

熱型赤外線センサ封止用ZnS窓材へのCu充填貫通配線

福本, 貴文
日産自動車 (株)

岡本, 尚樹
大阪府立大学大学院工学研究科

太田, 最実
日産自動車 (株)

福山, 康弘
日産自動車 (株)

他

<https://hdl.handle.net/2324/7361473>

出版情報 : IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines. 130 (9), pp.437-442, 2010-09-01. 電気学会
バージョン :
権利関係 : © 電気学会 2010



Copper-Filled Through-Hole Electrode of a ZnS Window Material for Sealing a Thermal Infrared Sensor

Takafumi Fukumoto Non-member (Nissan Motor Co., Ltd., ta-fukumoto@mail.nissan.co.jp)

Naoki Okamoto Non-member (Osaka Prefecture University, nokamoto@chemeng.osakafu-u.ac.jp)

Yoshimi Ohta Member (Nissan Motor Co., Ltd., ohta-yoshimi@mail.nissan.co.jp)

Yasuhiro Fukuyama Non-member (Nissan Motor Co., Ltd., ya-fukuyama@mail.nissan.co.jp)

Masaki Hirota Member (Nissan Motor Co., Ltd., m-hirota@mail.nissan.co.jp)

Kazuo Kondo Non-member (Osaka Prefecture University, kkondo@chemeng.osakafu-u.ac.jp)

Keywords : wafer level package, plate, through-hole filling, infrared, sensors

The through-hole electrode for the wafer level packaging (WLP) was formed aiming at the lowering the cost of the infrared sensor. As for the ZnS substrate that became the window material of the WLP, plating was very difficult and its adhesion was so low. However, it was succeeded in the through-hole filling because of the new method of the direct nonelectrolyte plating. Concretely, the blast process was performed to the ZnS substrate of 1mm thickness. Then, the through-hole with both sides tapered can be formed, and its aspect ratio is 7. In addition, the compound process such as the Cu substitution plating and the Ni nonelectrolyte plating was done to the through-hole, the plating film with the high adhesion was able to be formed also in the through-hole uniformly. It completely filled it to the through-hole by giving the Cu electroplating. The sample was able to confirm a very high sealing properties measured $1.0 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ or less by He leak test. As a result, It is turned out that it is effective to use ZnS substrate for IR window material, and the cost reduction of the infrared camera can be possible.

Figure 1 (a) shows an atomic force microscope (AFM) image of the ZnS substrate surface after Cu substitution plating, and Fig. 1 (b) shows the line profile. The exterior of the sample after Cu substitution plating appeared the same. However, the AFM images revealed that the diameter of the particles was from 20 to 100 nanometers and that they were several tens of nanometers thick. Nanosized particles were investigated by X-ray photoelectron

spectroscopy (XPS) and were found to be copper oxide (Cu_2O). Figure 2 (a) shows a schematic diagram of the ZnS/Cu/Ni interface. Granular deposits of Cu species were first adsorbed on the ZnS substrate. Then, Ni was deposited around the Cu granular deposits and NiS was formed on the surface of ZnS by a chemical reaction. Figure 2 (b) shows the resultant cross section when this compound process was applied to the through-hole in the ZnS substrate. A uniform plating film of about 15 μm to 20 μm in thickness was formed in the hole. Figure 3 shows the filling state for different electroplating deposition times. Observation of the cross section confirmed that the through-hole was filled completely without any gaps.

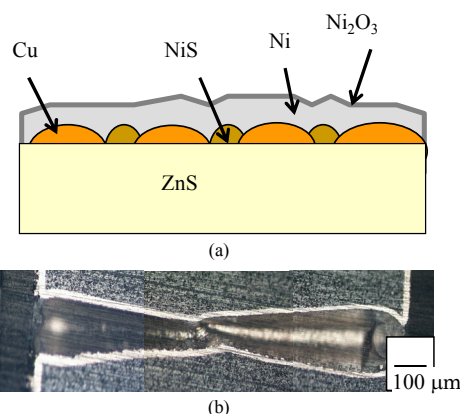


Fig. 2. After Ni electroless plating.

(a) Schematic diagram of ZnS/Cu/Ni interface.

(b) Cross-sectional view of through-hole.

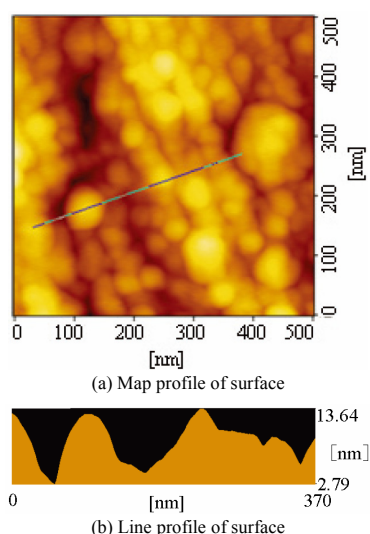


Fig. 1. AFM images of the samples after Cu immersion plating.

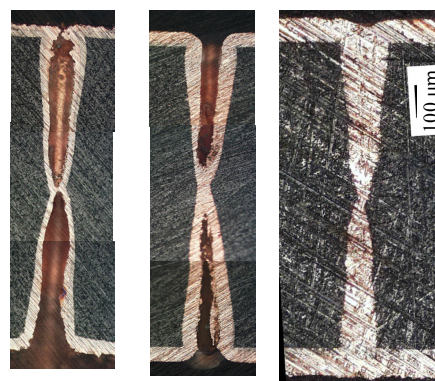


Fig. 3. Cross-sectional view of through-hole filled by Cu electroplating. Deposition time: (a) 3 hr, (b) 9 hr, and (c) 18 hr.

熱型赤外線センサ封止用 ZnS 窓材への Cu 充填貫通配線

非会員 福本 貴文* 非会員 岡本 尚樹**
 正 員 太田 最実* 非会員 福山 康弘*
 正 員 廣田 正樹* 非会員 近藤 和夫**

Copper-Filled Through-Hole Electrode of a ZnS Window Material for Sealing a Thermal Infrared Sensor

Takafumi Fukumoto*, Non-member, Naoki Okamoto**, Non-member, Yoshimi Ohta*, Member,
 Yasuhiro Fukuyama*, Non-member, Masaki Hirota*, Member, Kazuo Kondo**, Non-member

The through-hole electrode for the wafer level package (WLP) was formed with the aim of lowering the cost of infrared sensors. It has been difficult to plate a ZnS substrate for use as the window material of WLPs because of low adhesion. However, through-hole filling was successfully accomplished in this work by applying a newly developed method of direct nonelectrolyte plating. Concretely, a blast cleaning process was performed on a ZnS substrate of 1 mm thickness. Then, a through-hole with both sides tapered was formed with an aspect ratio of 7. A compound process of Cu substitution plating and Ni nonelectrolyte plating was applied to the through-hole, forming a uniform plating film with high adhesion in the hole. Finally, the through-hole was completely filled by Cu electroplating. A He leak test confirmed that the sample had high sealing properties, with a measured leak rate of $1.0 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ or less. The results showed that a ZnS substrate can be used effectively for IR window material, making it possible to reduce the cost of infrared cameras.

キーワード：ウエハレベルパッケージ，めっき，スルーホールフィリング，赤外，センサ

Keywords : wafer level package, plate, through-hole filling, infrared, sensors

1. はじめに

赤外線カメラを使うことで，物体から放射している赤外線を昼夜関係なく検知でき，光源を必要なしに物体の温度分布を表す画像（熱画像）の取得が可能となる。その適用先として，自動車の夜間歩行者警報システム⁽¹⁾⁽²⁾や，エアコンなど⁽³⁾が挙げられる。

しかしながら，これまで開発してきた赤外線カメラは，その熱型赤外線センサ⁽⁴⁾を CAN パッケージで 1 品毎に真空封止⁽⁵⁾する必要がある，結果としてコスト高になり，車載適用を難しくさせていた。

一方で，IC や各種 MEMS デバイスではパッケージングの高密度化，低コスト化を狙ったウエハレベルパッケージ (WLP) 技術の開発が進められている^{(6)~(8)}。我々も，赤外線

カメラの低コスト化を狙い，熱型遠赤外線センサの WLP 技術の開発を進めている。

WLP の貫通配線としては，シリコン (Si) の基板に貫通孔を形成し，それをめっき等で電極を形成する TSV (Through Silicon Via) の研究開発が各企業，各大学でさかんに行われている⁽⁹⁾。しかしながら，本赤外線センサの場合，Si 基板側には Fig.1 に示した様な熱分離構造を持った素子を形成する必要がある，貫通配線めっきプロセスとの併用が難しい。一方，キャップ側はその構成が Si 基板側に比べて単純であり，貫通配線も簡便に形成できる。したがって，

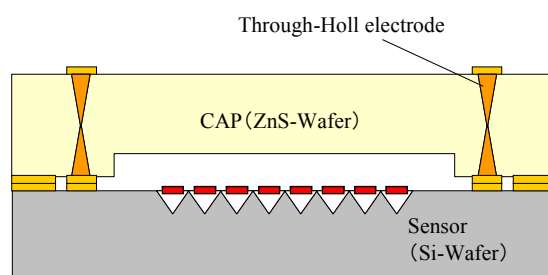


Fig. 1. Structure of wafer level package for infrared sensor.

* 日産自動車 (株)
 〒237-8523 神奈川県横須賀市夏島町 1
 Nissan Motor Co., Ltd.
 1, Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa 237-8523
 ** 大阪府立大学 大学院工学研究科
 〒599-8531 大阪府堺市中区学園町 1-1
 Osaka Prefecture University
 1-1, Gakuen-cho, Nakaku, Sakai, Osaka 599-8531

本開発では、貫通配線を素子側ではなく、キャップ側ウエハに設けた。この事で、Si 素子の設計の自由度も上がり、加えて、Si の貫通孔作製に用いられる深掘り反応性イオンエッチング DEEP-RIE 等⁽¹⁰⁾が不要となることから低コスト化にも繋がると考えられる。

赤外線センサの窓材には Ge, Si, ZnS 等いくつかの候補があるが、今回、低反射率、任意形状へのモールドイングが可能で、かつ、低コスト化可能な ZnS 基板⁽¹¹⁾を選択し、高アスペクト比の貫通配線を作製した。

しかしながら、ZnS 基板は硬くて脆く、脆性破壊しやすい性質を持ち⁽¹²⁾、高アスペクト比の貫通孔の形成が難しい。

加えて、ZnS は塩酸に溶ける⁽¹³⁾ことから、従来法となる塩化スズ-塩化パラジウムを用いた一般的な無電解めっきではめっき膜の形成ができないといった問題があり、貫通配線の形成が非常に困難であった。

そこで今回、ブラスト加工により両面テーパの高アスペクト貫通孔を形成し、孔内部に Cu 置換下地めっき、無電解 Ni めっきの複合プロセスを施し、さらに、その上からめっき充填させることで貫通配線を形成した。また、充填後のサンプルに対して気密試験を行った結果、高い気密性が確認できたので報告する。

2. 貫通孔の作製とめっき充填

本研究ではキャップウエハのプロセス確立を目指し、パッケージ全体ではなく、窓材の貫通配線に注力して評価を行った。ここでの全体プロセスフローを Fig.2 に示す。基板内部にテーパ状の貫通孔を設け、その表面に下地めっきを施す。さらに、電解めっきにより充填し、最後に表面研磨により、表面に残っためっき物を除去した。

次に各工程の詳細を示す。

〈2・1〉 基板内へのテーパ貫通孔の作製 一般的に Si を中心とした MEMS の貫通孔作製には反応性イオンエッチングが用いられる。しかし、本センサの窓材に ZnS 基板を使用した場合、その必要強度から 1 mm 厚が必要となる。こ

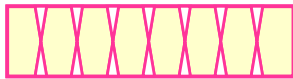
1. Sand blast shot



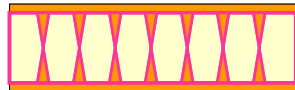
2. Cu immersion plating



3. Ni electroless plating



4. Through Hole Cu Filling



5. Chemical Mechanical Polishing



Fig. 2. Schematic procedure of through-hole filling.

の基板厚に微細貫通孔を作製する場合、エッチングではその加工レートの低さ⁽¹⁴⁾から現実的ではない。したがって、我々はブラスト加工に着目し、穴あけ加工を実施した。なお、本実験について、用いた ZnS 基板の特長を以下に記す。

チップサイズ：12 mm□×1 mm 厚

製法：ホットプレス法による焼結体

平均粒径：1.4 μm (粒径分布：0.1~7 μm)

表面粗さ：光学研磨仕上げ ($R_a = 6 \text{ nm}$ 程度)

結晶構造：閃亜鉛鉱型構造

・ブラスト加工による穴あけ

Fig.3 (a) に上面図および (b) に断面図を示す。加工方法として、レジスト (東京応化製 100 μm 厚) にパターンニング、およびベークを行い、ブラスト材を投射した。投射条件は、ストローク長 150 mm, 30 ピッチ, パス回数 50 回として、それぞれ両面に実施した。

その結果、入口開口部の直径が 150 μm 、板厚の 1/2 となる深さの箇所約 60 μm となるテーパ孔が基板両面から繋がり、両面テーパ状の貫通孔が形成できた。これは 1 mm 厚の ZnS 基板に対してアスペクト比 7 程度に相当する。この時、孔端部のチッピングは 10 μm 以内に収まっており、本センサの要求孔径、および要求ピッチを十分満たせるレベルと考えている。

また、本加工はウエハレベルで行うことができ、今回と同条件で行った場合、6 インチウエハで約 80 分となり、量産での低コスト化が期待できる。

〈2・2〉 微細孔への下地めっき ZnS 基板は従来法となる塩化スズ-塩化パラジウムを用いた一般的な無電解めっき法では、ZnS 基板自身が溶解してめっき膜の形成ができないという問題があった。

このことから、今回、塩化物イオンを除いためっき方法が必要であり、置換めっき、無電解 Ni めっきという複合プロセス⁽¹⁵⁾を新たに勘案した。

Table 1 に示しためっき液にて置換 Cu めっきを 5~30 min 行った。置換 Cu めっき後の外観は変化しないが、AFM にて分析を行ったところ、Fig.4 の表面における付着物の直径は 20~100 μm 、厚みは数 nm~10 nm であった。なお、めっき分析用には貫通孔が存在しない□12 mm の ZnS 基板焼結体 (□12 mm×1 mm 厚) を用いた。

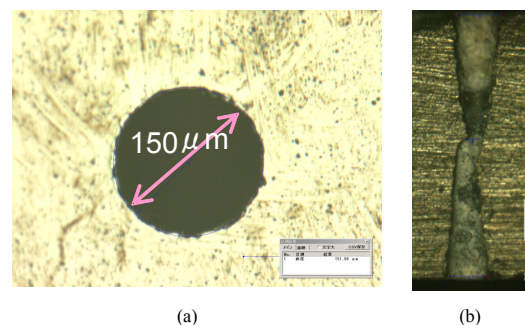


Fig. 3. Through-hole ZnS Via.

(a) Top view. (b) Cross-sectional view.

さらに、この物質を XPS 法により Cu の有無や結合状態を調査した結果、1 価の酸化銅 (Cu_2O) の状態で存在していた。また、AES 分析により Cu の存在量を調査した結果、

Table 1. Cu immersion plating bath condition.

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.5~1.0 mol/L
H_2SO_4	1.0~2.0 mol/L
Temperature	Room temperature

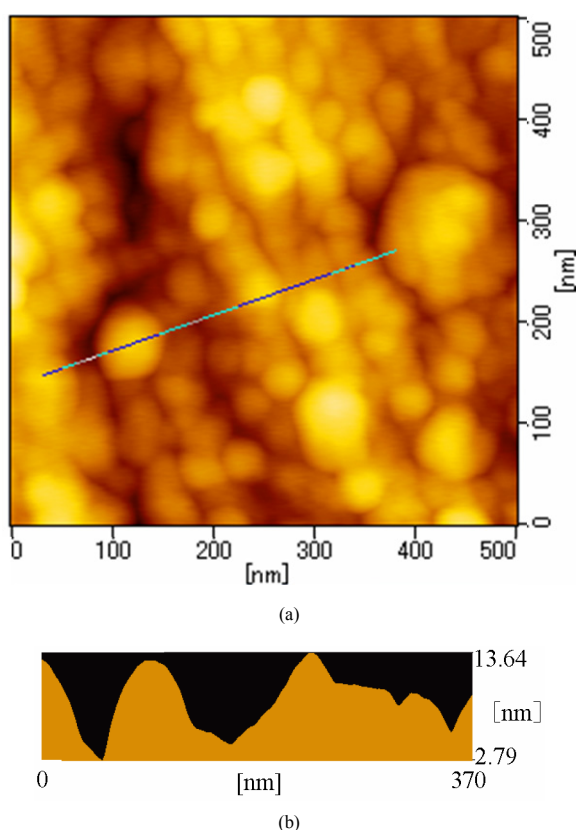


Fig. 4. AFM images of the samples after Cu immersion plating. (a) Map profile of surface. (b) Line profile of surface.

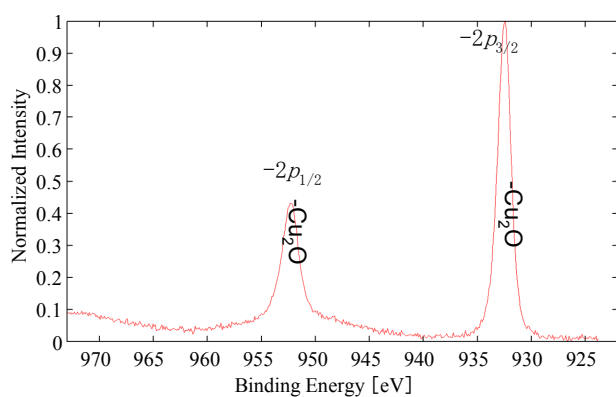


Fig. 5. XPS spectra after the surface of ZnS substrate is plated with Cu.

Fig.6 (a) の様にドットの状態、基板全体に均一に析出している事が判明した。

次に、置換 Cu めっきの後、シード層を形成する為に、Table 2 に示しためっき液にて無電解 Ni めっきを行った。

ここでは、めっき界面の状態を調査するために、置換 Cu めっき後、あえて無電解 Ni めっき膜が形成し始めたサンプルにて XPS 分析を行った。その結果、 Cu_2O 、 Ni_2O_3 、 NiS が析出された。これらのことから断面構造を推定すると、Fig.6 (b) に示すように ZnS 基板表面には下地として島状の Cu_2O が形成されており、その上に Ni_2O_3 が形成されていると考え

Table 2. Ni electroless plating bath condition.

$\text{CH}_3\text{Na}_2\text{O}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.5~1.0 mol/L
$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$	0.1 mol/L
$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.1 mol/L
$\text{NaPH}_2\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.1~1.0 mol/L
$\text{C}_7\text{H}_4\text{NNaO}_3\text{S} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.001~0.01 mol/L
pH	3~5
Temperature	293~353 K

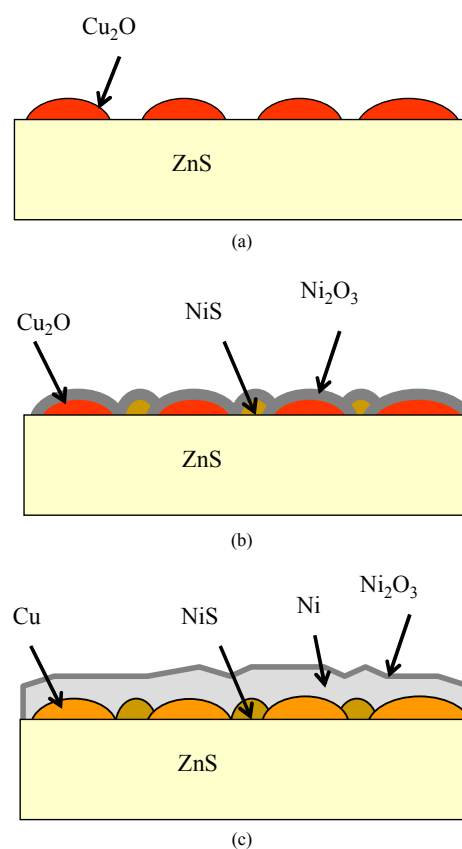


Fig. 6. Schematic diagram of ZnS/Cu/Ni interface.

(a) After Cu immersion plating. (b) When Ni electroless plating started. (c) After Ni electroless plating.



Fig. 7. Cross-sectional view of through-hole after Ni electroless plating.

られる。また、 Cu_2O が存在しない箇所については、 ZnS の S と Ni が化合物 NiS を作っていると考えられる。

以上の分析結果から、置換 Cu めっきから Ni めっきまでのメカニズムは、以下のように考えられる。Fig.6 (c) に示す。

置換 Cu めっきで析出された Cu_2O は Ni めっき液中の還元剤により金属 Cu に還元されて、触媒として機能する。その結果、Ni 無電解めっき時には Cu の上には、金属 Ni めっきが堆積される。また、 Cu_2O が存在しない箇所においては、触媒作用が起らないが、基板に含有される S と、無電解めっきにより析出する Ni が化合物 NiS を形成する。さらにその上に Ni が堆積されていく。最表面には金属 Ni が大気酸化し Ni_2O_3 となる。この事で Ni 無電解めっきによる下字膜が形成される。

ここで、下地膜の密着性は本パッケージの気密性を決める重要なファクターの 1 つになる。今回の無電解めっき膜と ZnS 基板との密着性試験を行った結果、引張り試験用治具との間の接着剤が剥がれた事から、本無電解めっき膜の密着強度は 16.6 MPa 以上（接着剤の引張り強度）に相当する。基板に含有される S と無電解めっきにより析出する Ni が化合物 NiS をつくったことにより、基板と無電解めっき膜が強固な密着性を示したと考えられる。

本複合プロセスを ZnS 基板内の貫通孔に適用した場合の断面図を Fig.7 に示す。約 15~20 μm 厚の均一な Ni めっき膜が孔内部にまで形成されているのが分かる。また、本 Ni めっき膜の電気抵抗率を別途、細線パターンで実測した結果 $3.5 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ であった。これを本貫通孔 1 本分で換算すると、Ni 下地膜だけで約 0.5 Ω に相当することになる。

〈2・3〉 微細孔へのめっき充填 電気 Cu めっき法により貫通孔の充填を行った。ここでは、Table 3 に示しためっき浴にて穴埋めを実施した。一般的にビス（3-スルフォプロピル）ジ-スルフォイド（SPS）、ポリエチレングリコール（PEG）、塩素イオン（ Cl^- ）、ヤースグリーン B（JGB）の 4 種類の添加剤を入れると穴埋めが良好であるという報告⁽¹⁶⁾から、上記 4 種類を加えて実施した結果、断面研磨にてシード層との剥離が起こった。剥離した原因として下記 2 点の理由が考えられる。

- ・ JGB を使用したことにより、めっき膜の内部応力が増加して、密着性が低下した。

- ・ JGB の添加により銅めっき膜そのものの延性が低下した。

したがって、添加剤を全く加えない場合と、SPS、PEG、 Cl^- の 3 種類の添加剤を加えた場合とを比較した。

Table 3. Cu electroplating bath composition and bath condition.

Basic bath	
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.5~1.0 mol/L
H_2SO_4	1.0~2.0 mol/L
Additives	
SPS	5 ppm
PEG	500~1000 ppm
Cl^-	100 ppm
JGB	10 ppm
Conditions	
Current density	5,10 mA/cm ²
Temperature	Room temperature
Agitating speed	500~1000 rpm

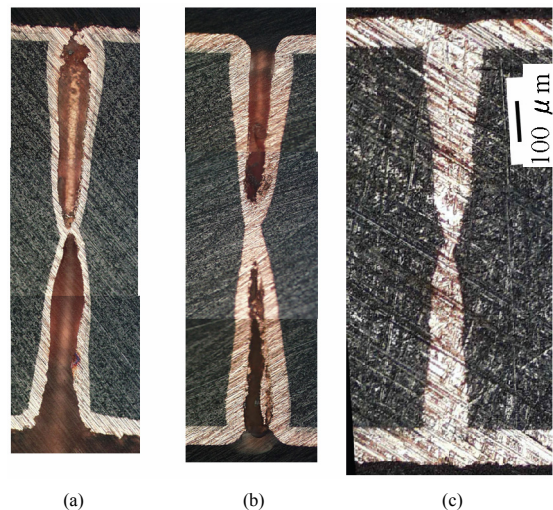


Fig. 8. Cross-sectional view of through-hole filled by Cu electroplating. Deposition time: (a) 3 hr, (b) 9 hr, and (c) 18 hr.

その結果、後者が最も穴埋め性が高かった。また、充填性を高める為に電流密度を 5 mA/cm² にして、低速で電気 Cu めっきを行った。Fig.8 に経過時間別に充填されていく様子を示す。

Fig.8 に示した断面観察の結果、上記の条件にて貫通孔に対して空隙なく、完全充填できているのが分かる。

3. 貫通配線部の気密性評価

サーモパイル型赤外線センサは、素子部の真空を常に保持する必要がある、これをウエハレベルパッケージングに展開する場合には、貫通配線の気密性が要求される。

仮に、貫通配線部の気密性が悪いと、それがリークパスとなり、パッケージ内圧が上がってしまいセンサが機能し

なくなる。このことから貫通配線部は完全気密にするか、あるいは、所定のリークレート以下で管理する必要がある。

したがって、気密性を評価する為にめっき表面（基板表裏）をサンドペーパーにて研磨し、表面の Cu および下地めっき層を除去し、気密性を評価できる状態にした。

測定サンプルの外観を Fig.9 に示す。

本実験で使用した貫通孔は 1 チップ（ $\square 12\text{ mm}$ ）の中に 0.5 mm ピッチでアレイされており、全部で 225 穴存在する。今回、気密性評価として、He リーク試験の真空法 (JISZ2331) を用いた。

測定原理としては、Fig.10 に示すように、上部から、貫通配線に対してある一定の He 量を流し込ませる。この時、事前に下側で真空引きをしておき、検出された He 量から貫通配線部のリークレートが評価できる。

今回、チップ下に設置させるシール材が $\phi 3\text{ mm}$ であったことから、1 チップ内における測定箇所を 3 箇所に分けてリークテストを行った。この時、1 回のリークテストで真空により加圧される穴は 30 穴程度となる。

この方法にて測定した結果、3 箇所とも全て 1.0×10^{-10}

$\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 以下という検出限界以下の高気密性が確認できた。

これを 1 穴あたりで換算すると、 $3.3 \times 10^{-12} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 以下に相当し、本赤外線センサに適用できる気密性を有していると考えられる。

また、Cu 充填後の本貫通配線の抵抗値は計算上、 $1.6\text{ m}\Omega$ 程度であり、センサ抵抗値が数百 $\text{k}\Omega$ であることから、今回の配線抵抗は無視できるレベルであると考えられる。

4. 結 論

赤外線センサ用窓材である ZnS 基板に貫通電極を形成するために、高アスペクト比の両面テーパ貫通孔を形成した。

さらに、通常は無電解めっきが困難であった ZnS 基板にシード層を作る為に、Cu 置換めっきに続く Ni 無電解めっきを行うことで、密着強度 16.6 MPa 以上の高密着性を有した下地めっき膜を貫通孔に形成した。

これを Cu 電解めっきで充填した結果、リークレート $1.0 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 以下という高気密性を有する貫通配線の形成に成功した。

以上から、本プロセスを用いる事で ZnS 基板内に貫通配線を形成することが可能になると考えられる。

(平成 22 年 3 月 12 日受付, 平成 22 年 4 月 28 日再受付)

文 献

- (1) S. Klapper, R. Kyle, R. Nicklin, and A. Kormos : "Night Vision – Changing the Way We Drive", SPIE, Vol.4360, pp.117-121 (2001)
- (2) M. Hirota, Y. Ohta, and Y. Fukuyama : "Low-cost thermo-electric infrared FPAs and their automotive applications", SPIE, Vol.6940, 694032 (2008)
- (3) 辻 正文・大久保直子・斎藤誠則・浅岡 昭・廣田正樹 : 「パーソナルエアコンシステムのための乗員表面温度検出の研究」, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.126-05, pp.23-26 (2005)
- (4) M. Hirota, Y. Nakajima, M. Saito, and M. Uchiyama : "120 × 90 element thermoelectric infrared focal plane array with precisely patterned Au-black absorber", Sensors and Actuators A: Physical, Vol.135, pp.146-151 (2007-3)
- (5) M. Hirota, Y. Nakajima, M. Saito, and M. Uchiyama : "Thermoelectric infrared imaging sensors for automotive applications (Proceedings Paper)", Quantum Sensing and Nanophotonic Devices, Manijeh Razeghi; Gail J. Brown, Editors, pp.111-125
- (6) K. Kondo : "Copper Damascene Electrodeposition and Through Plug Formation for Three Demensitonal Packaging", Vol.55, No.12 (2004)
- (7) K. Takahashi, H. Terao, Y. Tomita, Y. Yamaji, M. Hoshino, T. Sato, T. Morifuji, M. Sunohara, and M. Bonkohara : "Current Status of Research and Development for Three-Dimensional Chip Stack Technology", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.40, pp.3032-3037
- (8) K. Kondo, T. Okamura, S. J. Oh, T. Yonezawa, M. Tomisaka, H. Yonemura, M. Hoshino, Y. Taguchi, and K. Takahashi : "Copper Via Filling Electrodeposition of High Aspect Ratio Thru Chip Electrodes Used for the Three Dimensional Packaging", エレクトロニクス実装学会誌, Vol.6, No.7, pp.596-601 (2003)
- (9) 傳田精一 : 「3 次元チップ積層のためのシリコン貫通電極 (TSV) の開発動向」, 表面技術, Vol.58, No.12 (2007)
- (10) Y. Yoshida, M. Kumagai, J. Ichikawa, J. Jiao, and K. Tsutsumi : "Development of Deep Reactive Ion Etching (Deep-RIE) Process for Bonded Silicon-Glass Structures", The transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan. A publication of Sensors and Micromachines Society, Vol.122, No.8, pp.391-397 (2002)
- (11) 上野友之・長谷川幹人・吉村雅司・岡田 浩・西岡隆夫・寺岡寛二・藤井明人・中山 茂 : 「遠赤外線カメラ用途の ZnS レンズの開発」, 技術論文集 SEI テクニカルレビュー, No.175 (2009-7)

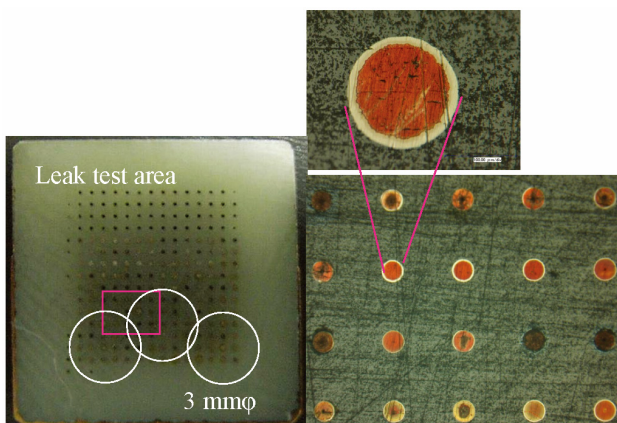


Fig. 9. Top view of through-hole electrode after removing Cu on surface of ZnS substrate.

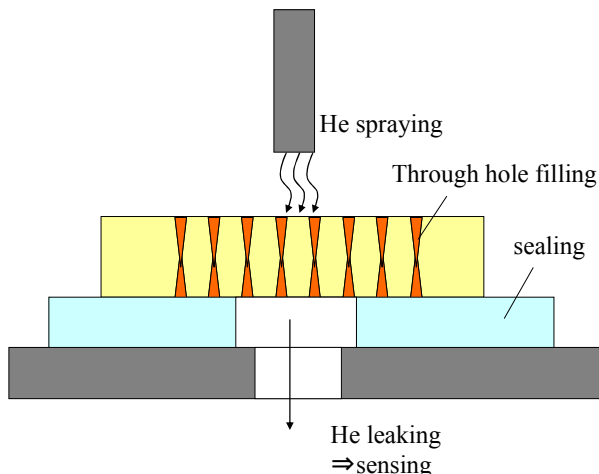


Fig. 10. Schematic diagram of He leak test.

- (12) 松下幸司・鳥居龍晴・増田忠志・三ツ井健司・岡田則夫・青山正樹・鈴井光一：「赤外線光学素子用多結晶 ZnS の微細溝加工」，名古屋大学全学技術センター（理学）装置開発系技術報告 4 巻（2009）
- (13) K. Winchester, S. M. R. Spaargaren, and J. M. Dell : “The use of ZnS as a sacrificial layer in the construction of PECVD SiNx self-supporting structures”, Optoelectronic and Microelectronic Materials Devices, 1998. Proceedings. 1998 Conference on (1999)
- (14) D. P. Kim, C. I. Kim, and K. H. Kwonb : “Etching properties of ZnS thin films in Cl₂/CF₄/Ar plasma”, Thin Solid Films Vol.459, No.1-2, 1, pp.131-136 (2004-7)
- (15) N. Okamoto, M. Miyamoto, T. Saito, K. Kondo, T. Fukumoto, and M. Hirota : “High Adhesive Strength Ni-P Thin Film on ZnS by an Electroless Deposition Process”, Electrochemical and Solid-State Letters, Vol.13, No.6 (2010)
- (16) 近藤和夫：「初歩から学ぶ微小めっき技術」，工業調査会（2006）

福 本 貴 文



（非会員） 1977 年 2 月 27 日生。2000 年大阪大学工学部電子制御機械工学科卒業。2002 年 3 月同大学大学院工学研究科機械システム工学専攻修士課程修了。同年三菱電機（株）入社，2005 年より日産自動車（株）。現在車載用赤外線イメージセンサの実装開発に従事。

岡 本 尚 樹



（非会員） 1978 年 10 月 17 日生。2001 年姫路工業大学工学部材料工学科卒業。2003 年姫路工業大学大学院工学研究科物質系工学専攻材料工学部門修士課程修了。2005 年東京都立大学大学院工学研究科応用化学専攻博士課程 2005 年 4 月 大阪府立大学大学院工学研究科物質・化学系専攻 化学工学分野材料プロセス工学講座 助教。

太 田 最 実



（正員） 1977 年 2 月 18 日生。1999 年 3 月京都大学工学部物理工学科卒業，2001 年 3 月同大学大学院工学研究科機械物理工学専攻修士課程修了。同年（株）日立製作所入社，2004 年より日産自動車（株）。現在車載用赤外線イメージセンサの開発に従事。

福 山 康 弘



（非会員） 1976 年 11 月 20 日生。1999 年 3 月豊橋技術科学大学工学部情報工学課程卒業，2001 年 3 月同大学大学院工学研究科修士課程情報工学専攻修了。同年（株）日立製作所入社，2004 年より日産自動車（株）。現在車載用赤外線カメラおよび車載システムの開発に従事。

廣 田 正 樹



（正員） 1962 年 12 月 27 日生。1985 年早稲田大学理工学部電気電子工学科卒業，1987 年東京工業大学理工学研究科電子物理工学専攻修士修了，2006 年同大学博士課程修了。1987 年日産自動車（株）に入社，現在に至る。自動車用パワーデバイス，赤外線センサおよび車載システムの研究に従事。博士（工学）。自動車技術会，SPIE 会員。

近 藤 和 夫



（非会員） 1952 年 8 月 28 日生。1972 年 4 月京都大学工学部化学工学科入学。1978 年 3 月同大学工学部修士課程修了。1981 年 9 月 University of Illinois, Ph.D.。1982 年 1 月住友金属工業（株）入社。1996 年岡山大学工学部 助教授。2004 年大阪府立大学 工学研究科 教授。