

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6063475号
(P6063475)

(45) 発行日 平成29年1月18日(2017.1.18)

(24) 登録日 平成28年12月22日(2016.12.22)

(51) Int.Cl.

F 1

B81C	1/00	(2006.01)	B81C	1/00
B81B	3/00	(2006.01)	B81B	3/00
H01L	23/08	(2006.01)	H01L	23/08

A

請求項の数 20 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2014-546048 (P2014-546048)
(86) (22) 出願日	平成24年12月6日 (2012.12.6)
(65) 公表番号	特表2015-501734 (P2015-501734A)
(43) 公表日	平成27年1月19日 (2015.1.19)
(86) 國際出願番号	PCT/US2012/068092
(87) 國際公開番号	W02013/086083
(87) 國際公開日	平成25年6月13日 (2013.6.13)
審査請求日	平成27年8月10日 (2015.8.10)
(31) 優先権主張番号	61/567,877
(32) 優先日	平成23年12月7日 (2011.12.7)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	507071073 ジョージア・テック・リサーチ・コーポレーション アメリカ合衆国ジョージア州 30332, アトランタ, テンス・ストリート・ノース ウエスト 505
(73) 特許権者	514144456 ポール・エイ・コール アメリカ合衆国ジョージア州 30328, アトランタ, キャメロン・グレン・ドライブ 130

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】パッケージングに適合する、MEMSデバイスのウェハレベルキャッピング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ウェハレベル微小電気機械システム(MEMS)デバイスパッケージの製造方法であつて：

- a) 独立した可動性微小電気機械構造体を有する基材を提供し；
- b) 前記基材に重層した熱分解性犠牲層を形成し、前記犠牲層は、前記独立した可動性微小電気機械構造体を実質的に封入し；
- c) 前記犠牲層をパターニングし；
- d) 前記基材を、第1の温度にて第1の期間成形材料で封入し、前記犠牲層は依然として実質的に存在しており；そして
- e) 前記成形材料を第2の温度で硬化し、これにより、前記パターニングした犠牲層を熱分解して、前記独立した可動性微小電気機械構造体を包囲するキャビティを形成する、ことを含む、前記製造方法。

【請求項2】

前記基材がシリコン材料を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記犠牲層が、ポリカーボネート、ポリノルボルネン、ポリエーテル、ポリエステル、及びそれらの組み合わせから成る群より選択される材料から形成される、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

10

20

前記犠牲層が、ポリプロピレンカーボネート(PPC)、ポリエチレンカーボネート(PEC)、ポリシクロヘキサンカーボネート(PCC)、ポリシクロヘキサンプロピレンカーボネート(PCP)、ポリノルボルネンカーボネート(PNC)、及びそれらの組み合わせから成る群より選択されるポリカーボネートから形成される、請求項1に記載の方法。

【請求項5】

前記犠牲層が、ポリプロピレンカーボネート(PPC)又はポリエチレンカーボネート(PEC)から形成される、請求項1に記載の方法。

【請求項6】

前記犠牲層が光酸発生剤(PAG)を更に含む、請求項1に記載の方法。

10

【請求項7】

光酸発生剤(PAG)が、テトラキス(ペンタフルオロフェニル)ボレート-4-メチルフェニル[4-(1-メチルエチル)フェニルヨードニウム(DPITPPB)、トリス(4-t-ブチルフェニル)スルホニウムテトラキス-(ペンタフルオロフェニル)ボレート(TTBPS-TPFPB)、及びトリス(4-t-ブチルフェニル)スルホニウムヘキサフルオロホスフェート(TTBPS-HFP)から成る群より選択される、請求項6に記載の方法。

【請求項8】

犠牲層のパターニングの前に、前記犠牲層に重層した第1のオーバーコート層を提供することを更に含み、前記第1のオーバーコート層は、エポキシシクロヘキシルカゴ型シリセスキオキサン(EPOSS)、ポリイミド、ポリノルボルネン、エポキシ樹脂、ベンゾシクロブテンベースのポリマー、ポリアミド、及びポリベンゾオキサゾール(PBO)から成る群より選択されるポリマーから形成される、請求項1に記載の方法。

20

【請求項9】

前記犠牲層のパターニングが、最初に前記第1のオーバーコート層をパターニングし、前記第1のオーバーコート層のパターンを前記犠牲層に移すことを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項10】

前記第1のオーバーコート層を前記犠牲層の前記パターニング後に除去する、請求項9に記載の方法。

30

【請求項11】

前記第1のオーバーコート層をエポキシシクロヘキシルカゴ型シリセスキオキサン(EPOSS)から形成する、請求項8に記載の方法。

【請求項12】

前記犠牲層が、1 μm ~ 10 μmの厚さを有する、請求項1に記載の方法。

【請求項13】

前記第1のオーバーコート層が、0.1 μm ~ 3 μmの厚さを有する、請求項11に記載の方法。

【請求項14】

前記成形材料が、0.1 mm ~ 5 mmの厚さを有する、請求項1に記載の方法。

40

【請求項15】

前記成形材料がエポキシ化合物である、請求項1に記載の方法。

【請求項16】

前記成形を、160 ~ 200の温度及び8 MPa ~ 12 MPaの射出ゲージ圧で射出成形することにより実施し、前記犠牲層を180 ~ 250の温度で分解する、請求項1に記載の方法。

【請求項17】

前記犠牲層がポリエチレンカーボネート(PEC)から形成される、請求項1に記載の方法。

【請求項18】

50

前記光酸発生剤（PAG）が、ジフェニルヨードニウム塩又はトリフェニルスルホニウム塩である、請求項6に記載の方法。

【請求項19】

近接する第2のオーバーコート層を更に含み、前記第2のオーバーコート層は、前記パターニングした犠牲層を封入し、前記基材の一部に重層している、請求項8に記載の方法。

【請求項20】

前記第2のオーバーコート層が、0.1 μm ~ 3 μmの厚さを有する、請求項19に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本願は、本明細書中にその全体が援用される、2011年12月7日提出の米国仮特許出願第61/567,877号の利益を主張するものである。

【0002】

技術分野

本発明は、微小電気機械システム（MEMS）デバイスパッケージに関するものである。より具体的には、本発明は、微小電気機械システム（MEMS）デバイスパッケージの作製方法に関するものである。

20

【背景技術】

【0003】

近年、微小電気機械システム（MEMS）構造体及びデバイスの加工は大きく進歩している。しかしながら、削減されたコストでの適切なパッケージングは、依然として、それらの総合的潜在性を実現するための極めて重要な課題である（例えば非特許文献1参照）。例えば、MEMSベースの製品の典型的なパッケージング費用は、そのような製品のコスト全体の20~40%にもなる可能性がある。したがって、コスト効率が良く、集積回路（IC）に適合するMEMSパッケージングプロセスは、MEMSデバイスの総合的潜在性を著しく向上させるであろう。

【先行技術文献】

30

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】Fritzら、“Lead frame packaging of MEMS devices using wafer-level, air-gap structures”、NSTI-Nanotech 2011、2、2011年、314~317頁

【非特許文献2】Esashi、“Wafer level packaging of MEMS”、J. Micromech. Microeng. 18 (2008年)、1~13頁

【非特許文献3】Sahaら、“Three dimensional air-gap structures for MEMS packaging”、Proceedings of the 2010 Electronic Components and Technology Conference、ネバダ州、2010年、811~815頁

40

【非特許文献4】Ganら、“Getter free vacuum packaging for MEMS”、Sensors and Actuators A: Physical、149、(2009年)、159~164頁

【非特許文献5】Josephら、“Wafer-level packaging of micromechanical resonators”、IEEE Transactions on Advanced Packaging、30(1)、2007

50

年、19~26頁

【非特許文献6】Monajemirら、“Characterization of a polymer based MEMS packaging technique”、11th International Symposium on Advanced Packaging Materials: Processes, Properties and Interface、2006年、139~144頁

【非特許文献7】Monajemirら、“A low-cost wafer level MEMS packaging technology”、IEEE International Conference on MEMS、2005年、634~637頁

10

【非特許文献8】Rais-zadehら、“A packaged micromachined switched tunable inductor”、Proceedings of MEMS 2007、日本、2007年、799~802頁

【非特許文献9】Reedsら、“Compliant wafer level package (CWLP) with embedded air-gaps for several leads (SOL) interconnections”、Proceedings of the IEEE 2001 International Interconnect Technology Conference、151~153頁

【非特許文献10】Fritzら、“Photodefinable epoxycyclohexyl polyhedral silsesquioxane”、Journal of Electronic Materials、39(2)、2010年、149~156頁

20

【非特許文献11】Chenら、“Copolymerization of carbon dioxide and epoxides with a novel effective Zn-Ni double-metal cyanide complex”、Journal of Applied Polymer Science、107、2008年、3871~3877頁

【非特許文献12】Duら、“Synthesis and degradation behavior of poly(propylene carbonate) derived from carbon dioxide and propylene oxide”、Journal of Applied Polymer Science、92、2004年、1840~1846頁

30

【非特許文献13】Spencerら、“Stabilization of the thermal decomposition of poly(propylene carbonate) through copper ion incorporation and use in self-patterning”、Journal of Electronic Materials、40(3)、1350~1363頁

【非特許文献14】Fritzら、“Polycarbonates as temporary adhesives”、International Journal of Adhesion & Adhesives、38(2012年)45~49

40

【非特許文献15】Wu, X.ら、“Fabrication of microchannels using polynorbornene photosensitive sacrificial materials”、Journal of The Electrochemical Society、150(9)、2003年、H205~H213頁

【非特許文献16】Vlassakisら、“A new bulge test technique for the determination of young modulus and Poisson ratio of thin-films”、Journal of Materials Research、7(12)、3242~3249頁

50

【非特許文献17】Huangら、“Stress, sheet resistance, and microstructure evolution of electro plated Cu films during self-annealing”、IEEE Transactions on Device and Materials Reliability、10(1)、2010年、47~54頁

【非特許文献18】Spencerら、“Decomposition of poly(propylene carbonate) with UV sensitive iodonium salts”、Polymer Degradation and Stability 2011、96、686~702頁

【非特許文献19】Pourkamaliら、“Low-impedance VHF and UHF capacitive silicon bulk acoustic wave resonators - Part I: Concept and fabrication”、IEEE Transactions on Electron Devices、54(8)、2007年、2017~2023頁 10

【非特許文献20】Pourkamaliら、“Low-impedance VHF and UHF capacitive silicon bulk acoustic-wave resonators - Part II: Measurement and characterization”、IEEE Transactions on Electron Devices、54(8)、2007年、2024~2030頁

【図面の簡単な説明】 20

【0005】

【図1】図1は、本発明の態様に従った、ウェハレベルパッケージのためのプロセスフローを示す。

【図2】図2は、本発明の態様に従った、より小さな模擬デバイス上に形成したキャビティのSEM顕微鏡写真を示すものであり、デブリのない犠牲層の分解を示す。

【図3】図3Aは、犠牲材料を分解してキャビティを形成した後の亀裂の入った薄いオーバーコート層を示す。図3Bは、60%オーバーコート材料溶液の単一スピンドルコーティングにより形成した厚く亀裂のないオーバーコート層を有するキャビティを示す。図3Cは、40%オーバーコート材料溶液の多重スピンドルコーティングにより形成した厚く亀裂のないオーバーコート層を有するキャビティを示す。 30

【図4】図4Aは、第1の時間及び温度にて厚いオーバーコートを介して犠牲材料を不完全分解した後の、残留犠牲材料を有するエアキャビティを示す。図4Bは、第1の温度より高い第2の温度にて犠牲材料を分解した後の、亀裂が入ったオーバーコート層を有するエアキャビティを示す。図4Cは、最適化した時間及び温度にて犠牲材料を分解した後の、残留物がなく機械的に頑強な外観を有するエアキャビティを示す。

【図5】図5は、本発明の態様に従って形成した、圧電デバイスをパッケージングするために用いられる大きなキャビティを示すものであり、そのようなキャビティは、残留物がなく機械的に頑強な外観を有するキャビティを提供する一方、幅の広いトレンチ及び平坦でないトポグラフィーを示す。

【図6】図6は、1μmのアルミニウムオーバーコートを有する幅20μmのキャビティの4mNの力におけるナノインデンテーションが、そのようなキャビティの完全な崩壊を引き起こすことを示す(貼付図(inlay)は、キャビティ上のナノインデンテーションスポットを示す)。 40

【図7】図7Aは、1μmのAlオーバーコートを有する幅20μmのキャビティが、4MPaの圧力での圧縮成形下で無傷のままであることを示す。図7Bは、幅50μmのキャビティが、10MPaの圧力での圧縮成形下で完全に崩壊することを示す。図7Cは、1μmのAlオーバーコートを3μmの銅で置き換えた場合、幅50μmのキャビティが、10MPaの圧力での圧縮成形下で0.5μmしか撓まないことを示す。

【図8A】図8Aは、圧縮されたキャビティの正規化応力プロファイルを示す。

【図8B】図8Bは、効率的にキャビティを設計すると、制御された犠牲材料の分解によ 50

り、成形中の応力／損傷の低減をもたらすことができることを示す。

【図9】図9は、8時間で分解されるポリカーボネートの等温TGAを示す。

【図10】図10Aは、横に切断された、その場で分解／硬化したチップレベルパッケージの、190におけるPPCの分解により形成された直径2mm、高さ18μmのキャビティを示す。図10Bは、横に切断された、その場で分解／硬化したチップレベルパッケージの、185におけるPECの分解により形成された直径2mm、高さ12μmのキャビティを示す。

【図11A】図11Aは、パッケージングした容量性共振デバイスを示すものであり、デバイスは、クリーンな検出電極を示す。

【図11B】図11Bは、パッケージングした容量性共振デバイスを示すものであり、デバイス性能を測定すると良好であった。 10

【発明の詳細な説明】

【0006】

本明細書において、「キャビティ」という用語は、犠牲材料の分解により作り出される空間を意味すると理解されるであろう。さらに、前記用語は、「エアキャビティ」、「ガスキャビティ」、「真空キャビティ」、「空隙」、及び公知の技術で用いられている他の同様の用語を包含することが理解されるであろう。

【0007】

本明細書において、「透過する」及び「透過」という用語は、ガス状材料が固体材料中に溶解し、前記固体材料を通って拡散し、前記材料から蒸発するプロセスを表す。 20

【0008】

現在、MEMS構造体及びデバイスに関して商用のさまざまなウェハレベルパッケージング法がある。そのようなウェハレベルパッケージング法としては、とりわけ、シリコンと同様の熱膨張率を有するPYREX(登録商標)ガラスリッドの界面接合；溶融温度が低いガラス及びはんだなどの中間溶融材料での前記リッドの接合；並びに、表面マイクロマシニングを用いた封入が挙げられる。界面接合は、適切な高温においてガラスに負電圧をかけることによりガラスリッドをMEMSウェハに陽極接合するか、又はプラズマ活性化接合により達成することができる。このタイプの接合の場合、電気フィードスルーハーは一般にリッド又はウェハを貫いて作製される。中間溶融材料の使用は、横方向の電気フィードスルーハーが採用される非平面表面に適用することができる。表面マイクロマシニングを採用する場合、一般に犠牲層のエッチングによりキャビティを作製し、その後、犠牲層の除去に必要な開口部を封止材料の付着により塞ぎ、こうしてMEMS構造体／デバイスを封入する。真空キャビティが必要な場合、一般に共振器及び赤外線センサーなどのMEMSデバイスの場合のように、上記方法のいずれかの最終封止を適切な低い圧力で遂行する。電気相互接続のための電気フィードスルーハー構造体は、ウェハレベルパッケージングに必要不可欠である。非特許文献2参照。 30

【0009】

空隙構造体又はキャビティは、面内及び面を通過する動作が可能なMEMS及びナノ電気機械システム(NEMS)を加工するためのミクロ及びナノ表面マイクロマシニングプロセスに用いられてきた(例えば非特許文献3参照)。これらのキャビティ構造体では、電気部品及び機械部品の絶縁に望ましい低温熱分解性犠牲材料が用いられる。オーバーコート材料は一般にこれらの構造体上に採用され、応力及び温度の影響を許容すべきであるほか、上記犠牲材料の分解副生成物を透過すべきである。気密封止又は機械的強度の強化が望ましい場合、金属オーバーコートを採用することができる(非特許文献4参照)。総体的に、犠牲層、オーバーコート及び気密封止のための材料は、既存のプロセスに適合し、良好な層間接着をもたらすべきである。 40

【0010】

エアキャビティ技術を用いるMEMS構造体のウェハレベルパッケージングについては、非常に多くの報告が公開されている。非特許文献5は、薄いSiO₂フィルムを介したUNITY(登録商標)2303ポリマーの分解を用いて、パッケージングされたMEM 50

S共振器の一部であるキャビティを加工した（非特許文献5参照）。しかしながら、非特許文献5の処理プロトコルは、最初に酸化物マスクを用いてUNI T Y層をパターニングするため複雑である。機械的強度を得、接着パッドを露出させるために、酸化物／ポリマー（AVATREL（登録商標））オーバーコートが用いられた。同様の方法が、バラクター及び加速度計をパッケージングするために用いられている。

【0011】

非特許文献6のエアキャビティアプローチによるパッケージングの後、MEMSデバイスの性能の改善が観察された（非特許文献6参照）。非特許文献6は、感光性及び非感光性UNI T Yの両方を用いてキャビティを形成し、広範なMEMSデバイスを良好にパッケージングした。しかしながら、この処理プロトコルはUNI T Yなどの自己感光性材料の使用により簡素化されるが、そのような材料では一般に、パターニングに利用される光活性化合物に由来すると考えられる残留物が残る（非特許文献7参照）。非特許文献8は、犠牲ポリマーとしてUNI T Y、オーバーコート材料としてAVATRELを同様に用いて調節可能な誘電子をパッケージングしたが、非特許文献8は自己感光性UNI T Yを用いず、別個の材料がそのパターニングに用いられた（非特許文献8参照）。非特許文献9は、高いオンチップ電流をもたらし、テラビット（単数／複数）のバンド幅を可能にするエアキャビティを含有する、コンプライアントなウェハレベルプロセスを開発した（非特許文献9頁参照）。

【0012】

今回、MEMS構造体／デバイスのパッケージングに有用なキャビティを、最終パッケージングプロセス中、例えば成形材料の硬化中に加工できることを見いだした。例えば、エポキシシクロヘキシルカゴ型シリセスキオキサン（EPOSS）は、ポリプロピレンカーボネート（PPC）などの犠牲材料のパターニングと、オーバーコートとして構造剛性を提供することの両方に有用であることが見いだされている（非特許文献10参照）。EPOSSは、電子デバイスのマイクロ加工における永久誘電体としての使用に興味深い機械的及び化学的安定性を有するハイブリッド有機／無機誘電体である。したがって、EPOSSは、犠牲材料、例えばPPCのパターニング、及びキャビティのオーバーコートに用いることができる。結果として、処理工程数が減少し、これによりパッケージングのコストが低下する。また、3材料系のPPC/EPOSS/金属を用いると、デバイスのサイズ及び機能性に関係なく、ウェハレベルで広範なMEMSデバイスを収容することができるキャビティを作り出せることを見いだした。

【0013】

本明細書に記載のキャビティシステムは、チップレベルパッケージングの要件に従ったキャビティを包囲する上部構造体の強度を変化させる可撓性も有する。例えば、エポキシなどの成形材料を包含するリードフレームパッケージは、高圧で成形され、高温で硬化される。さまざまな成形技術が公知であり、例えば射出成形、圧縮成形、及びトランスマスター成形が用いられているが、本発明に従った態様を用いて、そのような成形技術の一部としてキャビティを形成できることが見いだされた。すなわち、本発明の態様に従ったMEMSデバイスを含有するさまざまなキャビティのパッケージングは、上記成形プロセス中又はその後にその場で犠牲材料を分解することにより実施することができる。これは、大きな半気密性リードフレームパッケージに特に有用である。いくつかの態様に従った成形プロセス中、チップレベルパッケージは実質的にすべての犠牲材料を保持し、犠牲材料の分解、すなわちキャビティの形成は、エポキシなどの成形材料の硬化工程中かその後に実施される。このように、成形プロセス中は存在している犠牲材料は、成形材料の硬化中又は硬化後までキャビティが形成されないため、そのようなキャビティのあらゆる崩壊を妨げる。したがって、このその場での方法の態様により、気密封止が必要でないかもしれない場合を含め、さまざまなパッケージされたデバイスのための非常に大きなチャネル及びキャビティの形成が可能になる。

【0014】

したがって、本発明の実施に従って、ウェハレベル微小電気機械システム（MEMS）

10

20

30

40

50

デバイスパッケージの製造方法を提供するものであり、当該方法は：

- a) 独立した可動性微小電気機械構造体をその上に有する基材を提供し；
- b) 前記基材上に熱分解性犠牲層を形成し、前記犠牲層は、前記独立した可動性微小電気機械構造体を実質的に封入し；
- c) 前記犠牲層をパターニングし；
- d) 所望により、近接する第2のオーバーコート層を形成し、前記第2のオーバーコート層は、前記パターニングした犠牲層を封入し、前記基材の一部に重層しており；
- e) 所望により、前記基材をチップレベルパッケージ基材に連結し；
- f) 前記基材及び存在する場合は前記パッケージ基材を、第1の温度にて第1の期間成形材料で封入し、前記犠牲層は依然として実質的に存在しており；そして

g) 前記成形材料を第2の温度で硬化し、これにより、前記パターニングした犠牲層を熱分解して、前記独立した可動性微小電気機械構造体を包囲するガスキャビティを形成する、

ことを含む。

【0015】

基材

MEMSデバイスの加工で典型的に用いられる半導体基材を、基材又はその一部として本発明の態様で利用することができる。代表的な材料としては、限定されるものではないが、シリコン、シリコン化合物、ゲルマニウム、ゲルマニウム化合物、ガリウム、ガリウム化合物、インジウム、インジウム化合物、あるいは他の半導体材料及び／又は化合物が挙げられる。加えて、そのような基材としては、非半導体基材材料、例えば、ガラス、ダイヤモンド、石英、及びサファイアなどの誘電体材料、銅、金、銀、又はアルミニウムなどの金属、アルミナ又は炭化ケイ素などのセラミック材料、あるいはプリント配線板に見いだされる任意の有機材料を挙げることができる。接点は、付着性及び熱特性などを適切に考慮した上で、金属及び／又は金属合金などの導体から形成する。

【0016】

本発明のいくつかの態様に従って、基材はシリコン材料を包含する。具体的には、基材はシリコンウェハである。他のいくつかの態様において、基材は非シリコン材料を包含する。適した非シリコン材料としては、限定されるものではないが、先に挙げた基材材料のいずれかが挙げられる。具体的には、非シリコン材料としては、限定されるものではないが、先に挙げた他のもののうち、金属、ガラス、セラミック、又はプラスチック材料が挙げられる。

【0017】

犠牲層

当該技術分野で公知のさまざまな犠牲材料を用いて、本発明に従った態様で採用される犠牲層を形成することができる。上記のように、そのような犠牲材料の1つはポリカーボネートである。具体的にはポリプロピレンカーボネート(PPC)である。PPCは、触媒存在下の高圧で重合される二酸化炭素とプロピレンオキシドのコポリマーである(例えば非特許文献11参照)。高純度型PPCは、主鎖にエーテル結合不純物がない規則的な交互単位で存在する。PPCは、鎖の分断及び開裂(unzipping)機構により分解すると考えられる。環状モノマーは直鎖状ポリマーより熱力学的に好ましいため、分解は低温における鎖の開裂を介して進む(非特許文献12参照)。より高温では、鎖の分断が開裂分解機構と競合する。PPCは、不活性雰囲気でも酸素に富んだ雰囲気でも残留物をほとんど生ずることなくきれいに低分子量生成物に分解するため、マイクロエレクトロニクスに魅力的な犠牲材料である(非特許文献13参照)。

【0018】

キャビティは、PPC層が分解し、分解生成物がオーバーコートを透過することにより形成され、こうしてキャビティが残る。犠牲層としても使用できるいくつかの他のポリカーボネート系が文献で知られている。そのような他のポリカーボネート系は、一般にPPCの分解温度とは異なる温度で熱分解を受ける。そのような代表的ポリカーボネートとし

10

20

30

40

50

ては、限定されるものではないが、ポリエチレンカーボネート（P E C）、ポリシクロヘキサンカーボネート（P C C）、ポリシクロヘキサンプロピレンカーボネート（P C P C）、ポリノルボルネンカーボネート（P N C）などが挙げられる。これらのポリカーボネートの1種以上の任意の組み合わせ、及びそれらから形成され得るコポリマーの任意の組み合わせも採用できることに更に留意すべきである。

【0019】

本発明の他の態様において、犠牲層を形成するために用いることができるさまざまなポリマーも提供する。そのようなポリマーの例としては、限定されるものではないが、ポリノルボルネン、ポリエーテル、ポリエステル、それぞれの官能化化合物、及びそれらの組み合わせが挙げられる。ポリノルボルネンとしては、限定されるものではないが、アルケニル置換ノルボルネン（例えばシクロアクリレートノルボルネン）を挙げることができる。1種以上のこれらのポリマーを、上記の1種以上のポリカーボネートと組み合わせて用いることもできる。

【0020】

本発明のいくつかの態様に従った犠牲層の他の特徴は、適した放射線によるパターン形成能力である。このように、上記ポリマーは、得られる配合物が上記のように適切にパターニングされるとともに熱分解され得る限り、単独で、又は適切な添加剤と組み合わせて用いることができる。

【0021】

分解温度を下げるためだけでなく、パターニングのためにも、光酸発生剤（P A G）などの添加剤をP P C組成物などのポリカーボネート組成物に加え得ることは公知である。非特許文献14は、動的熱重量分析（T G A）を用いて、異なるポリカーボネートが異なる温度で熱分解することを示した。例えば、P E Cは165で分解し（50%重量損失）、P P Cは210で分解し、P C CとP C P Cコポリマーはともに275で分解した。したがって、加工するM E M Sデバイスの目的の用途及び用いられる基材材料のタイプに応じて、異なるポリマーを採用して犠牲層を形成することができる。非特許文献14参照。

【0022】

加えて、上記のように、犠牲層の形成に用いられる配合物又は組成物にさまざまな他の添加剤／成分を加えることができ、これにより熱分解のプロフィール及び温度を要望通りに合わせることができる。また、他の添加剤を用いて、熱放射線及び／又は光放射線に対する犠牲ポリマーの安定性の向上又は低下を含め、加工性を改変することができる。この点で、添加剤としては、限定されるものではないが、光開始剤及び光酸開始剤を挙げることができる。例えば、適したP A Gをポリカーボネートに加えると、一般にポリカーボネートの分解温度は低下する。すなわち、P A G材料は熱分解して酸になり、ポリカーボネート、例えばP P Cの分解温度を低下させる。紫外線に曝露すると、酸はより低い温度で発生し、100ほどの温度でP P C分解を触媒する。したがって、本発明のいくつかの態様において、犠牲層はP A Gを更に包含する。

【0023】

当業者に公知の、上記結果をもたらすであろうP A Gのいずれかを、本発明で採用することができる。簡潔に言えば、本発明で採用することができるP A Gは、求核性ハロゲニド（例えば、ジフェニルヨードニウム塩、ジフェニルフルオロニウム塩）及び錯体金属ハロゲン化物アニオン（例えば、トリフェニルスルホニウム塩）である。代表的なP A Gとしては、限定されるものではないが、テトラキス（ペンタフルオロフェニル）ボレート-4-メチルフェニル[4-(1-メチルエチル)フェニルヨードニウム（D P I - T P F P B）、トリス(4-tert-ブチル)フェニルスルホニウムテトラキス-(ペンタフルオロフェニル)ボレート(T T B P S - T P F P B)、トリス(4-tert-ブチル)フェニルスルホニウムトリフレート(T P S - T f)；トリアジン(T A Z - 101)；トリフェニルスルホニウムトリフレート(T P S - T f)；トリアジン(T A Z - 101)；トリフェニルスルホニウムヘキサフルオロスフェート(T T B P S - H F P)、トリフェニルスルホニウムトリフレート(T P S - T f)；トリアジン(T A Z - 101)；トリフェニルスルホニウムヘキサフルオロアンチモネート(T P S - 103)；ロードシ

10

20

30

40

50

ルTM光開始剤2074(FABA)；トリフェニルスルホニウムビス(ペルフルオロメタンスルホニル)イミド(TPS-N1)；ジ-(p-t-ブチル)フェニルヨードニウムビス(ペルフルオロメタンスルホニル)イミド(DTBP1-N1)；トリス(ペルフルオロメタンスルホニル)メチド(TPS-C1)；ジ-(p-t-ブチルフェニル)ヨードニウムトリス(ペルフルオロメタンスルホニル)メチド(DTBP1-C1)；ジフェニルヨードニウムヘキサフルオロホスフェート、ジフェニルヨードニウムヘキサフルオロスチベート(hexafluorostibate)、ビス(4-(tert-ブチル)フェニル)ヨードニウムヘキサフルオロホスフェート、ビス(4-(tert-ブチル)フェニル)ヨードニウムヘキサフルオロスチベート(DTBP1-Tf)、ジフェニルヨードニウムトリフルオロメタンスルホネート、ジフェニルヨードニウム1,1,2,2,3,3,4,4,4-ノナフルオロブタン-1-スルホネート；ビス(4-(tert-ブチル)フェニル)ヨードニウムトリフルオロメタンスルホネート；ビス(4-(tert-ブチル)フェニル)ヨードニウム1,1,2,2,3,3,4,4,4-ノナフルオロブタン-1-スルホネート；及びそれらの組み合わせが挙げられる。

【0024】

PAGなどの感光性添加剤なしで犠牲ポリマーを単独で用いる場合、パターニングは、他の公知の方法のいずれか、例えば、犠牲ポリマーに重層したパターニングされた層を形成した後の反応性イオンエッティング(RIE)、又は他の任意の適した方法により実施することができる。

【0025】

本発明の方法の後続工程に基づいて、犠牲層を適切に選択できることに更に留意すべきである。例えば、典型的には射出成形後に約180℃の硬化温度を必要とするエポキシ材料を成形材料として用いる場合、同温度付近で分解する適した犠牲材料により、キャビティの作製及びエポキシ硬化が同時に可能になるであろう。したがって、この温度範囲で分解する犠牲材料、例えばポリエチレンカーボネート(PEC)を採用することができる。採用される犠牲材料は、同様の物理的特性を示すが異なる分解温度を特徴とするが一般的に有利である。すなわち、例えば、PECとPPCは同様の物理的特性を示すが、分解温度は異なる。分解温度は、上記のように、PAGなどの添加剤により更に改変することができる。

【0026】

開示の犠牲組成物又は配合物の態様としては、限定されるものではないが、犠牲ポリマー及び1種以上のポジ型又はネガ型成分が挙げられる。上記のように、ポジ型又はネガ型成分は犠牲層のパターニングに役立つ。ポジ型成分としては上記のような光酸発生剤を挙げることができる。

【0027】

ネガ型成分としては、犠牲ポリマーに架橋をもたらす反応物を発生させる化合物を挙げることができる。ネガ型成分としては、例えば、限定されるものではないが、感光性フリーラジカル発生剤を挙げることができる。(例えば、架橋性エポキシド官能化系において)PAGなど別のネガ型成分を用いてもよい。

【0028】

ネガ型感光性フリーラジカル発生剤は、光に曝露されると少なくとも1つがフリーラジカルである2以上の化合物に分かれる化合物である。とりわけ、ネガ型光開始剤としては、限定されるものではないが、ビス(2,4,6-トリメチルベンゾイル)-フェニルホスフィンオキシド(イルガキュア819、チバ・スペシャルティ・ケミカルズ株式会社)；2-ベンジル-2-ジメチルアミノ-1-(4-モルホリノフェニル)-ブタノン-1(イルガキュア369、チバ)；2,2-ジメトキシ-1,2-ジフェニルエタン-1-オン(イルガキュア651、チバ)；2-メチル-1[4-(メチルチオ)-フェニル]-2-モルホリノプロパン-1-オン(イルガキュア907、チバ)；ベンゾインエチルエーテル(BEE、アルドリッヂ)；2-メチル-4'--(メチルチオ)-2-モルホリノ-プロピオフェノン；2,2'-ジメトキシ-2-フェニル-アセトフェノン(イルガ

10

20

30

40

50

キュア 1300、チバ) ; 2, 6-ビス(4-アジドベンジリデン)-4-エチルシクロヘキサノン(BAC-E)、及びこれらの組み合わせを挙げることができる。

【0029】

PAGなどの光活性化合物は、犠牲ポリマーの約0.5~約5重量%で存在することができる。とりわけ、PAGは、犠牲ポリマーの約1~3重量%で存在することができる。

【0030】

光酸発生剤及び犠牲ポリマーに帰さない、犠牲組成物の残りの百分率(例えば約50%~約99%)は、限定されるものではないが、メチレン、N-メチル-2-ピロリジノン、炭酸プロピレン、アニソール、シクロヘキサノン、プロピレングリコールモノメチルエーテルアセテート、酢酸N-ブチル、ジグリム、3-エトキシプロピオン酸エチル、及びこれらの組み合わせなどの溶媒で一般的に構成され得る。

10

【0031】

さまざまな技術、例えば、スピンドルコーティング、ドクターブレード法、スパッタリング、積層法、スクリーン印刷若しくはステンシル印刷、溶融物分配(melt dispensing)、化学蒸着(CVD)、及びプラズマベースの付着システム、又は他の同様に公知技術を用いて、熱分解性犠牲層を基材上に適用することができる。

【0032】

チップレベルパッケージング

本明細書におけるMEMSパッケージングへの言及は、機械的構造体をリリースし、その周囲に保護構造体を形成することをさすと理解されるであろう。また、本明細書におけるチップレベルパッケージングへの言及は、チップ又はダイに構造的及び環境的保護を提供すると同時に、そのようなチップを他の手段に電気接続するための手段を提供することを対象とするパッケージングをさすと理解されるであろう。代表的なチップレベルパッケージとしては、限定されるものではないが、シングルインラインパッケージ及びデュアルインラインパッケージ、ポールグリッドアレイ及びピングリッドアレイ、リードチップキャリア、ならびにフラットパックが挙げられ、ここで、そのような代表的パッケージはそれぞれ、チップレベルパッケージ基材を含む。

20

【0033】

これまで、そのようなMEMSパッケージングは、チップレベルパッケージングの前の別個のプロセスとして実施されており、そのため、チップレベルパッケージング中に生じ得るあらゆる応力に耐えることができる構造体が必要であった。本発明に従った態様では、MEMSパッケージングとチップレベルパッケージングとが単一プロセスでもたらされ、有利である。

30

【0034】

オーバーコート層

上記のように、本発明に従った態様のMEMSパッケージング方法は、犠牲層のみを用いて実施することができる。有利なことに、本発明のこの特徴は、自己パターニングし得るか、上記のようにPAGなどの適した添加剤を添加することによりパターニングし得る組成物にすることができる犠牲材料により適したものであり得る。上記したように、犠牲層のそのようなパターニングは、公知のフォトリソグラフィーやエッチング技術を用いて実施することもできる。加えて、そのような犠牲材料は、一般に、以下に更に記載するような厳しい成形封入条件に耐えられる、良好な機械的、化学的、及び物理的特性を特徴とする。

40

【0035】

本発明に従った態様は、犠牲層のパターニングの前に、犠牲層に重層した第1のオーバーコート層を提供することを更に包含すると有利である。さまざまな有機/無機材料及び/又は化合物をオーバーコート層として用いることができる。オーバーコート層を形成するために用いられるオーバーコート材料の性質は、キャビティ構造体の設計において重要である。一般に、キャビティを包囲するオーバーコート層は、MEMSデバイスに機械的、電気的、化学的、及び/又は環境的保護を提供する。特定のMEMSデバイス又は特定

50

の用途に応じて、異なるレベルの保護が望ましいかもしれない。一般に、キャビティは、必ずしも通気性がよいわけではないガスを含有することができる密閉域であり、いくつかの態様において、キャビティは真空状態下にある。キャビティは一般に上部構造体により密閉されている。

【 0 0 3 6 】

一般に、MEMS構造体は、作業環境からのデバイスの保護と、デバイスの材料及び操作からの環境の保護を確実にするように、パッケージングされる。例えば、1つの保護レベルでは、他の機械的構造体への干渉からの保護か、MEMS構造体の構造的保全性を確実にする物体が提供される。このタイプの密閉では、オーバーコート層を、MEMSデバイスの特定の操作環境の一般的厳しさに耐えることができる材料で作製することができる。他の追加的保護レベルは、酸素又は水への曝露からの保護を更に提供することができる（例えば気密密閉）。したがって、このタイプの保護では、一般にオーバーコート層を、エアキャビティの周囲に気密封止をもたらす金属材料で作製する。加えて、いくつかのオーバーコート層は、外部の気体への曝露からの保護を更に提供する追加的保護レベルを提供することもできる。この最後の保護レベルでは、エアキャビティの内側に真空がもたらされ、オーバーコート層は、エアキャビティの内側に真空を維持する金属材料で一般に作製される。オーバーコート層が、犠牲層の分解により形成される分解ガス及び／又は生成物の透過及び／又は通過を可能にできることも望ましいかもしれない。さらに、本発明の態様のいくつかでは、パターニングした犠牲層と基材の重層している部分とを封入できる第2のオーバーコート層を提供することも有利であり得る。

【 0 0 3 7 】

したがって、非常に多くの材料を、加工されるMEMSのタイプに応じてオーバーコート層として用いることができる。オーバーコート層として適している代表的なポリマー、化合物、及び／又は材料としては、限定されるものではないが、かご型シルセスキオキサン（POSS）などのハイブリッド無機／有機誘電体化合物が挙げられる。非常に多くのPOSS材料が文献で公知であり、そのようなモノマー及び／又はポリマー化合物のすべてを本発明のオーバーコート層として用いることができる。POSSは興味深いフィルム特性を特徴とし、架橋に用いることができる官能化有機側基を有する剛性酸化ケイ素ケージを有する。そのようなPOSSの例は、エポキシシクロヘキシルかご型シルセスキオキサン（EPOSS）である。オーバーコート層として適している他の材料としては、ポリイミド、ポリノルボルネン、エポキシ樹脂、ベンゾシクロブテンベースのポリマー、ポリアミド、及びポリベンゾオキサゾール（PBO）が挙げられる。これらの材料の多くは市販されている。例えば、さまざまなポリイミドを購入することができる：パイラリンPI-2540、PI-2555、PI-2611、PI-2734、PI-2771、及びHD4000（HDマイクロシステムズ、ニュージャージー州パーリン；フォトニースDL-1000（東レ）、並びにPWD C-1000（ダウ・コーニング、ミシガン州ミッドランド）。さまざまなポリノルボルネンは、アバトレルEPM、アバトレル2090Pなど（プロメラスLLC、オハイオ州ブレックスビル）として入手可能である。商業的エポキシ樹脂としては、とりわけ、SU-82025（マイクロケム社、マサチューセッツ州ニュートン）が挙げられる。ベンゾシクロブテンベースのポリマーは、シクロテン3022-63（ダウ・ケミカル、ミシガン州ミッドランド）として市販されている。PBOは、スミレジンエクセルCRC-8650（住友ベークライト、日本）として市販されている。オーバーコート層も、上記技術、例えば、スピンドルコーティング、ドクターブレード法、スパッタリング、積層法、スクリーン印刷若しくはステンシル印刷、化学蒸着（CVD）、プラズマベースの付着システムなどを用いて、基材上に付着させることができる。

【 0 0 3 8 】

有利なことに、今回、スピンドルコーティングした感光性ハイブリッド無機／有機誘電体、例えばEPOSSの使用が、効果的なオーバーコート材料として機能することを見いだした。さらに、今回、光感光性誘電体の形のEPOSSを、光開始触媒をEPOSSに加えることにより作り出せることを見いだした。EPOSSをメチレンに溶解して、40重

10

20

30

40

50

量%又は60重量%溶液を作製することができる。ヨードニウム光酸発生剤をEPOSSの1重量%で加え、増感剤をEPOSSの0.33重量%で加えて、365nmで感光性を示す配合物を作製する。このように、本発明の態様のこの側面に従って、犠牲層のパターニングは、最初に第1のオーバーコート層をパターニングし、第1のオーバーコート層のパターンを犠牲層に移すことを包含する。

【0039】

有利なことに、EPOSSを利用することにより、犠牲材料と一緒に添加剤を包含させること又はそのような犠牲層のパターニングにのみ有用な層の除去を必要とすることなく、ポリプロピレンカーボネート(PPC)などの犠牲材料を容易にパターニングすることができる。上記のように、EPOSSは、電子デバイスのマイクロ加工で永久誘電体として用いるのに興味深い機械的及び化学的安定性を有するハイブリッド有機/無機誘電体である。有利なことに、PPCをパターニングするためにそしてキャビティのオーバーコート材料としてEPOSSを利用することにより、処理工程数が減少し、結果としてパッケージングのコストが低下する。有利なことに、本発明に従った態様は、デバイスのサイズや機能性に関係なく、ウェハレベルで広範なMEMSデバイスを収容することができるキャビティを作り出すための、犠牲層(例えばPPC)/オーバーコート層(例えばEPOSS)/保護層(例えば金属)から成る3材料系をもたらすこともできる。

【0040】

本発明の更なる態様では、第1のオーバーコート層を犠牲層のパターニング後に除去し、そのような除去は、そのようなパターニングされたオーバーコート層を除去するための当該技術分野で公知の方法を用いて遂行する。一般に、そのような除去プロセスは、ドライエッチングプロセス又はウェットエッチングプロセスのいずれかを包含する。そのようなプロセスの1つは、励起時にプラズマを生じるのに適したガスを用いたドライ又はプラズマエッチング(例えば反応性イオンエッチング(RIE))であり、そのようなプラズマは、オーバーコート層と犠牲層の材料間で十分な選択性を示すエッチングをもたらす。

【0041】

本発明のいくつかの態様では、第1のオーバーコート層をエポキシシクロヘキシルカゴ型シルセスキオキサン(EPOSS)から形成する。犠牲層及びオーバーコート層の厚さは、望ましいMEMSデバイスに適応させることができる。したがって、さまざまな厚さの犠牲層及びオーバーコート層を形成することができる。例えば、いくつかの態様において、犠牲層の厚さは約1μm~約10μmである。他のいくつかの態様において、犠牲層の厚さは約2μm~約7μmである。

【0042】

本発明のいくつかの態様において、第1のオーバーコート層は、約0.1μm~約3μmの厚さを有する。他の態様において、第1のオーバーコート層の厚さは約0.5μm~約2μmである。

【0043】

第2のオーバーコート層を有する本発明の更に他の態様では、そのようなオーバーコート層は約0.1μm~約3μmの厚さを有し;他の態様では、そのような第2の層の厚さは約0.5μm~約2μmである。

【0044】

成形材料

上記のように、本発明の態様に従って作製したMEMSデバイスは、最後に適した成形材料を用いて封入することができる。そのような封入には、射出成形及び/又は圧縮成形を行うことができる任意の材料を採用することができる。そのような適した材料としては、公知の熱可塑性及び/又は熱硬化性材料のいずれかが挙げられる。そのような材料の例としては、限定されるものではないが、ポリエチル、ポリアミド、ポリエーテル、ポリエーテルケトン、ポリイミド、ポリフェニレンスルフィド、エポキシ、及びそれらの組み

10

20

30

40

50

合わせが挙げられる。そのような成形材料は、封入されるMEMSデバイスの機械的特性を高めるために、ガラス、タルク、カーボンブラックなどのようなある種の無機充填材料を含有することができると有利である。本発明のいくつかの態様において、利用される成形材料はエポキシ化合物である。

【0045】

本発明のいくつかのそのような封入された態様において、成形材料の厚さは約0.1m～約5mmであり；他のそのような封入された態様では、成形材料の厚さは約0.2mm～約2mmである。

【0046】

成形

10

本明細書中に記載するキャビティシステムは、パッケージング要件に従ったキャビティを包囲する上部構造体の強度を変動させる可撓性も有する。例えば、上記のように、リードフレームパッケージングは、高圧で封入剤を成形することを一般に包含する。一般に、そのような高圧成形は、圧縮成形、射出成形、又はトランスマッパー成形の1つを用いて遂行する。射出成形プロセスでは、型の中でデバイスの周囲に成形材料（例えばエポキシ成形材料、EMC）が押し込まれる。これは、より従来型のチップパッケージングプロセスであり、高い成形圧（例えば10MPa）が用いられる。圧縮成形プロセスでは、デバイスの上面のみが成形され、射出成形より低い圧力（例えば4～10MPa）が用いられる。通常、圧縮成形はチップスタックパッケージに用いられる。上記パッケージング方法のいずれかにより、成形プロセス中に犠牲材料のその場での分解がもたらされると有利である。これは、大きな半気密性リードフレームパッケージに特に有用である。新規チップレベルパッケージでは、成型プロセスのあいだ犠牲材料は保持され、オーバー成形材料が剛性になつたら硬化工程のあいだに分解工程（キャビティ形成）を実施し、キャビティの崩壊を防止する。その場での方法により、気密封止を必要としない広範なパッケージングされたデバイスに対し、非常に大きなチャネル及びキャビティの成形及びリリースが可能になる。気密キャビティが必要な態様の場合、成形後に上記パッケージのいずれかを追加的材料で、一般的には金属でオーバーコーティングし、気密性を達成することができる。

20

【0047】

一般に、成形は約160～約200の温度及び約8MPa～約12MPaの射出ゲージ圧にて射出成形により実施する。

30

【0048】

本発明の方法の他の態様では、犠牲層を約180～約250の温度で分解する。一般に、犠牲ポリマーの分解は、デブリのないキャビティが確実に形成されると同時に、分解ガスが透過又は他のメカニズムによりオーバーコート層から確実に除去されるように、緩慢な速度及び一定の温度範囲で実施される。したがって、より高い分解温度を用いる場合、犠牲層はより迅速な速度で分解する。この側面については、以下の実施例でより詳細に考察する。

【0049】

本発明に従った更に他の態様では、ウェハレベル微小電気機械システム（MEMS）デバイスパッケージ及びそのようなデバイスの作製方法を更に提供する。さまざまな公知のMEMSデバイス、マイクロ流体デバイス、及びマイクロリアクターを、本発明の方法により作製することができる。代表的なデバイスとしては、限定されるものではないが、容量性共振器、バラクター、加速度計、ジャイロスコープ、ピエゾ関連デバイスなどが挙げられる。いくつかの態様において、パッケージングされ及び／又は作製されるMEMSデバイスは、容量性共振器である。本発明の他の態様において、パッケージングされ及び／又は作製されるMEMSデバイスは加速度計である。更に他の態様において、パッケージングされ及び／又は作製されるMEMSデバイスはジャイロスコープである。本発明の更に他の態様において、パッケージングされ及び／又は作製されるMEMSデバイスは容量性共振器又は圧電関連デバイスである。

40

【0050】

50

本発明の更に他の態様は、ウェハレベル微小電気機械システム（MEMS）デバイスパッケージを更に提供するものであり、当該デバイスパッケージは：

- a) 独立した可動性微小電気機械構造体を有する基材；
 - b) 前記独立した可動性微小電気機械構造体を包囲する、「ガスキャビティ」、「エアキャビティ」、又は単なる真空空間であり得るキャビティ；
 - c) 前記キャビティの周囲に付着している1以上の近接するオーバーコート層；及び
 - f) 前記基材の少なくとも一部を封入する成形材料、ここで、前記キャビティは、パターニングした犠牲層のその場での熱分解により形成される、
- を含むものである。

【0051】

10

本発明の他の態様では、本発明のウェハレベル微小電気機械システム（MEMS）デバイスパッケージは、容量性共振器を含む。

【0052】

本発明の他の態様では、ウェハレベル微小電気機械システム（MEMS）デバイスパッケージも提供するものであり、当該デバイスパッケージは：

- a) 独立した可動性微小電気機械構造体を有する、成形材料で封入された基材；及び
 - b) 前記独立した可動性微小電気機械構造体を包囲し、前記成形材料と接触しているキャビティ
- を含むものである。

【0053】

20

本発明を、以下の実施例により更に例示するが、これらは、例示を目的として提供するものであり、決して本発明の範囲を限定するものではない。

【実施例】

【0054】

Boschプロセスを用いて、直径100mmのシリコンウェハに深いトレンチをエッティングした。これらのトレンチは、実際の容量性及び圧電性MEMSデバイスに類似しており、代表的なものである。トレンチの幅は2~6μmで異なっており、トレンチの深さは約6μmであった。各デバイスをデバイスのタイプに応じて2~6個のトレンチに置き、各ウェハは数百のデバイスを有していた。その後、PPC又はPECを犠牲層として用い、EPOSSをオーバーコート材料系として用いて、ウェハレベルパッケージングを実施した。パッケージング工程の終了後、ダイヤモンドソーを用いてウェハをダイシングし、走査電子顕微鏡法（SEM）、ナノインデンテーション、及び金属接着に関するテープテストを用いて特性決定を行った。

30

【0055】

図1を見ると、本発明の態様の1つのプロセスフローを示している。PPCを最初にシリコントレンチ上にスピンドルコーティングし（図1(a)）、100のホットプレート上で5分間ソフトベークした。より深く、より幅が広いトレンチには、いくつかのスピンドルコーティング工程が必要であった。ベーク後、PPCの厚さは3~4μmであった。PPCをパターニングするために、EPOSSを4000rpmでスピンドルコーティングし、厚さ0.6μmのフィルムを得た（図1(b)）。EPOSSを85で5分間プレベークし、365nmでパターニングし、85で5分間ポストベークした。イソプロピルアルコールを用いてEPOSSをスプレー現像した（図1(c)）。PPCの反応性イオンエッティングを、6%CHF₃及び94%O₂プラズマを用いて行った。その結果、PPC/EPOSSエッティング速度選択性は24であった（図1(d)）。PPCエッティング速度は0.66μm/分であった（図1(e)）。その後、オーバーコートEPOSSを3~6μmの厚さまでスピンドルコーティングし、パターニングした（図1(f)）。それを、第1のEPOSS層に従ってベークした。最後に、非特許文献15に記載の手順を用いて、PPCを、窒素（N₂）環境中、段階的傾斜速度を用いて、240で4~10時間分解した。金属-EPOSS間の接着を向上させるために、金属被覆の前にウェハを短時間酸素プラズマに付した。アルミニウムを0.7~2μmの厚さまで蒸着し、電極領域が曝露さ

40

50

れるようにパターニングした(図1(g))。より剛性が高いオーバーコートの場合、アルミニウムの代わりに銅(1~3μm)を用いた。銅金属オーバーコートでは、チタン(厚さ50nm)を接着層とした。さまざまなタイプのキャビティを、寸法及びオーバーコートの厚さとともに表1に示す。

【0056】

【表1】

シミュレートした デバイス	幅 (μm)	長さ (μm)	金属オーバーコート (μm)
容量性(小)共振器	10~50	300~400	Al:0.7μm, Cu:1.5μm, 3μm
容量性(大)共振器	50~150	300~400	Al:0.7μm, 2μm, Cu:1.5μm, 3μm
圧電性共振器	150~200	300~400	Cu:1.5μm

10

【0057】

加工後、日立FE3500走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて、エッジにおける熱機械的亀裂に関し、個々のパッケージを検査した。トレンチの厳密な検査は、集束イオンビーム(FIB)(FEI Nova Nanolab)切断ツールを用いて行った。ウェハをダイシングし、横断面の形状及び清浄度を試験した。小さなデバイス及び大きなデバイスをダイシングし、検査した。キャビティの機械的強度を評価するためにナノインデンテーションを実施した。Hysitronナノインデンターを用いて加圧試験を展開した。該ナノインデンターでは、直径20μmの円錐球形状(conospherical)の先端を用いた。幅30~50μmのキャビティの中心における試験位置は、実験中に側壁からの抵抗を受けなかった。室温で8.5mNの力までキャビティに押し込んだ。より厚い金属オーバーコートの接着強度を決定するために、クロスハッチテープテストを用いた(http://www.defelsko.com/technotes/adhesion_methods.htm参照)。テープを貼り付けて剥した後、切り取られた領域を検査し、採点した。

20

【0058】

トランスファー成形は、エポキシ成形材料をデバイスの周囲に注入して望ましい形状にすることから成る。特記しない限り、トランスファー成形を175、10MPaにて105秒間実施した後、ポスト成形硬化を175で8時間行った。いくつかのパッケージでは圧縮成形も履行した。圧縮成形では、成形材料をデバイス上に置き、比較的低い圧力(例えば4MPa)をかけて、パッケージングされた形状を形成する。試料を横に切断し、損傷の程度を評価した。ラマン分光法を実施して、キャビティに残ったデブリを精査した。集束イオンビーム像により、成形前のキャビティにデブリがないことを確認した。さらに、高圧に起因する成形中の崩壊を妨げるために、大きなキャビティは、より厚い銅コートで金属被覆を行った。チタンを接着層として用いた。次のパッケージを成形し、キャビティの損傷について観察した。

30

【0059】

エアキャビティパッケージの2次元機械解析を、ANSYS(ANSYS 13.0)有限要素モデリングを用いて実施した。線形の弾性等方性モデルを、ポリマーと金属層とのあいだの完全な接着とした。高圧下でのオーバーコートとウェハとのあいだの粗い摩擦接触(滑りがない;摩擦係数が無限)を、境界状態とした。すべての層のモデリングをPLANE42要素:4ノードの2次元構造で行った。EPOSSとウェハとのあいだの接触を、PLANE42と互換性があるCONTACT171及びTARGET169要素を用

40

50

いてモデリングした。両方とも線形要素である。成形圧を上部から加え、キャビティの撓みを測定し、実験条件と比較した。比較は標準的解析解でも行った。キャビティ内での変形及び応力分布に対するさまざまな金属及び厚さの影響を検討した。シミュレーションから出された結論は、より大きなキャビティのためのより強いオーバーコートの設計に有用であった。

【0060】

このようにして展開したパッケージングプロトコルは、約 $100 \times 400 \mu\text{m}$ のサイズの実際の容量性共振器で良好に確認された。デバイスの電気性能を、パッケージング後に評価した。

【0061】

第1の被験試料は、PPC犠牲材料及びキャビティオーバーコート材料をパターニングするためのマスキング材料として40% EPOSSを用いてパッケージングした、より小さなデバイスであった。キャビティの幅は $20 \sim 50 \mu\text{m}$ で、長さは $200 \sim 600 \mu\text{m}$ であった。キャビティに亀裂及び破壊が生じるのを妨げるために、PPC分解プロセスを、一定の熱傾斜速度から一定の重量百分率での分解速度に変更した。一定の分解速度により、オーバーコートでの分解生成物のより規則的な拡散が可能になり、高い内圧が回避される。ポリマーの熱重量分析(TGA)を用いて、一定の分解速度に関するパラメーターを決定した。反応速度論は、式1に示すn次のアレニウスの関係式として表すことができる。

【0062】

【数1】

$$r = Ae^{\frac{-Ea}{RT}}(1-rt)^n \quad (1)$$

【0063】

式中、 r は分解速度であり、 A は頻度因子であり、 Ea は活性化エネルギー(kJ/mol)であり、 T は温度(K)であり、 t は時間(秒)である。分解反応は、頻度因子(A)及び活性化エネルギー(Ea)がそれぞれ $9 \times 10^{12} / \text{分}$ 及び 120 kJ/mol で、1次($n = 1$)であると決定された。式1は、式2に示すように温度(T)対分解時間(t)に配列し直すことができる。 0.25 重量\% / 分 の分解速度を用いて PPC を分解した。キャビティの劣化は観察されなかった。

【0064】

【数2】

$$T = \frac{Ea}{R} \left[\ln \frac{A(1-rt)^n}{r} \right]^{-1} \quad (2)$$

【0065】

SEMによる横断面を図2(A)及び2(B)に示す。これらは、頑強で丈夫なオーバーコートを有しデブリのないキャビティを示している。オーバーコートの安定性により、オーバーコートの下でキャビティが最初のPPC構造体の形状を保持することが可能になった。FIBを用いたトレンチの厳密な検査である図2(B)も、クリーンなキャビティを示した。FIBによる材料の不用意な付着は別として、トレンチはデブリを有さなかつた。スピンドルティング中にPPCは不均一な形状を形成する可能性があり、これにより、トレンチの真上のオーバーコート内に沈下が生じることがある。そのような沈下は、オーバーコートがデバイス領域と接触しない限り、われわれのMEMSデバイスの機能に影響を及ぼさない。しかしながら、トレンチの上方ではキャビティの高さが低下するので、これらの領域は、接触又は射出成形中に依然として損傷を受けやすい。また、これらの沈下は、トレンチの幅が増大すると大きくなる。ポリマー粘度及びスピンドルティング条件を変化させることにより PPC の厚さを調整すると、非平面の問題を軽減することができ

10

20

30

40

50

る。多重層をスピンドルコートした後に室温で乾燥（すなわちソフトベーク）すると、トレンチ内へのリフローの量を改善することができる。室温でのソフトベークによりトレンチ内へのPPCの熱リフローが妨げられ、多重層によりデバイスの特徴の平坦化が改善される。

【0066】

より良好な均一性を得るために、オーバーコートの配合を異なるキャビティ寸法に合わせて調整した。大きなキャビティ（幅 $> 100 \mu\text{m}$ ）の場合、薄いオーバーコート層はPPCの分解中に亀裂を生じる傾向があり、オーバーコートは、図3(A)に示すように、キャビティを支持するのに必要な機械的強度を提供することができない。EPOSSと溶媒との比率を変化させることができ、オーバーコートの性質の調整に役立つ。より良好にオーバーコートの均一性及び厚さを制御するために、ポリマー濃度を40%から60%に上昇させることができる。60%EPOSS配合物では、熱分解中のフィルムの亀裂の程度が（40%配合物と比較して）低くなる。図3(B)に示すように、より厚いフィルムでは、キャビティのエッジの被覆及び平坦化が改善される。あるいは、図3(C)に示すように、40%EPOSS配合物を数回スピンドルコートすると、全般的により薄いフィルムが維持される一方、60%EPOSSと同様のエッジ被覆で亀裂のないキャビティがもたらされた。図3(C)では、キャビティが中ほどの部分で割れたので、起伏のある表面トポグラフィーが示されている。より厚いオーバーコートを用いるときは分解傾斜速度を低下させて、圧力増大を低減させた。

【0067】

ここで図4(A)を見ると、これは、4時間の分解手順が、PPCを完全に分解するのに十分な長さではないことを例示している。図4(B)に示すように、より高い分解温度は、分解中の圧力増大によりオーバーコートに亀裂を生じさせる。緩慢な傾斜速度と共に続く長い温度保持が、シャープな側壁を有する完璧に近いエアキャビティを形成するのに必要である。これらの実験では、0.5 / 分の傾斜速度及び240で6~8時間の保持が、幅50~150 μm のキャビティに必要であった（図4(C)参照）。150~300 \times 400 μm より大きなデバイスのウェハレベルパッケージングを実施するためには、容量性共振器（約50~150 \times 400 μm ）をパッケージングするためのプロトコルを少し改変しなければならなかった。

【0068】

非常に大きい（幅約200 μm 及び長さ500~600 μm ）ことに加え、これらのデバイスは複雑なトポグラフィーを有していた。より厚いオーバーコート（60%ポリマー）及び多重スピンドルコートを用いることにより、現在、10時間に及ぶ犠牲ポリマーの分解の型（regime）の後、そのような複雑な形状寸法を良好にパッケージングすることが可能である。得られたキャビティ（図5）は、クリーンで機械的に安定であることが見いだされた。したがって、より小さなデバイス（幅150 μm 未満）の場合、分解時間が6~8時間である40%ポリマーの多重スピンドルコートが適切であった。しかしながら、幅が150 μm を超えるデバイスでは、分解時間がより長い60%ポリマー混合物の多重スピンドルコートが必要である。分解時間はPPCの厚さに依存する。分解又は成形中のキャビティの崩壊を妨げるには、キャビティの幅が大きいほど厚いPPCフィルムが必要である。

【0069】

キャビティのオーバーコートの頑強性を、ナノインデンテーションを用いて評価した。3 μm のEPOSSオーバーコート（40%EPOSS配合物）及び厚さ0.7 μm のアルミニウム金属被覆の場合、図6に示すように、高さ3.5 μm のキャビティの完全な崩壊は4 mNで観察された。これは、51 MPaのキャビティ強度に言い換えられる。幅10~40 μm のキャビティを試験した。側壁の影響を最小限に抑えるために、先端をキャビティの中心に置いた。ナノインデンテーションの結果を表2に示した。アルミニウムを厚さ1.5 μm の銅で置き換える場合；アルミニウムと比較して銅の弾性率は高いので、剛性は増大する。表2にまとめるように、キャビティは8.46 mNで1.3 μm 撓む。その撓みは、2 μm のアルミニウムオーバーコートと同様である。これは、大きく撓む工

10

20

30

40

50

アキャビティの設計では、エアキャビティの崩壊を、オーバーコート材料のモジュラスを増大させること及び／又はオーバーコートの厚さを増大させることにより妨げることができるなどを示している。

【0070】

【表2】

金属	E (GPa)	t (μm)	F _{max} (mN)	d _{max} (μm)
Al	70	0.7	4	3.5
Al	70	2	8.5	1.1
Cu	128	1.5	8.5	1.3

【0071】

ウェハレベルパッケージキャビティを作り出したら、次にそれらをダイシングし、リードフレームパッケージングのために成形することができる。エポキシ成形材料（EME-G700E、住友ベークライト、日本）を用いてキャビティを成形した。0.7 μmのアルミニウムオーバーコートを有し、幅が20 μmである初期キャビティは、4 MPaの成形圧に耐えられることが観察された（図7（A））。しかしながら、それらは10 MPaの圧力で完全に崩壊した（図7（B））。図7（B）のキャビティ内部のデブリをラマン分光法を用いて検討した。スペクトルは研磨材料であることが示された。より大きなキャビティ（幅75 μm）は、両方の圧力で完全に崩壊することが観察された。我々がアルミニウムオーバーコートを厚さ3 μmの銅オーバーコートで置き換えると、キャビティはより高い圧力に耐えることができた。100 μm程度の幅のキャビティは10 MPaの圧力に耐えることができ、少ししか変形しないことが観察された（図7（C））。キャビティの強度を高めるために、特定のキャビティ幅では、金属の厚さ又は弾性率を増大させることが必要である。より大きな変形は必然的にデバイスの不具合をもたらすので、キャビティの高さを増大させることも有利であろう。しかしながら、これは、コンフォーマルな被覆のために、より厚いPPCコーティングと、続いてより厚いEPOSSオーバーコートを必要とする。以下で説明するように、特定の成形圧におけるキャビティの撓みでは、FEMモデルと解析モデルが厳密に一致する。EPOSSオーバーコートの厚さを増大させると、キャビティの強度は影響を受ける；しかしながら、EPOSSの弾性率は約4 GPaであり、これは、アルミニウム又は銅のいずれよりもはるかに小さい。より厚い金属層は、残留応力に起因して、問題点を有する可能性もある。

【0072】

成形中のキャビティの撓みにおける圧力の限界を理解するために、2次元FEMモデルを用いた。特定形状に関する正規化フォンミーゼス応力を計算した。図8からわかるように、FEMモデルは、厚さ0.7 μmのアルミニウムを有する幅40 μmのキャビティの4 MPa及び10 MPaの圧力における撓みを示している。4 MPaの圧力において、測定された撓みは1.5~2 μmであり、これは、1.5 μmのシミュレーション値と実質的に同じである。10 MPaの圧力において、被験キャビティは表面的には完全に崩壊し、キャビティの存在を示していない。しかしながら、10 MPaのシミュレーションは、キャビティの中心における崩壊を示している。シミュレーションには弾性特性のみが含まれていた。完全な崩壊には、オーバーコートの塑性変形が関与している可能性がある。

10

20

30

40

50

【0073】

式3に示すように、FEMの結果を、これまでに導かれている解析モデルである矩形バルジの式と比較して、有限要素法から得た撓みの値と相関させた（非特許文献16参照）。

【0074】

【数3】

$$P = \frac{2ht\sigma_0}{a^2} + \frac{4h^3Et}{3a^4(1-\nu^2)} \quad (3)$$

【0075】

式中、Pは成形圧である。オーバーコート材料の特性は、Eが弾性率、 ν がポアソン比、 σ_0 が初期フィルム応力で説明される。変数a、t及びhは、キャビティの形状寸法を表す。変数aはキャビティの幅の半分であり、tはオーバーコートの厚さであり、hは、初期の位置からのオーバーコートの最大撓みの高さである。

【0076】

金属のモジュラスはポリマーに比べ約30倍大きいので、オーバーコートの弾性率を、金属-ポリマー複合体の金属部分が支配的であると仮定した。文献から、アニールした電着銅フィルムの初期フィルム応力 σ_0 は、厚さに応じて約30～100 MPaであることを見いだした。例えば非特許文献17参照。文献値を用いて初期計算を行うと、式の第1項は第2項より著しく小さかった。第1項は、キャビティの撓みの評価における更なる計算に関し無視できると仮定した。設計に関する2つの制御可能な因子は、金属の厚さと、全体的な撓みを妨げるためのキャビティの高さの調整である。

【0077】

図8に示すように、40及び10 MPaの圧力に対応する撓みの値は、それぞれ2 μ m及び2.8 μ mであった。これらの値は、実験値とFEM値の両方に一致する。オーバーコートの全体的応力及びエアキャビティの撓みは、厚さ及びアニーリング条件の最適化によって更に低減することができる。例えば、側壁に30°の傾斜を形成することにより、キャビティ側壁に沿った最大応力の10%低下が観察された。パターニング及びPPCのリフローにより、まっすぐな側壁構造から傾斜した側壁にキャビティを変化させることは、これまでに公表されているように、応力に対してより耐性が高いキャビティを最適化するのに役立つであろう。10 MPaの圧力における3 μ mの銅オーバーコートの全体的撓みは、式3から0.56 μ mであることを見いだした。これは、図7(C)の実験での撓みと同様である。

【0078】

EPOSSと基材、及びEPOSSと金属オーバーコートの間の接着性は、優れていることが見いだされた。しかしながら、キャビティの強度を向上させるために、より厚い金属オーバーコートが必要であった。より厚い金属オーバーコート、例えば2 μ mのアルミニウムを用いた場合、電子ビーム付着中の残留応力は、アルミニウムとEPOSSの間に接着破壊を生じさせるのに十分な大きさであると考えられた。金属付着の前に酸素プラズマクリーニングを用いて接着性を改善させた。より厚い銅オーバーコートの場合、スパッタリングしたシード層上に低い電流密度で銅を電気めっきした後、180度1時間アニーリングして、内部応力を低減させた。アニーリング後、金属フィルムは優れた接着性を示した。

【0079】

上に示した結果は、オーバーコートを強化し、更に幅が広いキャビティを加工するための数多くの方法を示している。しかしながら、金属の厚さには限界があり（例えば金属の付着性及び残留応力）、キャビティ形状の最適化の利益は限定的である。著しく幅広いキャビティを加工するために、成形中のキャビティの崩壊を妨げる、半気密性チップレベルパッケージを作り出すための新規アプローチを開発した。上記プロセスでは、PPCを射出成形の前に徐々に分解した。オーバーコートは、成形圧に耐えるように設計し

10

20

30

40

50

た。成形中に、エポキシ封入剤は急速に固くなる。新規アプローチでは、初期成形工程中にキャビティに犠牲ポリマーが残る。封入剤が固くなったら、キャビティ中の犠牲ポリマーを分解して、封入剤のポスト成形硬化中にキャビティを作り出すことができる。PPC分解中の封入剤は剛性なので、キャビティのサイズに関する制約はほとんどなく、該成形プロセスに金属支持体は必要ない。

【0080】

このその場でのキャビティ作製プロセスは、ポスト成形硬化の温度 - 時間サイクルに適合することが必要である。典型的なポスト成形硬化条件は、175 ~ 190 にて8時間である。したがって、犠牲材料を、この温度 - 時間プロファイル内で完全に分解するよう10に選択することが必要である。犠牲材料は、エポキシ封入剤が剛性でない成形の初期工程には、分解しない程度に十分安定である必要もある。

【0081】

成形中は無傷のままであるがポスト成形硬化中に分解するであろう材料を識別するために、ポリカーボネートのセットの等温TGAデータを収集した。図9は、190におけるPPCの重量変化、及び185におけるPECの重量変化を示している。分解は徐々に起こり、目標とする8時間の期間内に完全に分解する。高圧の型の中にある時間に相当する等温走査の最初の数分以内に、分解はほとんど起こらない。図9に示す重量変化百分率は、単一温度に保持されている試料について測定した。重量変化率（すなわち、図9の曲線の傾斜）は、ポリマー試料を異なる温度で保持することにより変化する可能性がある。より高い温度を用いた場合、各ポリマーはより迅速に重量を失うであろう。すでに上記20したように、非特許文献18は、PPCの重量変化を温度と他の添加剤との関数として定量化した。非特許文献18は、TGAデータを上記アレニウスの式の形に適合させることにより、重量変化の詳細を捕獲した。さまざまな供給者からのPPCのいくつかのバッチに関するデータを、アレニウスの式1に適合させた。この検討により、時間及び温度はともに重要であり、独立して調整することができる事が示された。より低い温度における同量の重量損失は、より長い時間をかけるか、より短時間に温度を上昇させることによって達成することができる。非特許文献18参照。

【0082】

精査した第3の犠牲ポリマーは、3重量%のPAGを配合したPPCであった。この混合物は目標温度において純粋なポリマーより迅速に分解し、PAG配合物に由来する残留物が残る可能性がある。各材料を、上記のように、EPOSSマスクを用いてパターニングした後、RIEを行った。キャビティは、直径1及び2mmの円及び正方形で高さが10及び18μmであった。パターニングした犠牲材料を3μmのEPOSSオーバーコートでコーティングして、ダイシング及びハンドリングのためにキャビティを封止した。ダイシング後、キャビティを175、10MPaで100秒間射出成形した。キャビティのセットを、完全に8時間かけて185及び190で分解及び硬化した。その後、試験のためにキャビティを横に切断した。PAGを含むPPCのキャビティは、TGAデータから予想されたように、成形条件下で崩壊した。これは、エポキシ化合物が剛性になる前に犠牲材料が迅速に分解するためである。PPCを用いて185で形成したキャビティは、8時間の分解後に少量の残留PPCを有していたが、190で硬化した同キャビティは、図10(A)に示すように、クリーンな構造を生じた。PECキャビティは185を超えると完全に分解し、クリーンなキャビティを生じた。図10(B)のPECキャビティは、パターニング及びオーバーコーティング中のPECのリフローに起因して、わずかに変形した。PPC及びPECキャビティはともに、サイズ又は形状の限界を示さなかった。1 ~ 2mmの正方形及び円の形成に関する歩留りは高かった。犠牲材料が分解すると構造体上に力がほとんど加わらないので、はるかに大きなキャビティを形成することができると予想される。

【0083】

高性能高周波数単結晶シリコン容量性共振器は、高アスペクト比多結晶質及び単結晶質シリコン(HARPS)加工プロセスを用いてシリコン-オン-インシュレーター基材

10

20

30

40

50

上に加工されている。非特許文献 19 参照。これらのデバイスは、トレンチが S O I ウェハ上に加工され、酸化物がエッティングされており、このように片持ち梁を開放して、金属接着パッドを有する機能性デバイスを形成するという事実を除き、図 10 に示す構造体と同じキャビティサイズを含有していた。ウェハレベルパッケージングを、E P O S S / P P C / A 1 系を用いて、これらのデバイスで実施した。パッケージング後、それらをパッケージの保全性に關し電気的に試験した後、S E M 分析のためにダイシングした。図 11 (A) は、デバイスの横断面の S E M 顕微鏡写真を示す。デブリのないキャビティが観察された。図 11 (B) に示すように、デバイス性能を測定した。パッケージング前にデバイス性能を測定することができなかつたので、性能に対するパッケージングの影響を解析することはできなかつた。しかしながら、ダイシング後にクリーンな検出電極表面が観察されており、これは、デバイス性能に対するパッケージングの影響がごくわずかであることを示している。デバイス性能を測定し、1 4 1 M H z の共振周波数において 2 9 d B の損失が観察された。これは、コンパニオンデバイス (companion device) に典型的である。損失は、これらのデバイスについての公表値と同様である。例えば非特許文献 20 参照。

【 0 0 8 4 】

既存の材料の扱いやすさ及び使用法から、われわれは、このパッケージングのアプローチの信頼性は高いと考えている。これらのキャビティの温度サイクル及び熱・機械的信頼性を試験した。これらのキャビティは、1 7 5 / 8 時間の温度及び 1 0 M P a の圧力下での成形手順中に無傷のままである。

【 0 0 8 5 】

これらの実施例は、P P C / E P O S S / 金属を含む 3 材料系を用いてエアキャビティを加工し、ウェハレベルで M E M S デバイスを良好にパッケージングした、本発明の実用性を明らかに例示している。該エアキャビティはサイズ及び形状が柔軟であり、機械的に頑強で、デブリを有さない。キャビティの機械的強度を評価するために、ナノインデンテーションを実施した。異なる金属オーバーコートを有するキャビティで圧縮 / 射出成形を実施した。より強くより厚い金属オーバーコートは、より良好なキャビティ強度をもたらす。2 次元 F E M 解析を用いて、実験的観察値を相關させた。F E M 及び解析的方程式の両方で、加えた成形圧下でのキャビティの変形挙動を予測することができた。大きなキャビティのチップパッケージを作り出すために、新規半気密性パッケージを、その場での犠牲分解 / エポキシ硬化成形工程を用いて作り出した。更に、このプロセスを用いて、一連の容量性共振器デバイスのパッケージング及び特性決定を良好に行った。

【 0 0 8 6 】

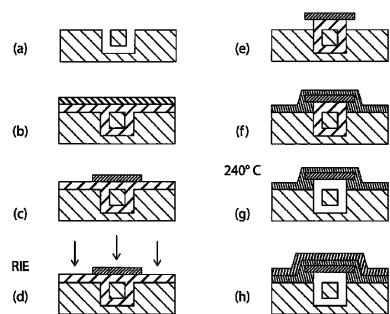
本発明を多少の前記実施例により例示してきたが、それらにより限定されると解釈すべきではない；むしろ、本発明は先に開示したような一般的領域を包含する。さまざまな修正及び態様を、本発明の精神及び範囲から逸脱することなく加えることができる。

10

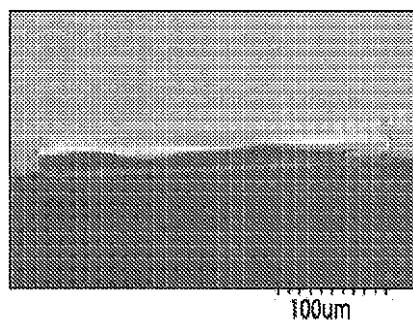
20

30

【図1】



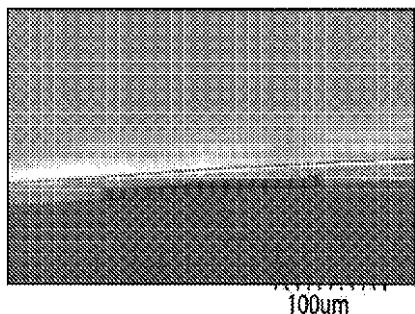
【図3A】



SE 20-Apr-09 WD30.5mm 7.00kV x350

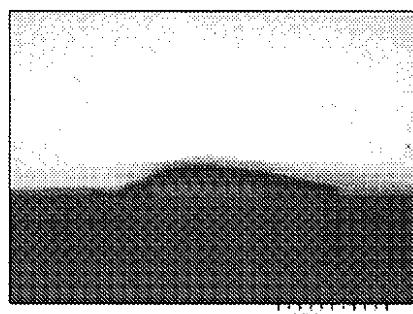
FIG.3A**FIG.1**

【図3B】



SE 10-Aug-09 WD25.4mm 5.00kV x500

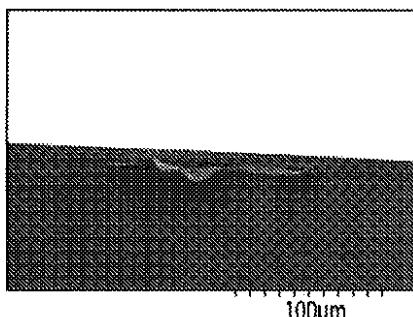
【図3C】



SE 03-Aug-09 WD27.3mm 5.00kV x500

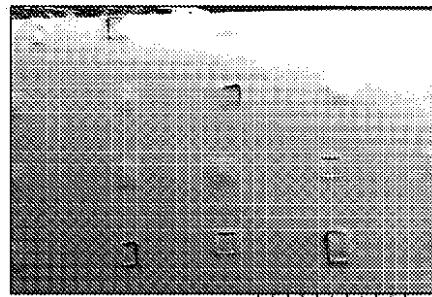
FIG.3B**FIG.3C**

【図4A】



SE 11-Aug-09 WD24.2mm 5.00kV x450

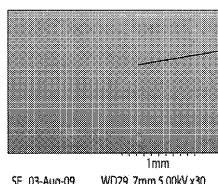
【図4B】



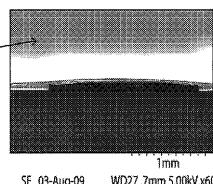
SE 30-Aug-09 WD34.1mm 5.00kV x25

FIG.4A**FIG.4B**

【図4C - 4D】



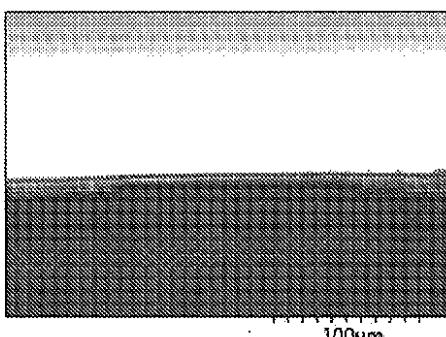
SE 03-Aug-09 WD29.7mm 5.00kV x30



SE 03-Aug-09 WD27.7mm 5.00kV x600

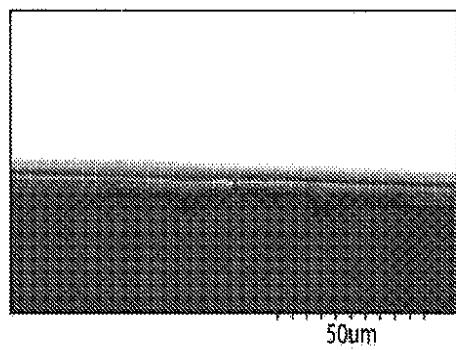
FIG.4C**FIG.4D**

【図5A】



SE 25-Aug-09 WD19.1mm 5.00kV x450

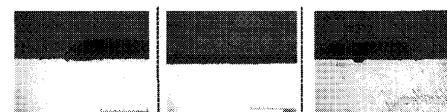
【図5B】



SE 25-Aug-09 WD16.1mm 5.00kV x600

FIG.5B

【図10A】

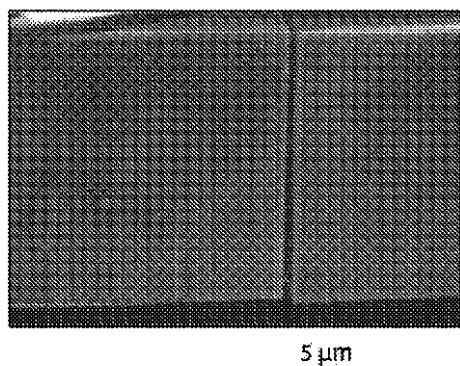
**FIG.10A****FIG.5A**

【図 10B】



FIG.10B

【図 11A】



5 μm

FIG. 11A

【図 11B】

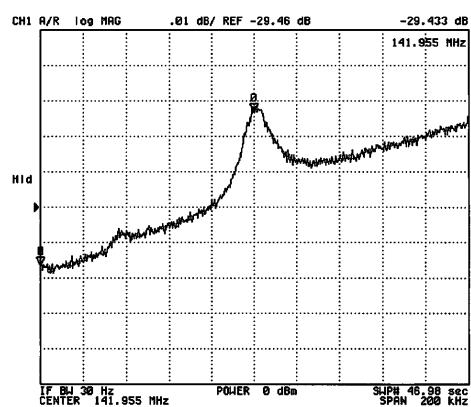


FIG. 11B

【図 2】

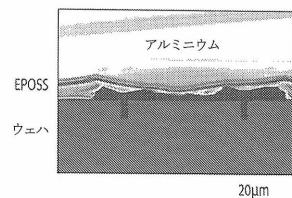
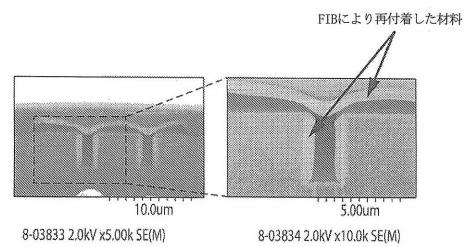


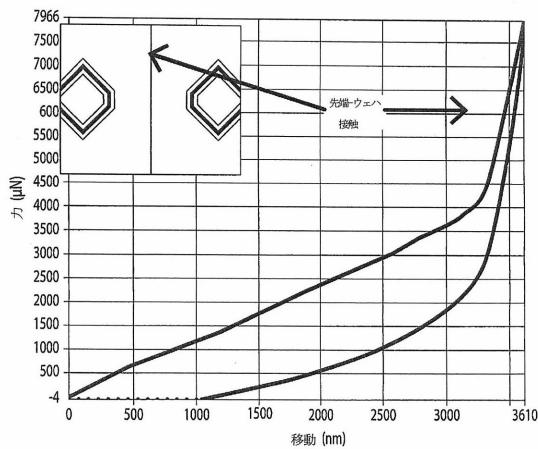
FIG. 2A



8-03833 2.0kV x5.00k SE(M) 8-03834 2.0kV x10.0k SE(M)

FIG. 2B

【図6】



【図7】

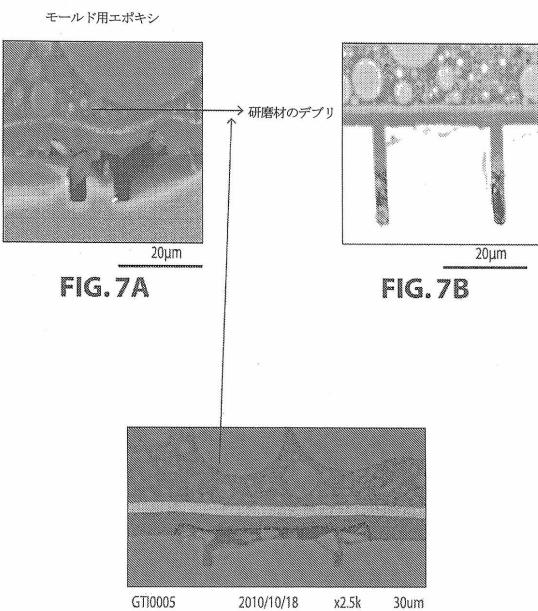
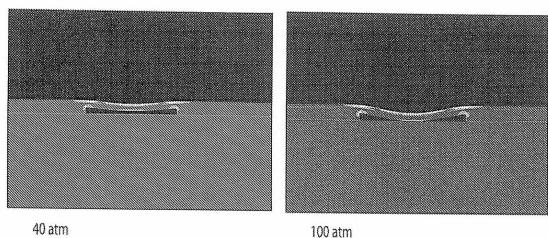


FIG.7C

【図8A】



【図8B】

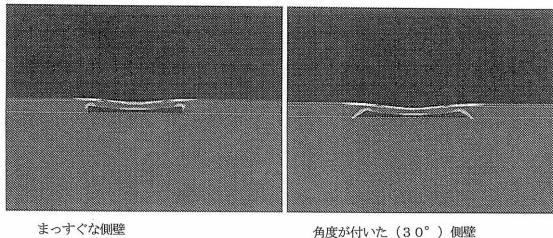


FIG.8B

矩形“パルジ”の式:

$$P = \frac{4}{3} \frac{h^2}{a^3} \frac{Ei}{(1-\nu^2)}$$

P(atm)	a(μm)	t(μm)	h(μm)
40	10	0.7	2.8
100	10	0.7	2

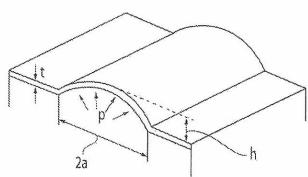
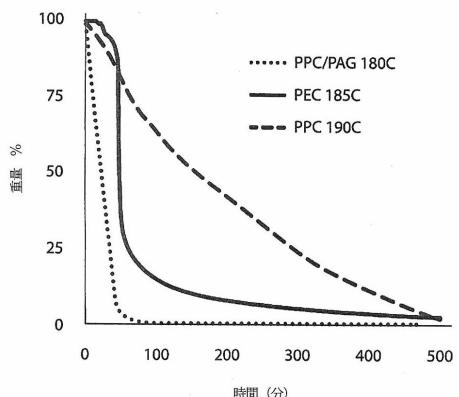


FIG.8A

【図9】



フロントページの続き

(73)特許権者 514144467

ラジャーシ・サハ

アメリカ合衆国ジョージア州 30318, アトランタ, ノースエスト, センター・ストリート
121

(73)特許権者 514144478

ネイサン・フリット

アメリカ合衆国ジョージア州 30305, アトランタ, ピーチツリー・ロード 2460, ノース
ウエスト・ナンバー 313

(74)代理人 100140109

弁理士 小野 新次郎

(74)代理人 100075270

弁理士 小林 泰

(74)代理人 100101373

弁理士 竹内 茂雄

(74)代理人 100118902

弁理士 山本 修

(74)代理人 100122644

弁理士 寺地 拓己

(72)発明者 ポール・エイ・コール

アメリカ合衆国ジョージア州 30328, アトランタ, キャメロン・グレン・ドライブ 130

(72)発明者 ラジャーシ・サハ

アメリカ合衆国ジョージア州 30318, アトランタ, センター・ストリート 121, ノース
ウエスト

(72)発明者 ネイサン・フリット

アメリカ合衆国ジョージア州 30305, アトランタ, ピーチツリー・ロード 2460, ノース
ウエスト・ナンバー 313

審査官 細川 翔多

(56)参考文献 特表2007-529333(JP, A)

特開2011-142229(JP, A)

特開2009-054678(JP, A)

Rajarshi Saha, Nathan Fritz, Sue Ann Bidstrup-A llen, Paul A. Kohl, Three Dimensional A
ir-Gap Structures for MEMS Packaging, 2010 Proceedings 60th Electronic Components and
Technology Conference, 米国, 2010年 6月 1日, 811-815

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B81B 1/00-7/04

B81C 1/00-99/00

H01L 23/08