

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510105

研究課題名(和文) 廃棄FPD・CRT・プリント配線板等からの有用金属リサイクル技術の開発

研究課題名(英文) Development of A Recycling Technology for Useful Metals from Wasted FPDs, CRTs, PWBs, and Others

研究代表者

本間 哲哉 (HOMMA, Tetsuya)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：60286698

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：廃棄プラズマ・液晶ディスプレイパネル、ブラウン管、プリント配線板、蛍光管、集積デバイスなどからの有用金属リサイクル技術の開発を行った。各種金属・金属酸化物の各種酸水溶液への溶解性、電気化学的測定、析出・回収物の結晶構造解析、不純物分析などを行った結果、金属、金属酸化物は、HF、HF/H₂O₂、などの酸水溶液に可溶で、廃棄物の室温同時一括処理が可能であること、貴金属、レアメタル等の金属、金属酸化物を、金属ごとに分離・回収できること、析出したAu、Ag、In、Cuの濃度が72～95重量%であること、などがわかった。また、リサイクルInの透明導電薄膜への応用可能性が高いことがわかった。

研究成果の概要(英文)：A recycling technology of useful metals from various wasted electronic devices and others, such as plasma display panels, liquid crystal display panels, printed wiring boards, fluorescent lamps, large-scale integrated circuits, and micro electro-mechanical system devices has been developed. Solubility of various metals and metal oxides was evaluated. Electrochemical, structural, and impurity analyses were also conducted. The experimental results show high solubility of metals and metal oxides to HF and HF/H₂O₂ aqueous solutions and others, indicating that the various wasted electronic devices and others can be treated simultaneously at room temperature. Feasibility for sequential separation and recovery of each metal such as precious and rare metals was confirmed. Concentrations of recovered Au, Ag, In, and Cu were 72-95 wt.%. High possibility for application of recycled In to transparent electro-conductive thin films was also confirmed.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学、環境技術・環境材料

キーワード：リサイクル技術 有用金属 レアメタル FPD プリント配線板 蛍光管 MEMS LSI

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初は、ブラウン管 (CRT) から液晶ディスプレイ (LCD) パネルやプラズマディスプレイパネル (PDP) などのフラットパネルディスプレイ (FPD) への移行が急速に進んでおり、鉛 (Pb) などの重金属を含有する廃棄 CRT や、銀 (Ag)、インジウム (In) などの有用金属を含有する廃棄 FPD の処理が喫緊の課題であった。2009 年度 4 月より FPD が家電リサイクル指定品目に追加されたことから、廃棄 FPD の処理の重要性が高まっていた。FPD パネルからは透明電極用 In や Ag、CRT や蛍光管からは、蛍光材料用レアメタル、プリント配線板 (PWB)・携帯電話や集積回路チップからは、銅 (Cu)・金 (Au) などの有用金属リサイクルが重要な課題であった。特に、2019 年に枯渇する可能性がある In の需要増加が必至であり、リサイクルによる In 資源の延命化を図る必要があった。また、国際的な資源獲得競争の激化や、資源産出国の輸出規制強化などで、希少金属などの供給・価格が不安定化していたため、携帯電話などの“都市鉱山”からの有用金属リサイクルの検討が始まっていた。

本研究は、フッ化水素酸 (HF) 水溶液にシリカ系ガラスを溶解・調製したケイフッ化水素酸 (H_2SiF_6) 水溶液からのシリカガラスの室温液相析出法を基礎としており、FPD・CRT・蛍光管・集積回路などからの有用金属リサイクル技術の研究開発に着手した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、FPD、CRT、蛍光管、PWB、IC ウェハ・チップなどの廃棄物から、低温処理 (40 °C 以下) で、In、Ag、Cu、Au などの有用金属やレアメタル・レアアースを、分別不要、かつ同時処理により、将来の FPD などの大量廃棄処理にも応え得る分離・リサイクル技術を確立することにある。

本研究は、従来の分別を必要とするリサイクル技術とは異なり、有用金属とガラスの同時処理、各種廃棄物の同時処理が可能となる。金属元素は、HF を主成分とする処理水溶液中に金属イオン、あるいは、金属酸化物・金属フッ化物の状態が存在すると考えられるため、各種化学処理、電気化学的方法、などで金属元素ごとの分離が可能である。

3. 研究の方法

本研究では、(1) リサイクル可能な金属種の選別・確定、(2) 金属元素分離メカニズムの解明、(3) リサイクル金属の光学・電子デバイスへの応用可能性の 3 つを中心に検討を行った。

(1) リサイクル可能な金属種の選別・確定

In_2O_3 や ZnO などの各種金属酸化物や Cu、Ag、Au などの金属の HF 水溶液、HF/ H_2O_2 混合水溶液への溶解性、沈殿物の各種酸水溶液への溶解性を調査した。図 1 に示すリサイクル

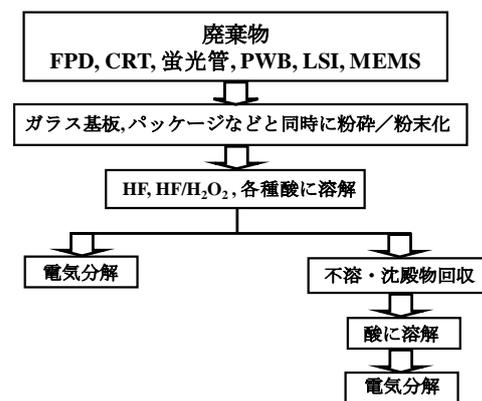


図 1 有用金属のリサイクルプロセス

プロセスで、各種酸処理法、電気化学的方法、X線回折 (XRD) 法などにより、リサイクル可能な金属種の選別・確定を行った。また、CRT ガラス、蛍光管などに含有している Pb、アンチモン (Sb) や、鉛フリーハンダに含有の Ag の分離・リサイクルについても検討を行った。分離・リサイクルした有用金属の不純物分析は、誘導結合プラズマ質量分析法、蛍光 X 線分析法などにより行った。

(2) 金属元素分離メカニズムの解明

各種酸処理、電気化学的方法などにより選別・確定した金属種について、各金属の分離メカニズムを調べた。電気化学的方法では、サイクリックボルタンメトリー法により、HF 水溶液、HF/ H_2O_2 混合水溶液などの酸水溶液中での酸化還元電位を測定し、金属種の同定と、金属種ごとの電気分解電圧の最適化を行った。また、沈殿物 (金属酸化物、金属フッ化物) からの有用金属の分離・リサイクルを検討した。

(3) リサイクル金属の応用

リサイクル金属の応用として、リサイクル In を用いた透明導電薄膜 (ITO 薄膜) 形成、抵抗率などの電気的特性、透過率などの光学特性を評価し、リサイクル金属の光学・電子デバイスへの応用可能性について検討した。

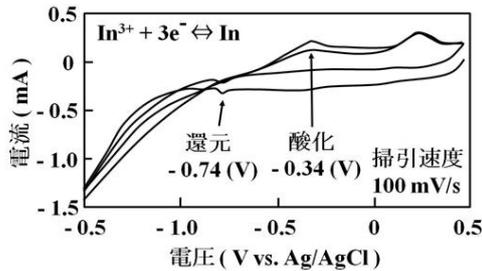
図 1 のリサイクルプロセスに示すように、FPD、CRT、蛍光管、PWB、LSI、MEMS などの廃棄物を、粉砕、または粉末化して、室温程度 (~ 40 °C) の低消費エネルギーで、HF 水溶液、HF/ H_2O_2 混合水溶液、各種酸水溶液に溶解して処理溶液を調製した。 H_2O_2 は、Cu などの HF 水溶液に不溶の金属の酸化剤として使い、ガラス・金属酸化物と同時に溶解した。この水溶液は各種金属イオンを含有し、金属酸化物種によっては、フッ化物イオン化、あるいは不溶化する。不溶の場合は沈殿するため、分離が可能となる。沈殿物を除去した水溶液から電気分解により、金属イオンを還元して回収した。また、分離・回収した沈殿物は、酸性水溶液に溶解して金属イオン化し、電気分解により還元して回収した。

4. 研究成果

(1) 各種金属の酸化還元電位

図2 (a)、(b)に、それぞれ、廃棄LCDガラス粉末、廃棄PDPガラス粉末をHF/H₂O₂混合水溶液に溶解し、サイクリックボルタメトリー法により測定したサイクリックボルタモグラムの示す。試料電極・対極には白金(Pt)電極、または炭素電極を、参照電極にはAg/AgCl電極を用いた。それぞれの溶解水溶液から、In、Agの酸化・還元ピークが観られた。酸化電位と還元電位の平均から、In、Agの酸化還元電位が、それぞれ-0.54 V、0.52 Vであることがわかった。

(a) LCDガラス溶解液 (In)



(b) PDPガラス溶解液 (Ag)

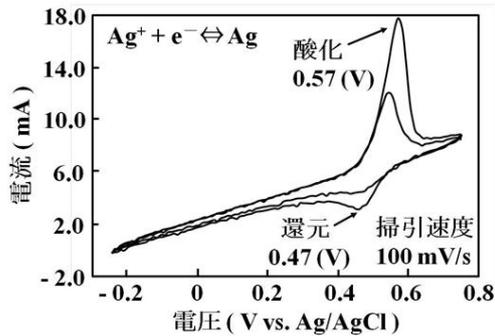


図2 サイクリックボルタモグラム

表1に、廃棄物の各種処理水溶液中の主な有用金属の酸化還元電位の測定結果をまとめて示す。金属種により酸化還元電位が異なるため、段階的な電気分解により、分離・回収が可能である。

表1 主な有用金属の酸化還元電位

廃棄物等	水溶液	金属種	酸化還元電位(V)
LCD	HF	In / In (3+)	-0.540
PDP	HF	Ag / Ag (+)	0.520
CRT	HF	Pb / Pb (2+)	-0.321
蛍光管	HF + HNO ₃	Sb / Sb (3+)	-0.047
PWB	HF / H ₂ O ₂	Cu / Cu (2+)	0.175
鉛はんだ	HF / H ₂ O ₂	Pb / Pb (2+)	-0.405
鉛フリーはんだ	HF / H ₂ O ₂	Ag / Ag (2+)	0.625
		Sn / SnF ₆ (2-)	-0.440
LSI	HF / H ₂ O ₂	Cu / Cu (2+)	0.424
	HCl / HNO ₃	HAuCl ₄ / AuCl ₄ (1-)	0.974
MEMS	HF / H ₂ O ₂	Cu / Cu (2+)	0.284
	HCl / HNO ₃	HAuCl ₄ / AuCl ₄ (1-)	0.910

(2) 個別の廃棄物からの有用金属回収

① LCDからのIn回収

濃度10重量%のHF水溶液1000gにLCDパネルガラス粉末500gを溶解・ろ過し、Pt電極を用いて、印加電圧4.2Vで21時間の電気分解を行い、陰極に0.03gの析出物を得た。図3に示すXRDチャートから、析出物がInであることが判明した。なお、In₂O₃の溶解度は、HF濃度10重量%で最大の3.9g/100g-HFであることがわかった。

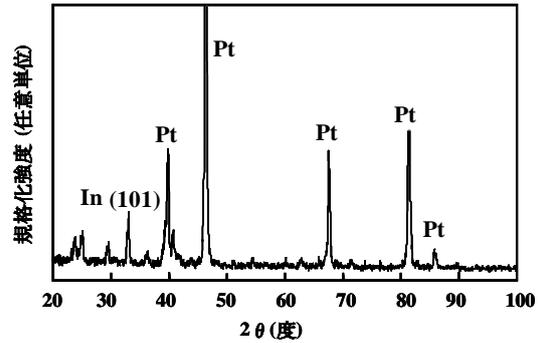


図3 XRDチャート(LCDから回収したIn)

② PDPからのAg・Bi・Gd・Y回収

まず、PDPガラスの前処理として、5重量%のHF水溶液を用いてMgO保護層の除去を行った。次に、濃度49重量%のHF水溶液200gにPDPガラス粉末100gを溶解・ろ過した。続いて、印加電圧1.0Vで24時間の電気分解を行い、陰極に0.02gの析出物を得た。後処理として、この析出物を純水に3時間浸漬した。図4に示すXRDチャートから、析出物がAgであることが判明した。

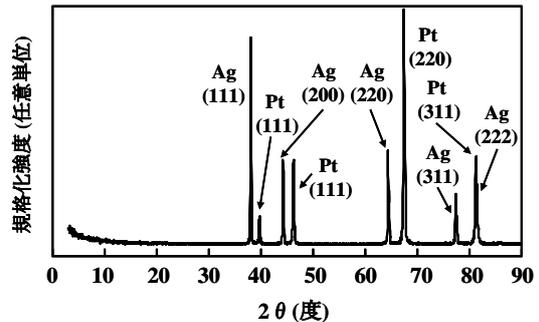


図4 XRDチャート(PDPから回収したAg)

種類の異なるPDPパネルガラスを粉碎・粉末化し、濃度49重量%のHF水溶液150gと30重量%のH₂O₂水溶液150gの混合水溶液に、PDPガラス粉末150gを溶解した。この溶液に段階的に電圧を1.0V、2.0Vと変えて24時間の電気分解を行い、陰極析出物を得た。XRD測定により、1.0V、2.0Vの電気分解で、それぞれ、Ag、Bi(異なるPDPガラスからはPb)が析出することがわかった。誘導結合プラズマ発光分光法、原子吸光法により測定したAg、Biの濃度は、それぞれ、95.3重量%、91.1重量%であることがわかった。

また、PDP ガラス粉末を、濃度 20 重量%の塩酸 (HCl) 水溶液に溶解・ろ過し、印加電圧を 1.5、2.0、4.0 V で段階的に増加させて、順次 24 時間の電気分解を行った。印加電圧 1.5 V、2.0 V の電気分解により陰極に得られた析出物は、XRD 測定から、Gd、Y であることがわかった。さらに、印加電圧 4.0 V の電気分解で得られた析出物が、GdCl₃ の可能性が高いことがわかった。

③ CRT・蛍光管からの Pb・Sb・Tb・Y・Eu 回収
濃度 49 重量%の HF 水溶液 100 g に CRT ガラス粉末 1000 g を溶解・ろ過し、印加電圧 2.5 V で電気分解を行った。沈殿物は、濃度 10 重量%の硝酸 (HNO₃) 水溶液 100 g に溶解・ろ過し、印加電圧 2.5 V で 24 時間の電気分解を行い、陰極析出物 0.19 g を得た。図 5 に示す XRD チャートから、析出物が Pb であることがわかった。

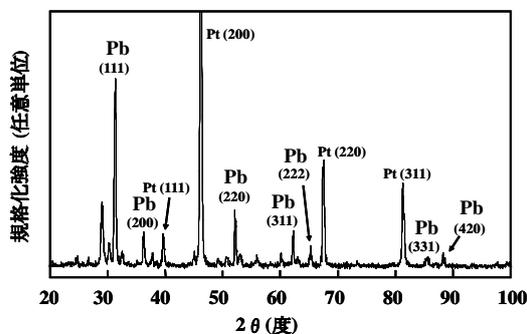


図5 XRDチャート(CRTから回収したPb)

同様に、蛍光管ガラス粉末 50 g を濃度 49 重量%の HF 水溶液 100 g に溶解・ろ過し、印加電圧 2.5 V で約 60 時間の電気分解を行った。得られた陰極析出物を、濃度 10 重量%の HNO₃ 水溶液 100 g に溶解・ろ過し、印加電圧 1.0 V で電気分解を行い、陰極析出物 0.05 g を得た。XRD 測定から、析出物が Sb であることがわかった。また、蛍光管ガラス粉末を溶解して得られた沈殿物を、濃度 10 重量%の HCl 水溶液に溶解し、さらに得られた沈殿物を濃度 10 重量%の HNO₃ 水溶液に溶解・ろ過し、印加電圧 3.45V で 24 時間の電気分解を行い、陰極析出物 0.03 g を得た。

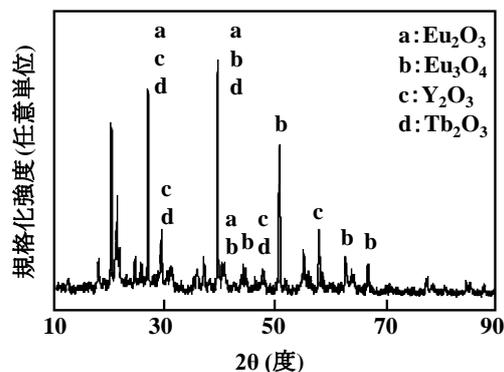


図6 XRDチャート
(蛍光管から回収した希土類酸化物)

図 6 に示す XRD チャートより、析出物がレアアース酸化物である Eu₂O₃、Eu₃O₄、Y₂O₃、Tb₂O₃ の混合物であることがわかった。

④ PWB・鉛はんだ・鉛フリーはんだからの Cu・Pb・Ag 回収

前処理として、濃度 98 重量%の濃硫酸 (H₂SO₄) 水溶液 50 g に表面積 48 cm² の廃棄 PWB 片を浸漬し、エポキシ樹脂を除去した。次に、PWB 片 19 g を、濃度 49 重量%の HF 水溶液 50 g と 30 重量%の H₂O₂ 水溶液 50 g の混合水溶液に溶解した。印加電圧 2.1 V で 20 時間の電気分解を行い、陰極析出物 2.0 g を得た。図 7 に示す XRD チャートから、析出物が Cu であることがわかった。

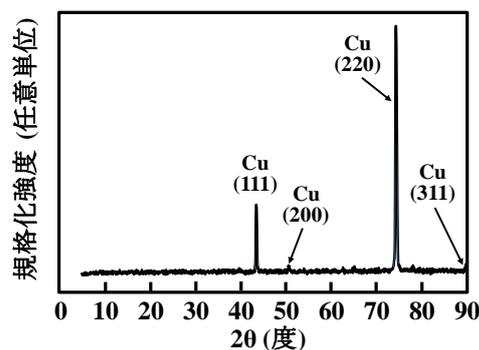


図7 XRDチャート(PWBから回収したCu)

Cu の HF/H₂O₂ 混合水溶液への溶解度は、HF 濃度が 20 重量%で固定し、H₂O₂ 濃度 15 重量% のとき最大 5.08 g/100g-HF-H₂O₂ であることがわかった。

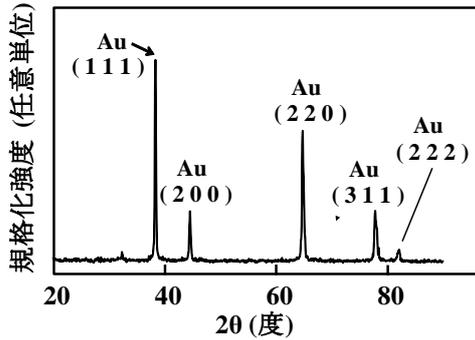
また、鉛はんだ 5 g、鉛フリーはんだ 10 g を、それぞれ、濃度 49 重量%の HF 水溶液 100 g と濃度 30 重量%の H₂O₂ 水溶液 20 g の混合水溶液に溶解した。鉛はんだを溶解して得た沈殿物を濃度 10 重量%の HNO₃ 水溶液 100 g に溶解・ろ過し、印加電圧 2.4 V で 60 時間の電気分解を行い、陰極析出物 0.08 g を得た。XRD 測定から、析出物が Pb であることがわかった。鉛フリーはんだについては、印加電圧 2.5 V で 4 時間の電気分解により、陰極析出物 0.2 g を得た。XRD 測定から、析出物が Ag であることがわかった。

⑤ LSI、MEMS からの Cu・Au 回収

LSI、MEMS は、それぞれモールドパッケージの状態を粉砕し、20 重量%の HF 水溶液、15 重量%の H₂O₂ 水溶液の混合水溶液に浸漬し、金属、酸化物、チップ基板を同時に溶解・ろ過し、印加電圧 2.0 V で 24 時間の電気分解を行い、陰極析出物を得た。XRD 測定により、析出物が Cu であることがわかった。同様に、HCl と HNO₃ (体積比 3 : 1) の混酸水溶液 (王水) に浸漬し、チップ内の金属をすべて溶解・ろ過した。LSI、MEMS の処理水溶液を用いて、それぞれ印加電圧 3.5 V、2.5 V で 24 時間の電気分解を行った結果、それぞれ、黄色、黒色の析出物を得た。図 8 に示す XRD ち

ヤートから、これらの析出物が、いずれも Au であることがわかった。

(a) LSI処理水溶液からの析出物



(b) MEMS処理水溶液からの析出物

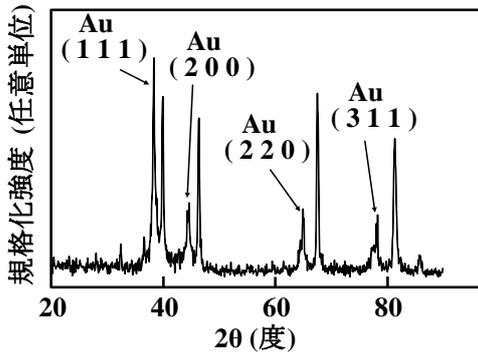


図8 XRDチャート(LSI, MEMSから回収したAu)

LSI, MEMS の処理水溶液からの陰極析出物の含有金属濃度の分析を、蛍光 X 線分析により行った結果を表 2 に示す。Au 含有濃度は、それぞれ 95 重量%、0.6 重量%であることがわかった。

MEMS については、酸素、塩素の含有量が多いが、これは、酸化物、塩化物としても析出したためと考えられる。

(3) 同時一括処理水溶液からの有用金属回収

① 廃棄 LCD/PWB

有用金属回収には、廃棄物の同時一括処理が理想的であり、廃棄 LCD ガラスと廃棄 PWB を用いて検討を行った。まず、濃度 98 重量%の H_2SO_4 による廃棄 PWB 片の表面処理と、廃棄 LCD ガラスの粉末化を行った。これらを、同時に濃度 49 重量%の HF 水溶液と濃度 30 重量%の H_2O_2 水溶液の混合水溶液に浸漬した。印加電圧を段階的に 2.5 V、3.0 V と変えて混合水溶液の電気分解を 24 時間行った。析出物の XRD 測定から、印加電圧 2.5 V、3.0 V で、順次 Cu、In が析出することがわかった。表 3 に、陰極析出物の金属含有濃度を誘導結

表3 析出金属の分析結果

元素	濃度 (ppm)		元素	濃度 (ppm)	
	LCD/PWB			LCD/PWB	
	Cu 回収	In 回収		Cu 回収	In 回収
Cu	72.9 wt.%	55470	Mo	<3	185
In	80	84.7 wt.%	Ni	30	5547
Al	8000	370	Pb	<5	73960
Ca	4000	166	Sb	20	11094
Cr	300	185	Sn	1000	740
Fe	2000	1294	Sr	1000	111
K	30	3698	Ti	60	185
Mg	300	37	Zn	6000	555

合プラズマ発光分光法、原子吸光法により調べた結果を示す。析出物中の Cu、In の含有濃度は、それぞれ 72.9 重量%、84.7 重量%であった。印加電圧の最適化により、Cu と In の分離・回収の可能性が高いことがわかった。

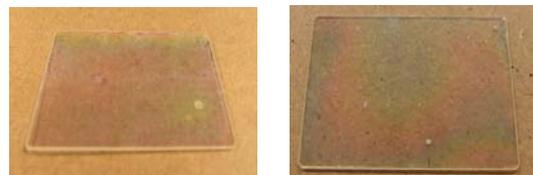
② 廃棄 LCD/PDP

廃棄 LCD パネル、廃棄 PDP パネルを用いた同時一括処理を検討した。

49 重量%の HF 水溶液 150 g と 30 重量%の H_2O_2 水溶液 150 g の混合溶液に、PDP ガラス粉末 150 g、LCD パネルガラス粉末 150 g を溶解・ろ過し、印加電圧を 1.0 V、2.0 V、3.5 V で段階的に変化させて電気分解を行った。印加電圧 1.0 V、2.5 V、3.5 V で、それぞれ、0.02 g、0.02 g、0.09 g の陰極析出物を得た。析出物の XRD 測定から、それぞれ、Ag、Bi、 In_2O_3 の析出を確認した。 In_2O_3 については、 H_2O_2 水溶液により In が酸化されたためであると考えられる。

(4) リサイクル金属の応用

本研究では、リサイクル In を使い、スプレーCVD 法により ITO 薄膜を形成し、特性評価を行った。リサイクル In と市販 In_2O_3 (重量比 1 : 9)、酸化錫 (SnO_2) を、それぞれ、濃度 36 重量%の HCl 水溶液に溶解し、ホットプレート上で焼成して、 $InCl_3$ 粉末と $SnCl_2$ 粉末を調製した。これらのエタノール溶液を、温度 500 °C でガラス基板上に噴霧し、厚さ 52 nm の ITO 薄膜を得た。図 9 に、リサイクル In を用いてガラス基板上に形成した ITO 薄膜と市販原料を用いて形成した ITO 薄膜の外観を比較して示す。可視光透過率は、市販原料で形成した ITO 薄膜の透過率 80%以上に比べて、リサイクル In を用いて形成した薄膜では、60%程度と小さかった。また、抵抗率は、約 $1 \times 10^{-3} \Omega \cdot cm$ であり、市販原料で形成した ITO 薄膜と同等であった。



(a) リサイクルInで形成 (b) 市販原料で形成

図9 ガラス基板上に形成したITO薄膜の外観

表2 析出金属の分析結果

元素	濃度 (重量%)	
	LSI	MEMS
Au	95	0.6
Ag	3	0.2
Cu	0.3	3
Cl	2	11
Mo	—	0.03
Ni	—	0.4
O	—	85
Si	0.1	0.3

(5) まとめと今後の課題

本研究では、各種廃棄物を HF 水溶液、あるいは HF/H₂O₂ 混合水溶液に溶解した処理水溶液の電気分解により、In、Ag、Cu、Pb、Sb、レアアース酸化物の回収を可能にしたこと、LSI・MEMS を王水に溶解した処理水溶液から Au の回収を可能にしたこと、などの成果が得られた。また、廃棄 LCD ガラス/PWB、廃棄 LCD ガラス/PDP ガラスの同時一括処理により Cu、In、Ag の分離・回収を可能にした。

今後、レアアース酸化物や不溶な酸化物・フッ化物からの金属の分離・回収、各種廃棄物の一括処理、金属酸化物・フッ化物残渣の応用可能性、リサイクル金属の応用可能性などの残る課題を検討する必要がある。また、回収効率、純度、コストなどの詳細な検討や、リサイクル装置・プロセスの構築など、実用化への可能性を検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① 本間哲哉, 中嶋隆広, 佐久間寛之, 竹鶴憲昭, 下川貴央, 戴大禹, "MEMS デバイスなどからの有用金属リサイクルの可能性", 応用物理学集積化 MEMS 技術研究会 第 4 回集積化 MEMS シンポジウム論文集, 査読有, IM3-2, 2012 年, pp. 61-64.
- ② 本間哲哉, "廃棄 FPD・CRT・蛍光管等からの有用金属の抽出技術", セラミックス, 査読有, 47 巻 (2), 2012 年, pp. 110-112.

〔学会発表〕(計 12 件)

- ① 下川貴央 (本間哲哉), "リサイクルインジウムを用いた ITO 薄膜形成", 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集, 18a-A2-11, 2013 年 9 月 18 日, 同志社大学 京田辺キャンパス.
- ② 戴大禹 (本間哲哉), "廃棄フラットパネルディスプレイガラスからの各種有用金属リサイクル", 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集, 18a-A2-10, 2013 年 9 月 18 日, 同志社大学 京田辺キャンパス.
- ③ 粕谷知寛 (本間哲哉), "廃棄プラズマディスプレイパネルからのビスマスリサイクル", 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集, 18a-A2-9, 2013 年 9 月 18 日, 同志社大学 京田辺キャンパス.
- ④ 中嶋隆広 (本間哲哉), "LSI/MEMS デバイスからの有用金属リサイクルの可能性", 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集, 17a-P5-2, 2013 年 9 月 17 日, 同志社大学 京田辺キャンパス.
- ⑤ T. Homma, T. Nakajima, H. Sakuma, N. Taketsuru, T. Shimokawa, and D. Dai, "Feasibility of Recycling Useful Metals from MEMS and Other Devices", The Japan Society of Applied Physics, The 4th

Integrated MEMS Symposium, Book of Abstract, M3-2(p.191), Kitakyushu-city, Japan, 2012 年 10 月 24 日.

- ⑥ 中嶋隆広 (本間哲哉), "MEMS デバイスなどからの有用金属リサイクルの可能性", 第 73 回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, 13p-F7-6, 2012 年 9 月 13 日, 愛媛大学城北地区/松山大学文京キャンパス.
- ⑦ 戴大禹 (本間哲哉), "廃棄プラズマディスプレイパネル・プリント基板からの有用金属リサイクル", 第 73 回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, 12a-C11-11, 2012 年 9 月 12 日, 愛媛大学城北地区/松山大学文京キャンパス.
- ⑧ 鈴木賢一 (本間哲哉), "廃棄プラズマディスプレイパネルガラスからの鉛リサイクル", 第 73 回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, 12a-C11-10, 2012 年 9 月 12 日, 愛媛大学城北地区/松山大学文京キャンパス.
- ⑨ 海野雅弘 (本間哲哉), "廃棄液晶ディスプレイパネル、プラズマディスプレイパネル、およびプリント基板の一括処理水溶液からの有用金属リサイクル", 第 73 回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, 12a-C11-9, 2012 年 9 月 12 日, 愛媛大学城北地区/松山大学文京キャンパス.
- ⑩ 下川貴央 (本間哲哉), "廃棄液晶ディスプレイパネルガラス及びプリント基板からの有用金属リサイクル", 第 73 回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, 12a-C11-8, 2012 年 9 月 12 日, 愛媛大学城北地区/松山大学文京キャンパス.
- ⑪ 西嶋礼 (本間哲哉), "廃棄蛍光管からの希土類金属のリサイクル", 第 72 回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, 1p-ZM-12, 2011 年 9 月 1 日, 山形大学小白川キャンパス.
- ⑫ 西山貴博 (本間哲哉), "廃棄プラズマディスプレイパネルからのインジウムリサイクル", 第 72 回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, 1p-ZM-11, 2011 年 9 月 1 日, 山形大学小白川キャンパス.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本間 哲哉 (HOMMA, Tetsuya)
芝浦工業大学・工学部・教授
研究者番号: 60286698