パワーデバイス向けた Cu-Pd スパッタ膜の評価方法

Method of evaluating Cu-Pd sputtered films for power device applications

根本　俊介，八坂　慎一（電子技術部　電子デバイスグループ）

1. はじめに

ガソリン自動車から電気自動車や燃料電池車への転換に向けて、SiC パワーデバイスの研究活動が活発になっている。SiC パワーデバイスは、高温動作可能なデバイスであり、自動車の冷却機構の簡素化が期待できる。現在、パワーデバイスの実装技術として、Ag、Cu、Au 等の、高温環境下(250 ℃)での試験事例が報告されている [1,2,3]。さらに将来、パワーデバイスのジャンクション温度(Tj)の要求は、300 ℃以上と言われている [4]。また、パワーデバイス以外にも電気自動車の急速充電(10 min)でのバッテリーセル温度は、270 ℃に達するシミュレーションの結果も報告され、バッテリーパック ECU (Electronic Control Unit)内の実装等、パワーデバイスのみならず高温耐性のある実装技術が必要と考えられる [5]。

実装材料として、Au は高温耐性が高く、Au-Ge 共晶はんだで実装したサンプルでは、330 ℃環境下 1600 時間の高温保存試験で良好な実装結果が得られたことが報告されている [6]。しかし、Au は、高価であるため、安価でかつ耐腐食性のある実装材料の検討を行った。

車載用半導体に使用するワイヤーボンディング材料の研究開発は、Cu を中心に 2009 年頃から活発に進められ、Au ワイヤから Cu ワイヤへ移行が行われてきた。それは、Cu が Au に対して安価であり、Pd を Cu ワイヤにコーティングした Pd コーテッド Cu ワイヤの耐腐食性や Cu-Pd 合金の材料評価などがなされ、200 ℃の環境下で車載用半導体に対して十分な信頼性が得られたことが挙げられる [7,8]。

Cu-Pd 膜の先行事例としては、3 %以上の Pd 原子濃度の Cu-Pd 合金で耐腐食性が得られることが報告されている [9]。また、Cu は 300℃の拡散係数が、250 ℃時の Ag の拡散係数と同等であるなど高温耐性が見込める [10]。さらに、耐腐食性を向上するために添加する Pd は、Cu より 6 桁拡散係数は小さく、Cu に Pd を添加することで高温環境下（300℃）での拡散が抑えられ、長期信頼性が期待できると考え研究開発を進めてきた [11]。本報告では、Cu-Pd スパッタ膜の作製および接合を実施し、接合サンプルを大気環境下で接合試験後、接合部の評価を実施したので報告する。

2. 実験及び結果

2.1 Cu-Pd スパッタ膜の作製方法

Cu-Pd の成膜は、キヤノンアネルバ社製 L-332S-FH で作製した。はじめに Ti を Si ウェハ上に密着層として 20 nm 成膜を行った。次に、3%以上の Pd 原子濃度にするため、Pd 原子濃度 5%とし、Cu-Pd をスパッタ膜厚 1000 nm 成膜した。

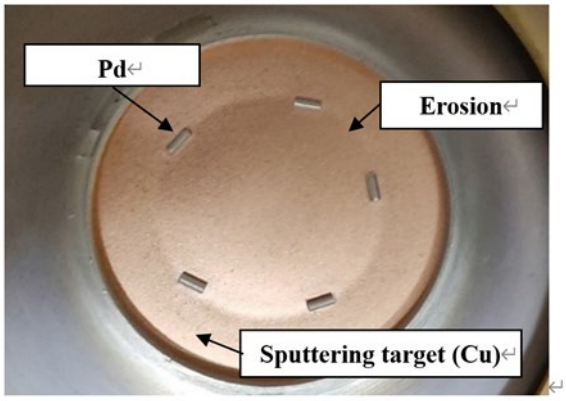


図 1　Cu-Pd スパッタ膜の Pd 濃度制御方法

図 1 に Cu-Pd スパッタ膜の Pd 濃度制御方法を示す。

Cu-Pd スパッタ膜の Pd 濃度は、3 インチ Cu ターゲットのエロージョン上に 2 mmφ - 5 mm の Pd 小片を載せてその個数を増減することで制御できる。事前評価した結果では、Pd 小片 1 個当たり、およそ Pd 原子濃度 1%であった。図 1 の様に 5 個の Pd 小片を載せると Pd 原子濃度 5%の Cu-Pd スパッタ膜ができる。次に、スパッタ法で作製したサンプルをダイヤモンドペンでウェハサンプルの個片化（5 mm□ - 10 mm□）をした。サンプルの一部は Cu-Pd スパッタ膜の Pd 濃度評価に用いた。

2.2 接合方法

個片化した Cu-Pd スパッタ膜サンプルの Cu 面を重ね合わせて接合を行った。接合条件はセラミックネジとナットで個片化したチップを挟み込み、300 ℃ 2 h 大気中で接合を実施した。

2.3 断面研磨

接合を実施したサンプルをエポキシ樹脂で樹脂埋めをした。その後、研磨機(ムサシノ電子社製 MA-200)を使用し、5 mm□程度までサンプルを研磨後、評価対象の接合部近傍まで断面研磨を実施した。その後、接合部の研磨によるダメージ層を除去するため、イオンミリング（JEOL 社製 IB-19500CP）で加工を実施した。

2.4 断面観察および EDX

接合後の実装面を評価するために、SEM-EDS(JEOL 社製 JSM-IT200LA)で評価を行った。図 2 にイオンミリング後の Cu-Pd 接合部の断面図を示す。Cu-Pd 接合部は 3 層構

造が観察され、また、接合界面とみられる位置では、ボイドがほぼ見られなかった。3 層構造がどのような物質で構成されているかを評価するために EDX を使用して点分析と線分析を実施した。事前に加熱前の個片化したチップについて EDX 点分析を実施すると Cu-Pd スパッタ膜の Pd 濃度は 6%であり、ほぼ想定通りのスパッタ膜が形成できていた。接合を実施した図 2 のそれぞれの層についても点分析を実施すると Cu-Pd 層はおよそ 10%の Pd 濃度になっており、酸素はほぼ検出しなかった、接合界面近傍は Cu に酸素濃度が 33%程度あり、Pd は検出できなかった。

次に図 3 に Cu-Pd 接合部の EDX 線分析の評価結果を示す。

図 2 の Cu-Pd 接合部をに対して垂直に線分析を行った結果と SEM 像を比較すると接合界面と Cu-Pd 層を比較すると接合界面に Pd は存在せず Cu_2O を形成し、Cu-Pd 層には酸素がほぼ存在しないことがわかった。

3. 考察及び今後の展開

本報告では、Cu-Pd スパッタ膜でサンプルを大気中で 300 ℃で 2 h 接合を行った。これらサンプルの断面 SEM-EDS で評価を行い、次の結果が得られた。

・大気環境下(300 ℃)で行ったサンプルの接合は、接合界面に数十 nm 前後のボイドが若干見られものの良好な接合が行われた。

・Cu-Pd 層について、300℃で 2 h 接合を行った結果、Cu-Pd 層が初期の Pd 濃度 6%から 10%に上昇していた。これは、接合界面に向かって Cu が Pd に対して速い拡散が行われたためと考える。

・接合界面では、接合直後から拡散によって接合界面に達した Cu は、Cu_2O と考えられる酸化物を形成したが、Cu-Pd 層においては酸化されていなかった。

本報告の結果から Cu-6at%Pd 固溶体に高温耐酸化性があることが分かった。本断面研磨手法と EDX を実施することで、一定の接合過程と合金評価ができることが分かった。

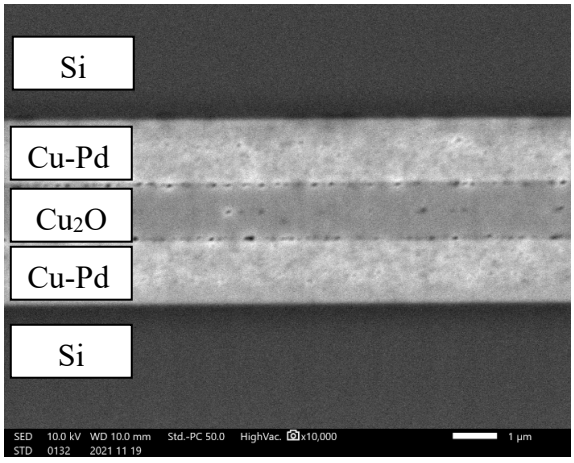


図 2　Cu-Pd 接合部の断面観察および点分析結果

【参考文献】

1. S. Noh, H. Zhang, and K. Suganuma, *3D-PEIM*, 10.1109/3DPEIM.2018.8525232, (2018).
2. F.Lang, H. Yamaguchi, H Nakagawa, H.Sato, *CPMT*, Vol. 5, No. 8, pp.1069-1074, (2015).
3. H. Nishikawa, K Matsunaga, M. S. Kim, M. Saito and J. Mizuno, *HiTEC*, pp. 143-147 (2016).
4. 山本秀和, *エレクトロニクス実装学会*, Vol. 20, No. 7, pp. 442-448, (2017)
5. M. Keyer, A. Pesaran, Q Li, S. Santhanagopalan, K. Smith, E. Wood, S. Ahmed, I. Bloom, E. Dufek, M. Shirk, A. Meintz, C. Kreuzer, C. Michelbacher, A. Burnham, T. Stephens, J. Francfort, B.Carlson, J. Zhang, R. Vijagopal, K. Hardy, F. Dias, M. Mohanpurkar, D. Scoffield, A. Jansen, T. Tanim, A. Markel, *Journal of Power Sources*, Vol. 367, pp. 228-236, (2017)
6. F. Lang, S. Tanimoto, H. Ohashi, H. Yamaguchi, *EMPC*, (2009)
7. T. Uno, S. Terashima and T. Yamada, *ECTC*, pp. 1486-1495, (2009)
8. M.Eto, T. Uno, T. Haibara, R. Oishi, T. Yamada, T. Oyamada, *ECTC*, pp.1297-1302, (2017)
9. S. Nemoto, T. Maeda, M. Miyajima, Y. Akaike, K. Kitagawa, H. Ishii, H. Shimamoto, and K. Kikuchi, *ICEP*, pp. 56-60, (2019)
10. NIMS, https://diffusion.nims.go.jp/, Accessed: 2022/06/27
11. 根本 俊介, 八坂 慎一, 三橋 雅彦,MES2021, pp. 231-234 (2021)

【外部発表】 口頭発表　1 件

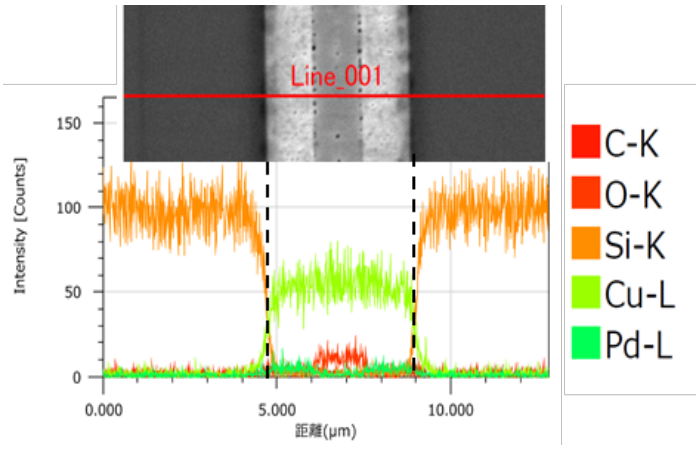


図 3　Cu-Pd 接合部の EDX 線分析の評価結果