

# 薄いAuキャップ付きAg, Cu, Al薄膜を用いたウエハの大気中室温接合

Room Temperature Bonding of Wafers in Air using Ag,Cu,Al Films with Thin Au Capping Layers

魚本 幸<sup>1</sup>, 島津武仁<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学学際科学フロンティア研究所, <sup>1,2</sup> 東北大学電気通信研究所

原子拡散接合法[1-3]は、接合するウエハの表面にスパッタ法等で金属薄膜を形成し、引き続き同一真空中で薄膜を相互に接触させてウエハを接合する方法であり、表面活性化法[4-6]と同様に室温で接合することができる。同接合法では、ウエハの材質によらず接合することが可能であり、金属薄膜の材料や膜厚を自由に選ぶことができる。これまでの研究で、Au 薄膜を用いた場合には、Au 薄膜の形成後に、大気中且つ室温でウエハを接合することができることが明らかとなっている[3,7,8]。そのため、接合するウエハ相互のアライメントが容易であるだけでなく、メタルマスクにより Au 膜を接合に必要な領域のみに形成して接合することもできる[9]。

ここで、接合に用いる薄膜は、接合後に電気や熱の伝導に用いたり、光学的な反射層として利用すること等も可能である。例えば、Au に比べて Ag や Cu は電気抵抗が低く熱伝導率が高く、Al や Ag の可視光の反射率は Au よりも大きい。したがって、Ag, Cu, Al 膜を用いて Au 膜と同様な大気中の室温接合性能が得られれば、これらの特徴を活かした機能的な部品やデバイスの形成に結びつけることができる。しかし、これらの薄膜は酸化物形成能を有するため、Ag 膜を使った大気中接合では室温で接合できるものの接合界面の構造が不均質になり[10]、Cu 膜を使った大気中接合では 100 °C 以上の加熱が必要である[3]。更に、Al は酸化物を非常に形成し易く、大気中の室温接合は非常に難しい。そこで我々は、スパッタ法で Ag, Cu, Al 膜を形成後、同一真空中で膜厚数 nm の薄い Au キャップ層を形成してから大気中に取り出すことで、これらの膜の酸化を抑制して接合することを試みた[11,12]。

実験は、接合する二つの石英ウエハに、同じ膜構成の薄膜を形成して行った。薄膜のウエハへの付着強度を高めるため Ti 下地膜を用いた。実験の結果、Ag, Cu, Al のいずれの薄膜を用いた場合でも、Au/Au 接合界面で生じた原子再配列が Ag, Cu, Al 膜中にまで伝播し、大気中の室温接合に成功した[11,12]。いずれの場合も、接合界面の表面エネルギーは Au 膜の表面エネルギーを大きく上回っている。Au(2 nm)/Ag(20 nm)膜を用いた場合には、膜厚全体にわたり結晶粒が一体化し、Au の一部は Ti 下地層にまで到達していた。また、Ti 下地膜を 1 nm に低減させることで、Ag 膜の高い反射率と薄膜の付着強度を両立させた接合膜が形成できることを示した。Cu 膜では、Ag 膜を用いた場合よりも Au の原子再配列の伝播が抑制されるものの、Al 膜では、原子再配列が 40 nm 程度の深さまで伝播することが確認できた。一方、Ag, Cu, Al 層の膜厚(表面粗さ)が増加するほど、Au キャップ層に必要な膜厚も増加することが明らかとなった。ただし、Au キャップ層の膜厚比は、今回の実験範囲でも 5~10%に留まっており、それぞれ、Ag 膜, Cu 膜, Al 膜に近い特性を有する接合膜が得られることを示した。この大気中・室温の接合技術を用いることで、これらの薄膜の持つ高い熱伝導・電気伝導特性等の特徴を活かした新しい部品やデバイスの形成が期待される。

## 参考文献

- [1] T. Shimatsu, R. H. Mollema, D. Monsma, E. G. Keim, and J. C. Lodder, *J. Vac. Sci. Technol.*, **A 16**, 2125-2131 (1998)., [2] T. Shimatsu and M. Uomoto, *J. Vac. Sci. Technol.*, **B 28** 706-714 (2010)., [3] T. Shimatsu, and M. Uomoto, *ECS Transactions*, **33**, no. 4, 61-72 (2010)., [4] T. Suga, K. Miyazawa, Y. Yamagata, *MRS Internal Meeting on Advanced Materials, Materials Research Society*, vol. 8, 257-262 (1989)., [5] T. Suga, Y. Takahashi, H. Takagi, B. Gibbesch, and G. Elssner, *Acta Metall. Mater.*, **40**, s133-s137 (1992)., [6] H. Takagi, K. Kikuchi, R. Maeda, T. R. Chung, and T. Suga, *Appl. Phys. Lett.*, **68**, 2222-2224 (1996)., [7] T. Shimatsu, M. Uomoto, K. Oba, and Y. Furukata, 3<sup>rd</sup> IEEE International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration, 103 (2012)., [8] 今 一恵, 魚本 幸, 島津武仁, エレクトロニクス実装学会誌, **17**, 431-435 (2014)., [9] 島津武仁, 魚本 幸, 今 一恵, 若林小太郎, 大場健司, 古堅由紀子, *OPTRONICS*, (株)オプトロニクス社, vol. 32, no.7, 88-92 (2013)., [10] 今 一恵, 魚本 幸, 島津武仁, 第 28 回エレクトロニクス実装学会春季大会, 7C-08, 2014 年 3 月(東京)., [11] 魚本 幸, 今 一恵, 島津武仁, 第 29 回エレクトロニクス実装学会春季大会, 7A2-4, 2015 年 3 月(東京)., [12] 今 一恵, 魚本 幸, 島津武仁, 第 29 回エレクトロニクス実装学会春季大会, 7A3-1, 2015 年 3 月(東京).