

**平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業
(経済危機対応・地域活性化予備費事業)**

「赤外線検出高画素センサの開発」

研究開発成果等報告書

平成 23 年 9 月

委託者 中国経済産業局

委託先 財団法人鳥取県産業振興機構

第 1 章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

[研究開発の背景と目的]

熱型赤外線センサは、パイロ、サーモパイル、ボロメータの 3 種に分けられる。このうち、単画素～数十画素を持つパイロ、サーモパイルが、エアコン、電子レンジ等の情報家電分野において、安全性能、省エネルギー、快適性能を向上させる用途にて広く使用されている。また、セキュリティ分野にても熱型赤外線センサが、人体の有無のセンシングデバイスとして使用されている。

一方、川下製造業者より、更なる多機能化・高機能化の一環として、高画素化のニーズがある。例えば、エアコンの場合、現在の画素数では、人数、大きさ(大人・子供の区別)等の詳細情報が得られないため、更に高画素化のニーズがある。パイロ、サーモパイルでは、構造要因からくる検出出力の関係より高画素化困難であり、ボロメータに注目が集まっている。

ボロメータを原理とする赤外線検出高画素センサは、 $64 \times 64=4,096$ 、 $160 \times 120=19,200$ 等の画素数を有すものが、製品化されサーモグラフィー機器等に使用されている。このサーモグラフィー機器は数十～数百万円の高価格で販売されている。高価格の一因は、赤外線検出高画素センサの pixel サイズが大きく、チップサイズも大となっているためである。

本開発では、ボロメータを原理とする赤外線検出高画素センサチップを小型化し、エアコン、電子レンジ等の情報家電分野機器及びセキュリティ分野機器に搭載可能な価格で提供できる技術の開発を行う。

[ボロメータ方式赤外線検出器構造]

ボロメータは、赤外線光量変化を赤外線受光部(pixel)に設けた抵抗体パターンの抵抗変化として検出するものである。抵抗体パターンは温度により抵抗値が変化する材料が選定される。

また、僅かな赤外線光量変化でも、温度変化を発生させるため赤外線受光部(pixel)は、熱絶縁性高いことが必要である。熱絶縁性を高くするため、マイクロブリッジと呼ばれる中空構造が採用されている。中空マイクロブリッジのイメージ図を次ページに示す。

1 個の中空マイクロブリッジが、1 pixel として信号処理を行う ROIC チップのコンタクトパッド上に形成される。マイクロブリッジはセンサ部である抵抗体パターン、補強用ダイヤフラムで構成されており、支持梁で ROIC チップより数 μm の間隔で中空に浮かす構造となっている。また、センサ部の抵抗体パターン上には、赤外線反射防止層を設け、赤外線吸収効率を高めている。

この中空マイクロブリッジは、以下工程手順で MEMS 技術を応用して作製される。

- ① 犠牲層と呼ばれるパターンを形成する。
- ② 抵抗体パターン、補強用ダイヤフラム層、反射防止層の順にて各層を形成する。
- ③ 犠牲層エッチング加工用穴を利用し、抵抗体パターンの下に位置する犠牲層を全てエッチング除去する。
(犠牲層を除去することにより、中空が達成される。)

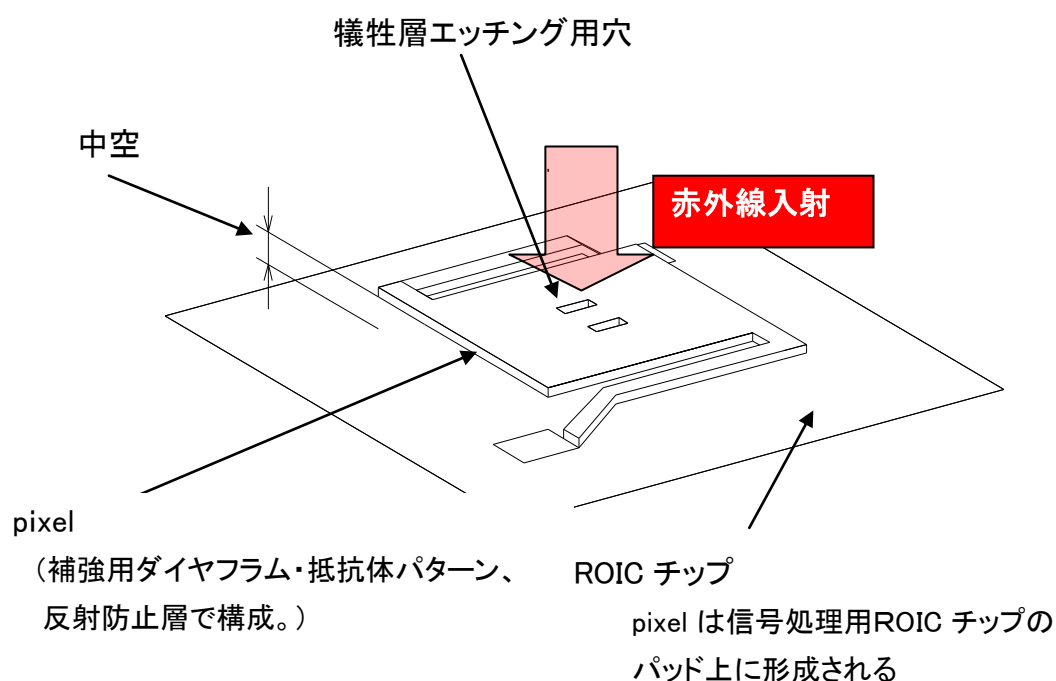


図 1 従来の中空マイクロブリッジのイメージ図

[技術課題]

従来の赤外線検出高画素センサは、以下に述べる課題を有している。

課題1: 従来の高画素赤外線センサは高価格。

原因: 一因は pixel サイズが大型であり、チップサイズ也大。

pixel サイズ大型の一因: 斜めの梁によるデッドスペース

課題2: CMOS との電氣的結線の品質及び信頼性が低く、断線等が発生。

課題3: マイクロブリッジの強度品質及び信頼性が低く、pixel に機械的歪みが発生。

原因: 斜めの梁構造に起因。(課題2・3共に)

この課題を貫通電極構造を採用することにより解決を図る。

貫通電極構造のメリットは、以下 3 点である。

- ① 斜めの梁が無くなり、省スペースとなる。
⇒ pixel 小型化可能。
- ② ROIC との電氣的結線の品質及び信頼性が向上。
- ③ マイクロブリッジの強度品質及び信頼性が向上。

[技術目標]

本開発では、貫通電極構造を用いることにより、赤外線検出高画素センサチップを小型化し、且つ、信頼性高いチップ作製する技術の開発を行うことが目標である。

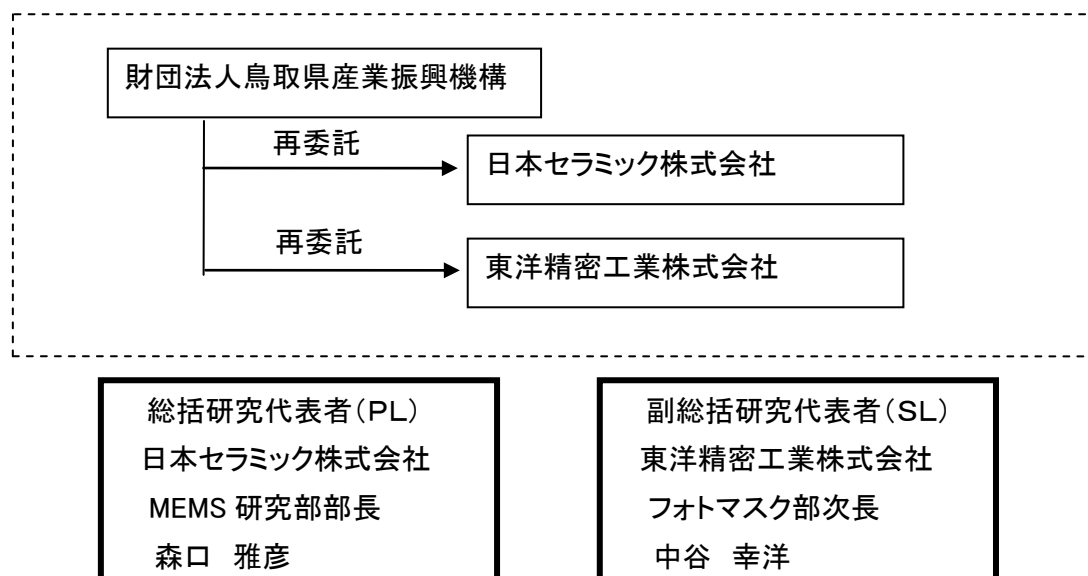
平成 22 年度(経済危機対応・地域活性化予備費事業)戦略的基盤技術高度化支援事業対象期間の技術目標は、以下のとおりであり、日本セラミック株式会社保有の MEMS 技術を高度化し、達成を図る。

- ① 熱解析及び機械的応力解析を行い、最適設計を行う。
- ② 絶縁層に開口直径φ 10μ m以下の貫通穴形成を行う。
- ③ 上記貫通穴内壁に金属膜成膜し、抵抗値 50Ω 以下の貫通電極を作製する。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

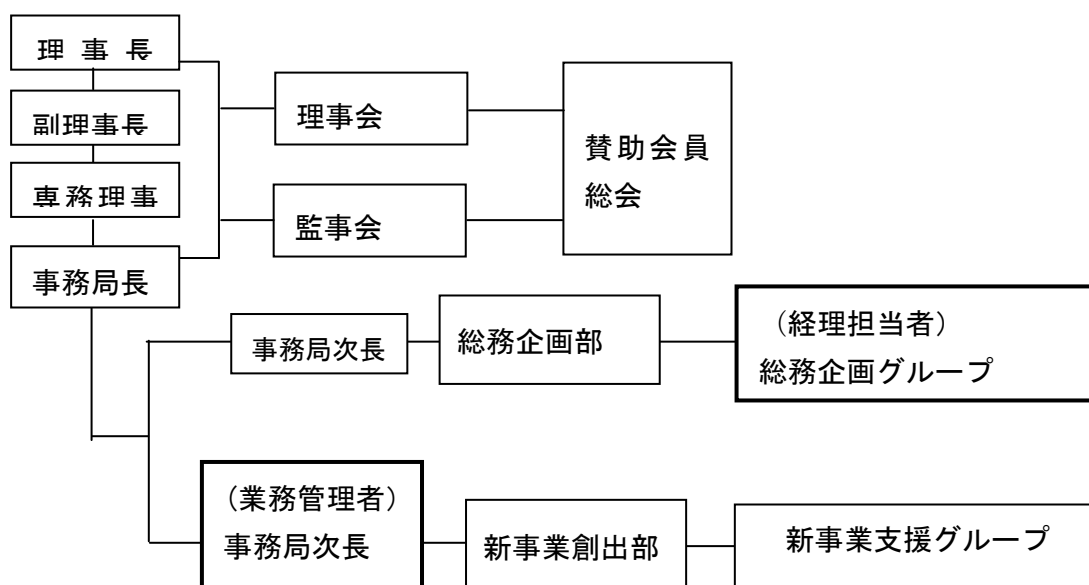
1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

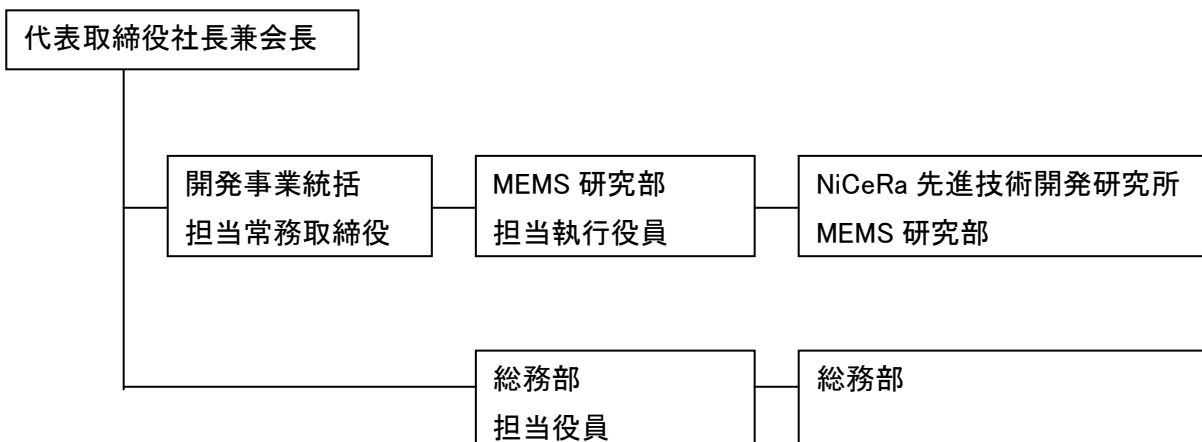
①事業管理機関

[財団法人鳥取県産業振興機構]

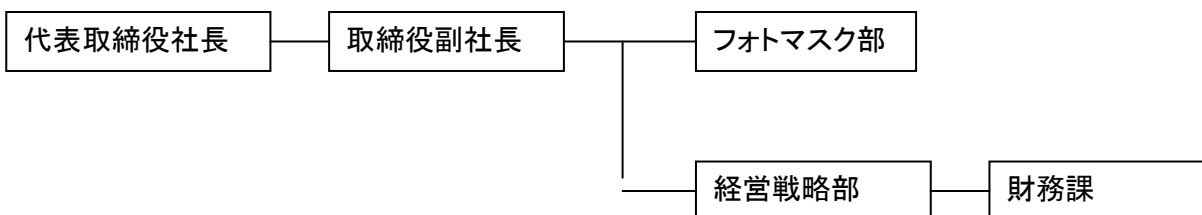


②(再委託先)

日本セラミック株式会社



東洋精密工業株式会社



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】財団法人鳥取県産業振興機構

① 管理員

氏 名	所属・役職
宮内 武幸	事務局次長兼新事業創出部長
頼田 慎	新事業創出部新事業支援グループ長
田中 幸一郎	総務企画部総務企画グループ主事
岡島 加奈	新事業創出部新事業支援グループ主事
小坪 一之	新事業創出部新事業支援グループ特別研究員
前田 千恵	新事業創出部新事業支援グループ事務員

【再委託先】※研究員のみ

日本セラミック株式会社

氏 名	所属・役職
森口 雅彦	MEMS研究部 部長
藤原 勝敏	MEMS研究部 研究員
加藤 正寛	MEMS研究部 研究員
岩名 立札	MEMS研究部 研究員
岡本 健一	MEMS研究部 研究員
山下 直晃	MEMS研究部 研究員
榎本 敬志	MEMS研究部 研究員
村本 夏子	MEMS研究部 研究員

東洋精密工業株式会社

氏 名	所属・役職
中谷 幸洋	フォトマスク部 次長

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

財団法人鳥取県産業振興機構

(経理担当者)	総務企画部総務企画グループ主事	田中 幸一
(業務管理者)	事務局次長兼新事業創出部長	宮内 武幸

(再委託先)

日本セラミック株式会社

(経理担当者)	経理部 部長	本城 圭
(業務管理者)	MEMS研究部 部長	森口 雅彦

東洋精密工業株式会社

(経理担当者)	経営戦略部 財務課 係長	木村 浩二
(業務管理者)	フォトマスク部 次長	中谷 幸洋

(4)他からの指導・協力者

氏 名	所属・役職	備考
前中 一介	兵庫県立大学大学院工学研究科 電気系工学専攻 回路・システム工学部門 教授	アドバイザー

1-3 成果概要

赤外線検出高画素センサチップを低価格化のため小型化し、且つ、信頼性高いチップを作製するため、日本セラミック株式会社が考案した絶縁材料で柱を形成し、柱内に貫通電極を設ける構造を用い、本開発を実施した。本開発の成果の概要は、以下のとおりである。

- 1 各形状、サイズ pixel に対し、有限要素法コンピューター熱解析を実施し、pixel 温度上昇値を求めた。更に、熱絶縁度を定義することにより、熱設計の指針となることを見出し、熱的最適設計の手順を明確化した。
- 2 各形状、サイズの pixel に対し、有限要素法コンピューター機械的応力解析を実施し、pixel の梁に生じる応力分布を算出した。更に、梁形状指数を定義することにより、pixel 応力設計の指針となることを見出し、機械的応力最適設計の手順を明確化した。
- 3 中空マイクロブリッジの基本構成膜である絶縁膜を成膜し、この膜に対し、貫通電極を形成した。これの評価を行い、貫通電極の開口φ 10μ m 以下、抵抗 50Ω 以下を達成していることを確認した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

[事業管理者]

財団法人鳥取県産業振興機構
新事業創出部事業支援グループ 主事 岡島 加奈
〒689-1112 鳥取県鳥取市若葉台南7丁目5番1号
Tel:0857-52-6704 Fax:0857-52-6673
E-mail: kokazima@toriton.or.jp

[統括研究代表者]

日本セラミック株式会社
MEMS 研究部 部長 森口雅彦
〒689-1161 鳥取県鳥取市広岡 204-8
Tel:0857-53-3863 Fax:0857-53-1310
E-mail : m.moriguchi@nicera.co.jp

第2章 本論

2-1 設計

ボロメータを、高感度とするためには、センサ部であるマイクロブリッジの熱絶縁性を高めることが必要である。また、二点で保持されるマイクロブリッジ構造は、基本的に、機械的強度が低である。そこで、有限要素法解析ソフトを用いて、マイクロブリッジの熱絶縁性、及び、機械的応力の最適設計を行った。

有限要素法とは、対象物体を微小領域の要素に分割し、要素の境界で偏微分方程式の解が連続であるとの条件下でコンピューター解析を行うものである。有限要素法コンピューター解析は、図2のフローを採る。まず、対象物体の3次元形状モデルを作成し、要素分割・解析条件を設定する解析モデルの作成を行う。次に解析を実行し、解析結果を表示させる。この結果を評価し、不適の場合は、形状モデル又は解析モデルを再設定する。

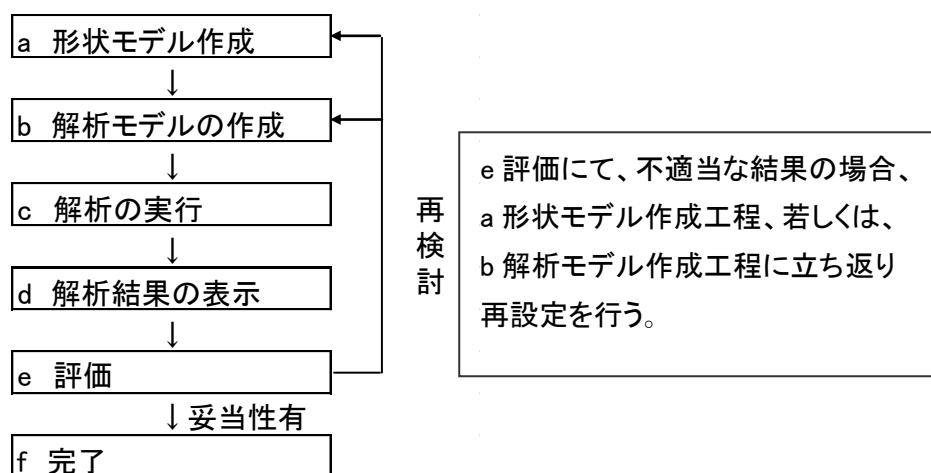


図2 有限要素法コンピューター解析フロー

2-1-1 熱的設計

各種形状、サイズの pixel に対し、有限要素法解析ソフトを用い、pixel に赤外線入射時の pixel 温度上昇値を算出した。更に、pixel 温度上昇値に対し、pixel 各部寸法より求めた熱絶縁度が、熱設計の指針となることを見出し、熱的最適設計に対し、設計手順を明確化した。

2-1-2 機械的応力設計

次に、有限要素法解析ソフトを用い、各種形状、サイズ pixel の応力解析として、pixel 中心に応力を印加した際の梁に生じる応力分布、及び、荷重印加時 Z 方向変位量を算出した。荷重印加時の Z 方向変位量を解析し、pixel 各部寸法より求めた梁形状指数が、pixel 応力設計の指針となることを見出し、機械的応力最適設計の手順を明確化した。

2-2 貫通電極用穴形成

2-2-1 絶縁膜成膜条件設定

中空マイクロブリッジの基本構成膜は絶縁膜である。また、貫通電極は、絶縁膜に穴作製後金属膜を成膜し形成する。穴作製条件は、絶縁膜成膜条件即ち、膜質により異なる。そこで、以下に説明する成膜条件による膜質差異を計測し、中空マイクロブリッジ形成に適する絶縁膜成膜条件を設定した。

2-2-1-1 膜応力計測

中空マイクロブリッジ形成において、ブリッジ構成する絶縁膜の膜応力選定が、最重要項目である。不適切な膜応力を選定すると、ブリッジに撓み等が生じ、正常な pixel が形成されず出力が低いという不良が発生する。そこで、各条件で絶縁膜を成膜し、これの膜応力を計測評価した。膜応力は、成膜前後での成膜基材ソリを計測し、基材ヤング率等より算出する手法を用いた。

2-2-1-2 膜厚分布計測

貫通電極用穴形成時に膜厚分布も重要項目である。前項で評価した各成膜条件時の絶縁膜膜厚分布を、絶縁膜にウェットエッチング法にてパターン形成し、計測した。

2-2-1-3 屈折率計測

1-1 項で述べたように、マイクロブリッジ形成時には、反射防止層を最上層に設ける構造を採用する。反射防止層設計には、絶縁膜屈折率が重要情報となる。よって、各成膜条件時の絶縁膜屈折率を計測した。

2-2-1-4 犠牲層上絶縁膜膜質計測

1-1 項で説明したように、中空マイクロブリッジ構成する絶縁層は、犠牲層上に成膜される。そこで、基材上に絶縁膜成膜の時と、犠牲層上に絶縁膜時との、膜質差異をウェットエッチング法で計測した。両者に、エッチングスピード差発生せず、膜質差異無しと判断した。

2-3 貫通電極形成

2-2 項で絶縁膜成膜条件を選定したので、貫通電極を以下手順で作製した。各工程では、成膜、露光・現像、エッチング等の MEMS 技術を応用し加工を実施した。

④貫通穴ドライエッチ加工において、穴側壁に断線原因となる突起等発生無しで加工されていることを、確認した。また、⑤レジスト除去工程では、アッシングにより、レジストが完全に除去されることを確認した。

- ① 下部電極形成
- ② 絶縁膜成膜
- ③ 貫通穴レジストパターン形成
- ④ 貫通穴ドライエッチ加工
- ⑤ レジスト除去
- ⑥ 上部電極形成

作製した貫通電極の評価を行い、平成 22 年度技術目標である開口φ 10μ m 以下、抵抗 50Ω 以下を達成していることを確認した。

第3章 総括

日本セラミック株式会社が考案した絶縁材料で柱を形成し、柱内に貫通電極を設ける構造を用いて、「赤外線検出高画素センサの開発」を行った。本開発は、赤外線検出高画素センサチップを小型化し低価格化を図り、且つ、信頼性高いチップ作製する技術の開発が目標である。本開発の成果は以下のとおりである。

- 1 各形状、サイズの pixel に対し、有限要素法コンピューター熱解析を実施し、pixel 温度上昇値を算出した。更に、pixel 温度上昇値に対し、pixel 各部寸法より求めた熱絶縁度が、熱設計の指針となることを見出し、平成 22 年度技術目標である熱的最適設計に対し、設計手順を明確化した。
- 2 各形状、サイズの pixel に対し、有限要素法コンピューター機械的応力解析を実施し、pixel の梁に生じる応力分布を算出した。更に、Z方向変位量に対し、pixel 各部寸法より求めた梁形状指数が、pixel 応力設計の指針となることを見出し、平成 22 年度技術目標である機械的応力最適設計に対し、設計手順を明確化した。
- 3 中空マイクロブリッジの基本構成膜である絶縁膜を形成し、成膜条件と膜応力、膜厚分布との関係を求めた。また、成膜条件－屈折率との関係を求めた。更に、犠牲層上に成膜した絶縁膜膜質が、Si ウェハ上成膜時と差異がないことを、ウェットエッチング法により確認した。これら結果より、中空マイクロブリッジ形成に適する成膜条件を選定した。
- 4 上記選定成膜条件にて、絶縁膜を成膜し、この膜に対し、貫通電極を形成した。この評価を行い、平成 22 年度技術目標である貫通電極の開口φ 10μ m 以下、抵抗 50Ω 以下を達成していることを確認した。
- 5 貫通電極形成時の貫通穴ドライエッチ加工において、穴側壁に断線原因となる突起等発生無しで加工されていることを確認した。また、貫通穴ドライエッチ加工後のレジスト除去工程でアッシングにより、レジストが完全に除去されることを確認した。