

溶融 Ga バンプを用いた Fluidic Self-Assembly で配置された微小デバイスの熱的信頼性

中野 純[†] (学生員)
坂本 宙[†]

柴田 知明[†]
森 雅之[†]

森田 弘樹[†]
前澤 宏一^{†a)} (正員: シニア会員)

Thermal Reliability of Transplanted Small Devices by Fluidic Self-Assembly Using Molten Ga Bumps

Jun NAKANO[†], *Student Member*, Tomoaki SHIBATA[†], Hiroki MORITA[†],
Hiroshi SAKAMOTO[†], Masayuki MORI[†], *Nonmembers*,
and Koichi MAEZAWA^{†a)}, *Senior Member*

あらまし 溶融 Ga バンプを用いた FSA の熱的信頼性を評価した。Ga バンプは配置後の十分な熱処理によってデバイスブロックの Au 電極と合金化する。WDS による組成分析によりこの合金の融点は 451°C 以上と推定され、十分な信頼性があることが示唆された。更に、配置された RTD デバイスの高温保持試験を行い、高い安定性をもつことを実証した。

キーワード 異種材料集積, Fluidic Self-Assembly, Ga バンプ, 共鳴トンネルダイオード, 信頼性

1. ま え が き

最近、異種材料集積 (HI) 技術が注目されている。中でも、Fluidic Self-Assembly (FSA) は非常に有望な技術の一つである [1]。FSA は大きさが数十 μm のデバイスブロックを液体中で散布し、ホスト基板上に形成されたリセスに捕獲するプロセスである。捕獲力として溶融金属バンプの表面張力を利用した FSA [2] は非常に有望である。図 1 にその基本的なプロセスを示す。低融点金属のバンプを形成したホスト基板を液中に配置し、バンプを溶融させておくために液を加熱する。金属パッドをもった微小デバイスブロックが溶融バンプに接触すると、表面張力によって引き込まれ、電氣的・機械的・熱的接続が同時に完了する。S.A. Stauth らは Bi, Pb, In, Sn, Cd からなる融点が 47°C の低融点合金を用いた FSA を報告している [2]。これに対して、我々は低融点金属として Ga を用いた FSA を提案し [3]、Si 基板上への InGaAs 共鳴トンネルダイオード (RTD) の配置を報告した [4]。Ga を低融点金属として用いることで Pb, Cd などの有害な金属を含まず、環境負荷を低減することができる。更に、その低い融点 (29.8°C) によって、更なるバンプの縮小化が期待できる。

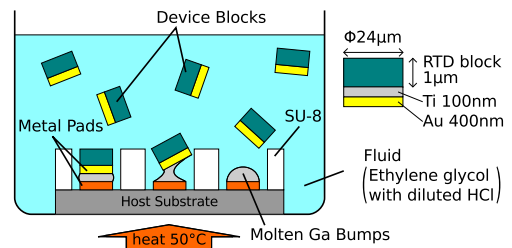


図 1 低融点金属を用いた FSA の概念図と実験に用いた RTD ブロック

Fig.1 FSA using molten Ga bumps and RTD block.

しかしながら、Ga は室温でも溶融する金属であるため、熱的信頼性という大きな問題が残っている。これには機械的接続の問題だけでなく、デバイス中への Ga の異常拡散の可能性もある。これらを解決するために、デバイスブロック上に Ti のバリア層をもつ Au パッドを形成することで拡散を防止し、FSA プロセス後に Ga を Au と合金化させることによって融点の上昇を図った。Au-Ga 合金状態図 [5] より、Ga は Au が 35% 溶け込むことによって融点が 451°C へ上昇する。本報告ではこの効果を確認するために、波長分散型 X 線分析 (WDS) による Ga バンプの分析、及び FSA により配置したデバイスの高温保持試験を行い、Ga バンプの信頼性を評価した結果について報告する。

2. Ga バンプの断面分析

FSA で配置されたデバイスブロックの熱的信頼性を評価するためには、Ga バンプの組成を分析するこ

[†] 富山大学理工学教育部, 富山市

Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama, Toyama-shi, 930-8555 Japan

a) E-mail: maezawa@ieee.org

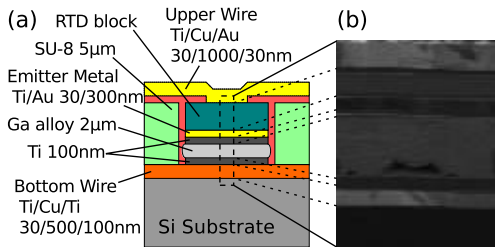


図2 FSAによって配置されたRTD. a) 断面概要図, b) バンプ断面のSIM画像

Fig.2 The transplanted RTDs using FSA. a) Schematic cross-section, b) SIM image of the cross-section of the bump.

とが重要である。まず、FSAによるデバイス配置後、バンプのGaとAuの合金化を促進するため、 N_2 雰囲気中で $250^\circ C$ 、10分間の熱処理を行った[4]。この条件はオーミック電極特性に影響を与えないように選んだ。次に、デバイスブロックへの配線を形成し、デバイスの動作を確認した。最後に、Gaバンプを集束イオンビーム(FIB)により断面加工し、組成の分析を行った。図2にデバイスの断面構造及び断面の走査イオン顕微鏡像(SIM像)を示す。バンプ内に小さな空洞が見られるが、これは熱処理の加熱・冷却工程で生じたと考えられる。空洞は信頼性だけでなく、電気的特性にも影響を与える可能性があるため、空洞の除去は今後の課題である。WDS分析の結果、バンプの組成は全体で均一であり、Ga 64.9%、Au 32.6%、Cu 2.5%であった。Cuが少量含まれているが、単純なAu-Ga合金であるとして融点を推定すると、バンプの融点は $451^\circ C$ 以上となる。この融点は一般的なAu-Snはんだの融点($282^\circ C$)より十分高く、バンプが十分な熱的信頼性をもっていることを示唆する。

3. FSAで配置されたデバイスの高温保持試験

次にGaを用いたFSAで配置されたデバイスの高温保持試験を行った。用いたデバイスは以前に報告した共鳴トンネルダイオード(RTD)ブロックである[4]。RTDは非常に薄い二重障壁量子井戸(DBQW)構造からなり、ピーク電流はDBQWの特性に敏感である。本実験で使用したRTDはDBQW層がエミッタ金属に非常に近接しており、間には $105nm$ の n^+ -InGaAs層しかない。もし液化したGaがバリア層であるTi層を越えDBQW層まで浸入すると、リーク電流の増大やデバイスの短絡故障に至ると考えられる。

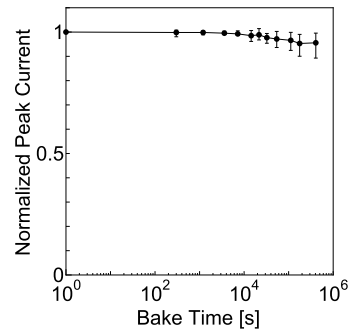


図3 RTDのピーク電流の時間変化
Fig.3 Time variation of a peak current of RTDs.

定期的にピーク電流を測定しながら、ベーク炉中で高温に保持する実験を行った。サンプル数は14個、保持温度は $200^\circ C$ 、測定温度はRTである。図3にピーク電流の保持時間依存性を示す。ピーク電流はわずかに変化しているがデバイスの短絡故障は見られず、GaがTi層を越え拡散していないことが示唆された。

4. むすび

本報告では、Gaバンプを用いたFSAの最も重要な課題である熱的信頼性について評価を行った。FSA後のバンプの融点は十分に高い $451^\circ C$ 以上と推定された。更に、Gaバンプを用いたFSAによって配置されたRTDは長時間の高温に曝されても故障せず、合金化されたGaバンプは安定していると考えられる。

文献

- [1] H.J. Yeh and J.S. Smith, "Fluidic self-assembly for the integration of GaAs light-emitting diodes on Si substrates," IEEE Photonics Technol. Lett., vol.6, pp.706-708, 1994.
- [2] S.A. Stauth and B.A. Parviz, "Self-assembled single-crystal silicon circuits on plastic," Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., vol.103, 13922, 2006.
- [3] J. Nakano, T. Shibata, T. Okatsu, M. Mori, and K. Maezawa, "Fluidic self-assembly for heterogeneous integration of high performance resonant tunneling diodes using low-melting point alloy bumps," Int. Conf. Solid State Devices and Mat., A-4-3, 2011.
- [4] J. Nakano, T. Shibata, H. Morita, H. Sakamoto, M. Mori, and K. Maezawa, "Fluidic self-assembly using molten Ga bumps and its application to resonant tunneling diodes," Jpn. J. Appl. Phys., vol.52, 116501, 2013.
- [5] R.P. Elliott and F.A. Shunk, "The Au-Ga (Gold-Gallium) system," Bull. Alloy Phase Diagrams, vol.2, pp.356-358, 1981.

(平成25年12月13日受付, 26年2月13日公開)