

MEMS パッケージ封止接合部の強度信頼性評価(せん断負荷による評価)

三菱電機(株) ○片桐大輔 横山吉典 坂本博夫 九州大学 濱田繁

Bonding strength evaluation for hermetic seal of MEMS package

Daisuke KATAGIRI, Yoshinori YOKOYAMA, Hiroo SAKAMOTO and Shigeru HAMADA

1 緒 言

近年、電子機器の小型化・高密度化の要求にとまらぬ、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)と呼ばれる、微細な機械構造を有する電子デバイスの適用が拡大されつつある。実用化された MEMS としては、圧力センサ、加速度センサ、デジタルミラーデバイス(DMD)などがあり、今後も幅広い製品に適用されることが予想される。MEMS を応用した物理量センサでは、物理量を検出する微小可動部を湿度等から保護することを目的として封止構造が用いられる¹⁾。封止接合部は、接合後の製造プロセスや実使用環境で機械的荷重を受ける。このため、封止接合部の強度データは必須であるが、封止接合部の強度を明確にした報告は少なく^{2)~7)}、実製造プロセスで製造したデバイス寸法における封止接合部の強度測定は例がない。

これまで著者らは、高温、高電圧下でガラスとシリコンを接合する陽極接合について実デバイス寸法の試験片を用いた 3 点曲げ試験を行ない、陽極接合強度を破壊じん性値によって整理し、接合温度、接合電圧が接合強度に及ぼす影響を定量化した。しかし、実デバイスの封止接合部に作用する荷重は曲げ荷重だけではないため、様々な荷重モードに対応した接合強度を明確にする必要がある。そこで、本報告では、せん断負荷に対する陽極接合部の強度評価を検討した。

2 陽極接合部の強度試験

2.1 試験片形状 強度試験は、陽極接合部の強度に及ぼす接合面の表面状態やダイシングによる接合端部の状態の変化および寸法効果の影響を考慮し、実製造プロセスを用い実デバイス寸法の強度試験片を作製して実施した。図 1 に試験片寸法を図 2 に試験片の非接合部拡大写真を示す。試験片は、直径 100mm、厚さ 1mm のガラスウェハ(パイレックスガラス #7740)と同寸法の単結晶 Si ウェハ(100面)を陽極接合することにより作製した。接合部には接合端部の応力集中部あるいはダイシングによるダメージなどにより発生する欠陥を考慮し、試験片には意図的に非接合部を導入した。非接合部長さ

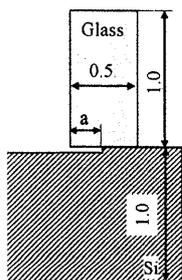


Fig. 1 Shape and dimension of specimen (unit: mm)

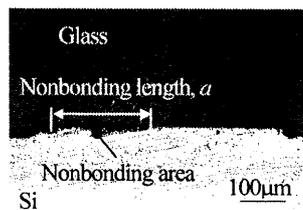


Fig. 2 Bonding area of the specimen (Nonbonding length 0.2mm)

a は 0,0.015,0.1,0.2,0.3mm とし、非接合部の形状は、非接合部先端の応力特異性がき裂と同等になるガラスのベース面に対してシリコンを直角に加工して接合した形状とした。試験片の概形を図 3 に示す。試験片は短冊状に加工したシリコンに数本のガラスの柱が接合された形状である。3 点曲げ試験と比較すると短冊状試験片を取付ける際の位置決めを正確に行なえば、試験機のステージを用いた位置決めによって連続的に測定ができるため、測定時間が短縮できる利点がある。

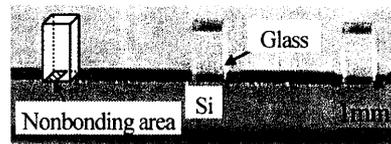


Fig. 3 Shape of specimen

2.2 陽極接合条件 表 1 に示す接合温度、接合電圧の条件で試験片を作製し、接合条件が接合強度に及ぼす影響を調べた。接合時間は接合温度 400°C、300°C の場合は 1 時間とし、接合温度 200°C の場合は 3 時間とした。

Table 1 Conditions of anodic bonding

Bonding conditions	Bonding temperature (°C)	Bonding voltage (V)	Bonding time (hour)	Number of specimens
1	400	1000	1	91
2		700		60
3		400		60
4		300		43
5	300	1000	1	88
6		700		71
7		400		59
8		300		55
9	200	1000	3	91
10		700		71
11		400		44
12		300		63

2.3 試験方法 接合部にせん断負荷が作用する場合の強度評価試験方法としてダイシア試験を実施した。試験の模式図を図 4 に示す。試験機はアークテック製万能ボンダテスターシリーズ 4000 を使い、荷重負荷速度 1μm/sec とし、実体顕微鏡で位置決めを行なった。試験環境は大気中、常温、常湿とした。シアツールによる押し高さ H は 0.4mm とした。図 5 に非接合部長さ 0.2mm の場合の一例を示すように、非接合部先端では、応力 σ_0 および τ_{r0} と非接合部先端からの距離 r の間にほぼ $r^{-1/2}$ の応力特異性が存在する。本研究では、非接合部先端からの距離 r が 0.1μm~0.3μm の応力値を用いて接合部の強度を評価した。ガラスが破壊する場合のき裂進展方向の応力

拡大係数 K_I はFEM解析結果の周方向応力 σ_θ が最大の方向について応力外挿法を用い、式(1)によって算出した。接合界面の応力拡大係数 K_i は式(2)を用いて算出した⁹⁾。なお、接合に用いたガラスは、常温において熱応力がゼロに近くなるようにシリコンの線膨張係数と一致させているため、熱応力は考慮しないことにした。

$$K_I = \lim_{r \rightarrow 0} \sigma_\theta \sqrt{2\pi r} \quad \dots (1)$$

$$K_i = \lim_{r \rightarrow 0} \sqrt{2\pi r (\sigma_\theta^2 + \tau_{\theta z}^2)} \quad \dots (2)$$

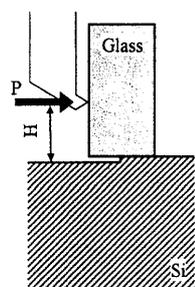


Fig. 4 Schematic diagram of the shear test

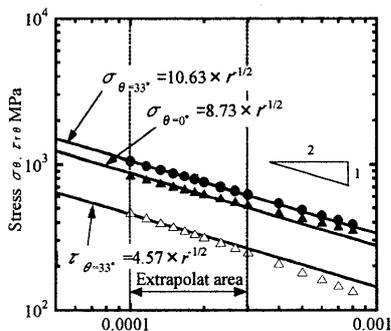


Fig. 5 Stress distribution on the direction of maximum stress and interface direction (Nonbonding length: 0.2mm, H=0.4mm)

2.4 試験結果および考察 図6に破壊したサンプルの例を示す。3点曲げ試験結果と同様にガラス破壊の場合、接合面に対するき裂の進展角度は、き裂の進展と共に減少し接合界面が破壊する場合、接合部全面が界面で破壊した³⁾。また、同一の接合条件においては、破壊モードはすべて同一であり、接合温度300℃と400℃では、ガラスが破壊するが、接合温度200℃では主に接合界面が破壊した。

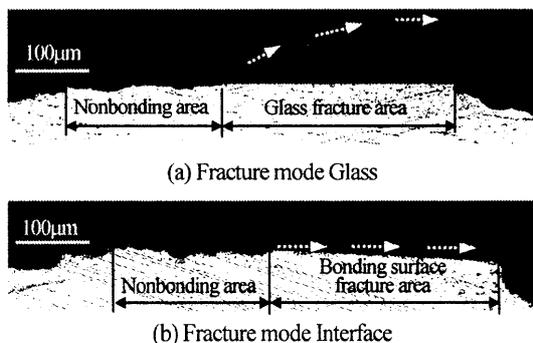


Fig. 6 Fractured specimen (Nonbonding length 0.2mm)

図7にダイシヤ試験と3点曲げ試験における破壊モードと破壊じん性値および標準偏差を接合条件ごとに示す。標準偏差はエラーバーで表した。試験方法によらず破壊じん性値の平均値およびばらつきは同等であり、ダイシヤ試験によって3点曲げ試験と同等の接合部の強度評価ができることが明らかになった。ガラス破壊の場合のロット間の平均破壊じん性値の差異は15%程度であることが明らかになった。また、試験を行なった条件内では、破壊モードは接合温度に依存することが明らかになった。接合界面が破壊する接合温度200℃の場合、接合強度が低く、ロット間の強度ばらつき以上に接合強度が低くなる。そのため、陽極接合は接合温度300℃以

上で行ない、界面破壊が起こらないようにすることが重要であると考えられる。

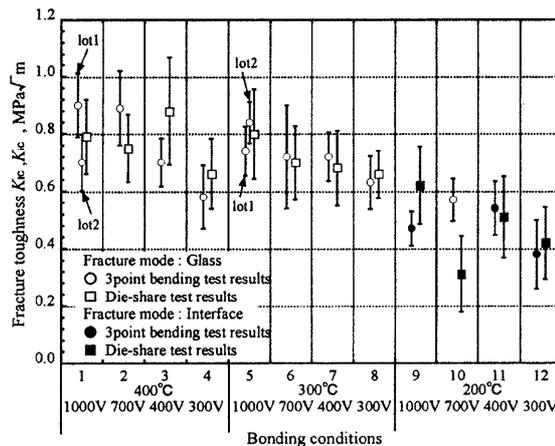


Fig. 7 Relationship between fracture toughness and bonding conditions

3 結言

MEMS パッケージの封止手法として用いられる陽極接合に対して、接合部にせん断負荷が作用した場合の強度試験方法としてダイシヤ試験を実施し、3点曲げ試験結果と比較検討した。得られた結論を以下に示す。

- (1) ダイシヤ試験による平均破壊じん性値およびばらつきは3点曲げ試験と同等であり、ダイシヤ試験によって接合部の強度評価が可能である。
- (2) 接合温度が200℃の場合、接合界面が破壊し、接合強度が低いため、接合温度300℃以上で接合する必要がある。

本研究の一部は「MEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクト」の一部として、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託を受けて行なわれたものである。

参考文献

- 1) M. A. Schmidt, "Wafer-to-wafer bonding for micro-structure formation", Proc. IEEE, Vol.86, pp.1575-1585 (1998).
- 2) W. P. Maszara, G. Goetz, A. Caviglia and J. B. McKitterick, "Bonding of silicon wafers for silicon-on-insulator", J. Applied Physics, Vol.64, pp.4943-4950 (1988).
- 3) A. Cozma and B. Puers, "Characterization of the electrostatic bonding of silicon and Pyrex glass", J. Micromech. Microeng., Vol.5, pp.98-102 (1995).
- 4) J. S. Go and Y-H. Cho, "Experimental evaluation of anodic bonding process based on the Taguchi analysis of interfacial fracture toughness", Sensors and Actuators A, Vol.73, pp.52-57 (1999).
- 5) J. Wei, H. Xie, M. L. Nai, C. K. Wong and L. C. Lee, "Low temperature wafer anodic bonding", J. Micromech. Microeng., Vol.13 (2003), pp.217-222.
- 6) M.Okada, T.Ikeda, N.Miyazaki, "Fracture strength of the anodic bonding", The 16th Computational Mechanics Conference, pp.763-764(2003), JSME.
- 7) M. X. Chen, X. J. Yi, Z. Y. Gan and S. Liub, "Reliability of anodically bonded silicon-glass packages", Sensors and Actuators A, Vol.120, pp. 291-295 (2005).
- 8) Y.Murakami, N.Hasebe, Y.Itoh, K.Kishimoto, H.Miyata, N.Miyazaki, N. Noda, C.Sakae, H.Shindo, K.Tohgo, Stress Intensity Factors Handbook Vol. 4, pp.4-7(2001)Elsevier Science.
- 9) R. Yuuki, H.Ishikawa, K.Kishimoto, J.Shu, "Mechanics of Interface", pp.102-103(1993), Baifukan Ltd.