای غوطه‌وری نیکل بدون برق (ENIG) جریان داده شد، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمون شوک همبسته با تشکیل IMC و تجمع ریزحفره‌ها در نواحی سطحی اتصالات لحیم کاری مرتبط بود. ممکن است نتیجه گیری شود که روش CBP یک بررسی سریع و کثیف برای درک تأثیر لحیم کاری بر عملکرد ضربه / سقوط ارائه می‌دهد. در مقایسه با روش برش ساچمه‌ای، اندازه‌گیری بهتری برای تشخیص اتصال شکننده است. سرکوب تشکیل  $Ni_3P$  یا کاهش ضخامت IMC باعث بهبود عملکرد شوک می‌شود. انتخاب دقیق عنصر آلیاژی می‌تواند عملکرد اتصال شکننده را بهبود بخشد. لحیم‌های SAC بهینه شده روی سطح طلای غوطه‌وری نیکل بدون برق برای بهبود عملکرد ضربه باید حاوی نقره کمتر از 2.5 درصد وزنی و مس بین 1-0.75 درصد وزنی باشد.

#### ۵- منابع

[1] Zeng K, Vuorinen V, Kivilahti JK. Interfacial reactions between lead-free SnAgCu solder and Ni(P) surface finish on printed circuit boards. IEEE Trans Electron Pack Manufact 2002;25:62-167.

از شوک را برای آلیاژهای لحیم کاری مختلف نشان می‌دهد. مشاهده شد که اکثر ترک‌ها و شکستگی‌ها در رابط‌های بسته IMC رخ می‌دهند، به جز آن دسته از ترک‌هایی که روی صفحه برد روی ساختارهای فلزی مشاهده شده‌اند. این نتایج با مشاهدات حاصل از تست کشش توپ مطابقت داشت. نمودار میله ای درصد توپ لحیم کاری را نشان می‌دهد که با ناحیه ترک که بیش از ۴۰ درصد محل اتصال لحیم کاری مصرف می‌کند، بررسی شده است، در مقابل Sn-Pb-X که هیچ یک از توپ‌های لحیم کاری با سطح ترک بیش از علامت ۴۰ درصد نداشت. لحیم Sn-2.5Ag-1Cu بالاترین مقاومت ترک را در لحیم کاری های بدون سرب داشت در حالی که Sn-4Ag-3Cu ضعیف ترین بود. تجزیه و تحلیل متالورژی ۳،۲،۱ یوتکتیک Sn-Pb واکنش های سطحی لحیم یوتکتیک Sn-Pb مشاهده شده در اینجا تا حد زیادی با موارد گزارش شده مطابقت دارد [۱۰-۱۳].



شکل ۴: ترک ناشی از شوک در آلیاژهای مختلف لحیم



# 11<sup>th</sup> International Conference on Sustainable Development & Urban Construction

## ۸- چکیده انگلیسی

The lead-free Sn–Ag–Cu (SAC 305/405) solder that replaced the tin–lead eutectic solder tends to be more brittle in nature due to high stiffness and excessive solder interfacial reactions. This leads to higher occurrences of solder joints failure during surface mount assembly and handling operations as a result of PCB bending, shock impact and drop. In this work, mechanical tests simulating the shock impact were conducted on lead-free SAC of different weight percentages. These SAC materials were prepared for use in the solder joints of fine pitch ball grid array (BGA) components which were mounted onto the motherboard. After the mechanical shock tests, strain measurements were performed on the BGA components to gauge the solder joint integrity, which was shown to be related with the formation of intermetallics in the bulk and at the interface of the SAC solder. The ball pull tests were conducted to determine both the bulk and interfacial strength and the solder joint fracture, which was classified as either mode 1, 2 or 3. A correlation was made between the silver (Ag) and copper (Cu) weight percentages with the metallurgical reactions.

Keywords: free solder-soldering-mechanical shock – surface finish

- [2] Tu KN, Zeng K. Reliability issues of lead-free solder joints in electronic packaging technology. In: Proc ECTC, 2002. p. 1194–200.
- [3] Universal Instruments 2004 Technical Report. Fragility of lead-free solder joints.
- [4] Reiff D, E. Bradley E. A novel mechanical shock test method to evaluate leadfree BGA solder joint reliability. In: Proc ECTC, 2005. p. 1519–25.
- [5] Banerji K, Darveaux RF. Effect of aging on the strength and ductility of controlled collapse solder joints. In: Viswanathan PK, Murty KL, Simonen, Frear D, editors. First international conference on microstructures and mechanical properties of aging materials, Chicago, USA, 2–5 November 1992. The Minerals, Metals and Materials Society; 1993. p. 431–42.
- [6] Bansal A, Yoon S, Mahadev V. Flexural strength of BGA solder joints with ENIG substrate finish using 4-point bend test. In: Proc SMTA, 2005. p. 25–7.
- [7] Gerbracht L, Cox M, Whiting S. Understanding the complexities of solder ball pull testing on BGA. Adv Pack 2005(March):20–1.
- [8] Song F, Ricky Lee SW, Newman K, Sykes B, Clark S. Brittle failure mechanism of SnAgCu and SnPb solder balls during high-speed ball shear and cold ball pull tests. In: Proc ECTC, 2007. p. 364–72.
- [9] Loh WK, Lee YH, Murugayah A, Tay TW. Nonlinear dynamic behavior of thin PCB boards for solder joint reliability study under shock loading. In: Proceedings of the international symposium on electronic materials, 2005. p. 268–74.
- [10] Matsuki H, Ibuka H, Saka H. TEM observation of interfaces in a solder joint in a semiconductor device. Sci Technol Adv Mater 2002;3:261–70.
- [11] Goyal D, Lane T, Kenzie P, Panichas C, Chong KM, Villalobos O. Failure mechanism of brittle solder joint fracture in the presence of electroless nickel immersion gold (ENIG) interface. In: Proc ECTC, 2002. p. 732–39.
- [12] Jang JW, Kim PG, Tu KN, Frear DR, Thompson P. Solder reaction assisted crystallization of electroless Ni–P under bump metallization in low cost flip chip technology. J Appl Phys 1999;85:8456–63.
- [13] Laurila T, Vuorinen V, Kivilahti JK. Interfacial reactions between lead-free solders and common base materials. Mater Sci Eng 2005;R49:1–60.