

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「 I T O 透明導電膜の代替材料の実用化研究開発」

研究開発等成果報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 学校法人東海大学

目 次

- 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
 - 1-2 研究体制
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
 - 1-3 成果概要
 - 1-4 当該研究開発の連絡窓口
- 第2章 試料作製および評価手法
 - 2-1 装置制作ならびに試料作製
 - 2-2 電気特性ならびに光学特性評価
 - 2-4 構造評価
- 第3章 実験結果とその評価
 - 3-1 **Mg-C** 薄膜の合成
 - 3-2 膜の構造評価
 - 3-3 電気特性評価
 - 3-4 光学特性評価
 - 3-5 小括
- 第4章 全体総括
 - 4-1 TCO 市場における当該材料の位置づけ
 - 4-2 太陽光発電と応用開発

第1章 研究開発の概要

透明導電膜の代表である ITO(In-Sn-O)を構成する In は、希少元素であることから、代替材料の開発に対する大きな期待がある。本研究開発では Mg 水酸化物構造に C 原子の分散ネットワークを構築し、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の透明性を失わずに電気伝導性を発現する、世界初の非酸化物系透明導電材料を提案する。当該材料の実用化により、太陽電池等の透明電極を安価で資源枯渇の問題が生じない代替材料を提供する事が可能となる。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

実用透明導電膜の主要な材料には、インジウム-スズ酸化物 (ITO : Indium Tin Oxide) が用いられているが、ITO の主成分である In は稀少金属(地殻埋蔵量 : 0.00001 %)であり、このまま使用を続けると 2011 年には枯渇するとの予測もある。価格についても、最近の約 3 年間で 5 倍程度にまで高騰したと言われているなど、製品ニーズに対するコスト低減への大きな障壁のひとつとなっている。また、スズ (Sn) の地殻埋蔵量も 0.004 %と決して豊富に存在する元素ではないため、ITO に替わってインジウムやスズを使用することのない、新しい材料の開発が急務とされており、世界中で研究開発競争が起こっている。その代表は酸化亜鉛 (ZnO : Zinc Oxide) であり、新しい透明導電膜の研究は同材料とその派生材料に関するテーマによって占められているのが現状であるが、亜鉛 (Zn) についても、地殻埋蔵量が 0.004 %と資源枯渇が話題になることはないものの、既存分野における膨大な消費量のほか、Sn と同様に地球上に偏在する元素として、供給の安定性には大きな不安がある。事実、インジウムは亜鉛鉱からの副生成物として得られるため、資源枯渇の問題においては、亜鉛とインジウムには密接に関連すると考えることも出来る。

従来、この種の材料は例外無く酸化物系であったが、本申請提案では、インジウム (In) 等の希少で高価な元素を全く含まない、新規な透明導電性材料の創製、高特性化およびデバイス化を目標としている。本研究開発では、Mg 等の資源枯渇の心配が無い元素を構成母材とした新規「非酸化物系」材料の開発を行った。本研究開発の事業管理者である東海大学のグループは、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ -C 系による「非酸化物透明導電材料」を発見し、資源枯渇の懸念を払拭する可能性を示した。

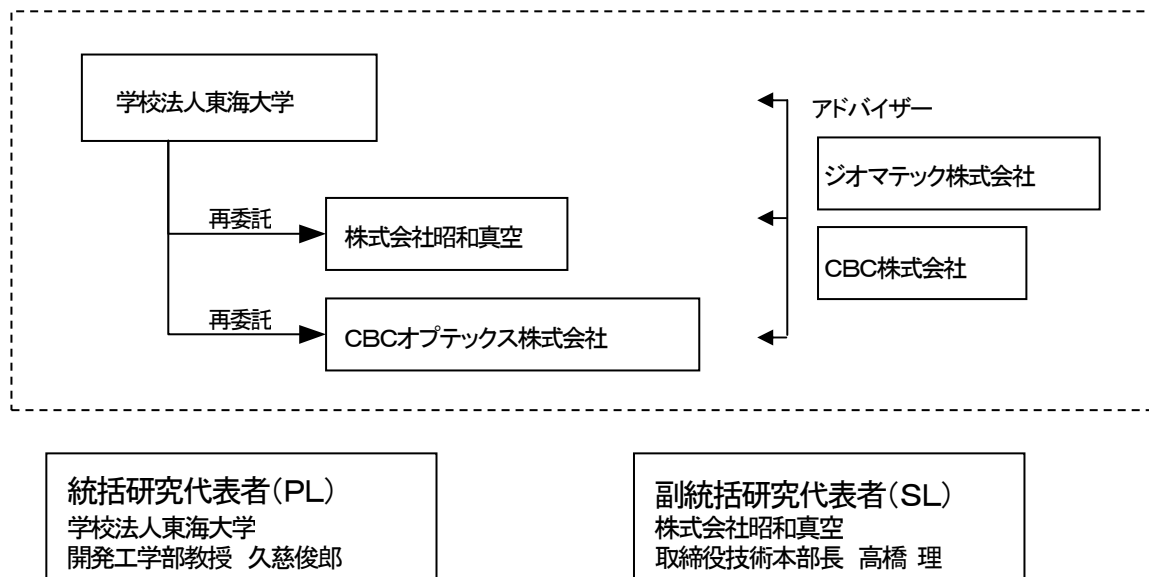
本研究開発における目的は、実用透明導電膜の主要な材料であるインジウム-スズ酸化物 (ITO : Indium Tin Oxide) 等に用いられている In などの希少で高価な元素を全く含まない、新規な透明導電性材料の創製、高特性化およびデバイス化である。Mg 等の資源枯渇の心配が無い元素である Mg および C を構成母材とし、新規「非酸化物系」材料の開発を目指した。

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

(1) 研究組織及び管理体制

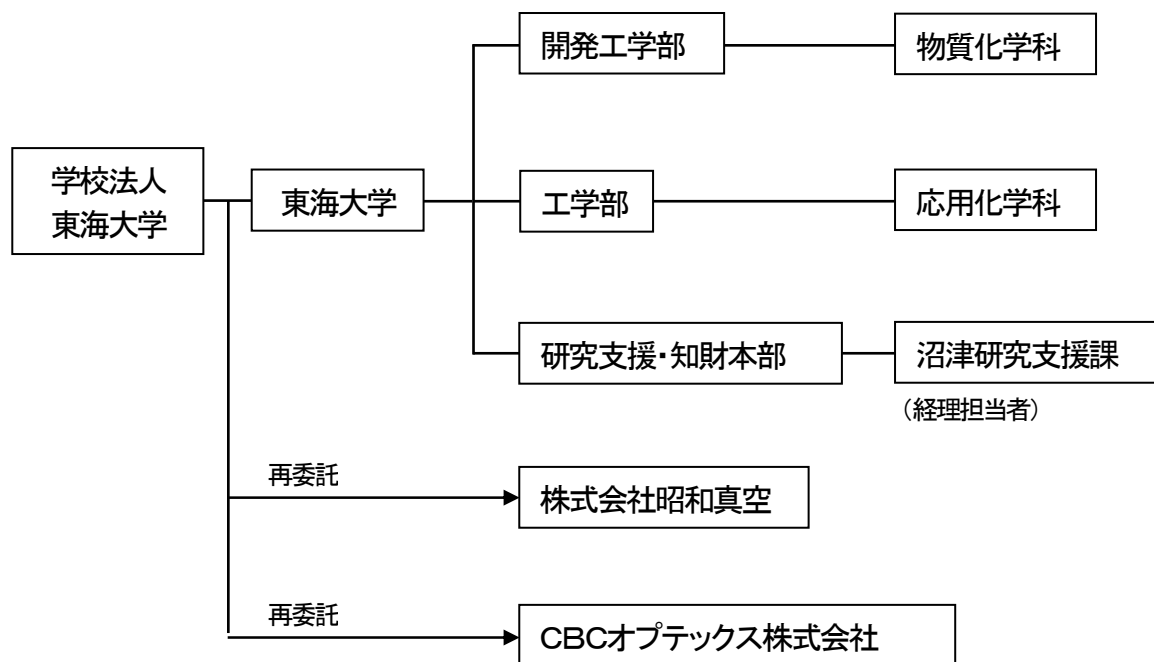
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

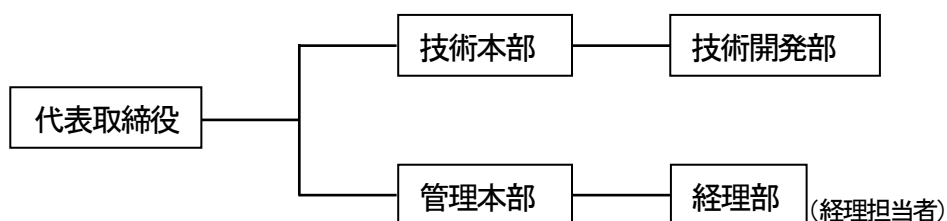
①事業管理者

[学校法人東海大学] (業務管理者：開発工学部物質化学学科教授)

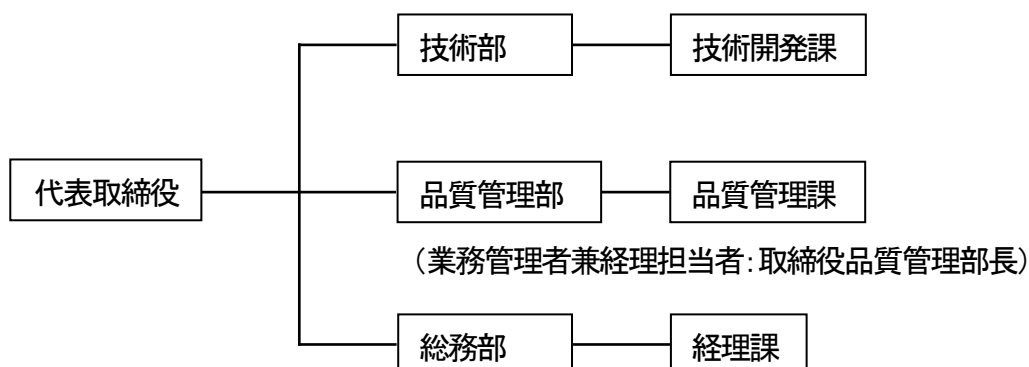


② 再委託先

〔株式会社昭和真空〕（業務管理者：取締役技術本部長）



〔CBCオプテックス株式会社〕



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 学校法人東海大学

①管理員

氏名	所属・役職
久慈 俊郎	開発工学部物質化学科 教授

② 研究員

氏名	所属・役職
久慈 俊郎 (再)	開発工学部物質化学科 教授
佐藤 正志	工学部応用化学科 講師

【再委託先】

(研究員)

株式会社昭和真空

氏名	所属・役職
高橋 理	取締役技術本部長
臼井 隆一郎	技術本部技術開発部 課長
松岡 範佳	技術本部技術開発部
山崎 克己	技術本部技術開発部
岡田 遼	技術本部技術開発部
若菜 誠	技術本部技術開発部

【再委託先】

(研究員)

CBCオプテックス株式会社

氏名	所属・役職
吉井 英治	取締役品質管理部長
依田 慎太郎	品質管理課主任兼開発主任
永盛 雅彦	技術開発課長
平田 一弥	技術部員
山本 欣也	技術部員

(3) 指導・協力者

開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
久慈 俊郎	東海大学開発工学部物質化学科 教授	P L
高橋 理	株式会社昭和真空 取締役技術本部長	S L
吉井 英治	CBCオプテックス株式会社 取締役品質管理部長	
氏原 彰	ジオマテック株式会社	アドバイザー
千葉 忍	CBC株式会社CBCイングスカンパニー	アドバイザー

1-3 成果概要

スパッタリング法により化学的には互いに合金化しない Mg と C を合金化することが出来た。その熱力学的準安定相の状態から本研究開発で導入した小型環境試験器にて、制御された湿度雰囲気への暴露により、合金薄膜の可視光に対する透明化（自己組織化挙動）の制御ならびに電気伝導性の検討を行った。その結果、可視光に対する透明性（平均透過率 85 %以上）と格子中 C 原子のネットワーク構築による電気伝導性($10^{-2} \Omega\text{cm}$)の特性を兼ね備えた材料の合成が出来た。

本研究開発では、該当材料の実用化を目指すための中核技術を成膜技術と位置付け、大面積化を可能にする成膜装置の開発と最適化に着手した。最終成膜状態からデバイス製造への橋渡しを可能にする技術として、一連の連続製造および物性評価が可能なタイプを目標とし、a) スパッタリングチャンバーの設計、b) 恒温・恒湿チャンバーの設計、c) 雰囲気制御チャンバーの設計、d) a)-c)の一連技術が連続する試料搬送部の設計ならびに製造を行った。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

所属： 東海大学開発工学部 物質化学科

氏名： 久慈 俊郎

電話： 055-968-1211

FAX： 055-968-1155

E-mail: tkuji@wing.ncc.u-tokai.ac.jp

第2章 試料作製および評価手法

2-1 装置制作ならびに試料作製

(1) 成膜装置外観

本研究では、新規に Mg-C 成膜用 DC マグネトロンスパッタリング装置を設計し制作した。Fig.2.1 に装置外観を示す。本スパッタリング装置は成膜部に恒温恒湿度室及び水素ガス雰囲気室からなる。

装置諸元を以下に示す。成膜室内の到達真空度を 10^{-3} Pa 以下に真空排気した後、Mg と C ターゲットの各々に所望の組成比となるように印加電力を設定した。

(2) 装置諸元

a) 所要電力量

- 1) 装置本体 AC200V $\pm$ 10%/220V $\pm$ 10%
三相三線式 50Hz/60Hz 31.6KVA (91A)

b) 所要水量

- 1) 入圧 : 0.3~0.4MPa
- 2) 差圧 : 0.2MPa 以上
- 3) 水温 : 20~25°C (但し、運転中結露なきこと。)
- 4) 流量 : 約 3.12m³/hr (52L/min)
 - ①カソード : 約 1.44m³/hr (24L/min)
 - ②ターボ分子ポンプ : 約 1.44m³/hr (24L/min)
 - ③加熱室 : 約 0.24m³/hr (4L/min)
- 5) 水質 : 昭和基準に準じる。(市水相当)
 - ①比抵抗 [K Ω /m] (25°C) : 500 以上
 - ②PH (25°C) : 6.5~8.0
 - ③導電率 [μ S/cm] (25°C) : 200 以下
 - ④塩化物イオン [mg Cl/L] : 50 以下
 - ⑤硫酸イオン [mg SO₄²⁻/L] : 50 以下
 - ⑥酸消費量 [p h 4.8] [mg CaCO₃/L] : 50 以下
 - ⑦全硬度 [mg CaCO₃/L] : 50 以下

※日本冷凍空調工業会の水質管理基準を参考

6) 接続口径

- ①IN 側 : Rc1
- ②OUT 側 : Rc1

c) 所要空圧

- 1) 供給圧 : 0.5~0.7MPa
- 2) 接続口径 : Rp3/8
- 3) 装置設定圧 : 0.5MPa

d) 所要ガス

- 1) N₂ ガス (ベント)

- ①供給圧 : 0.2MPa 以上
- ②接続口径 : Rc3/8
- ③装置設定圧 : 0.1～0.15MPa
- ④純度 : 99.99%以上

2) A r ガス

- ①供給圧 : 0.05MPa 以上
- ②接続口径 : 1/4SWL
- ③装置設定圧 : 0.02～0.03MPa
- ④純度 : 99.99%以上

3) H₂ ガス

- ①供給圧 : 0.05MPa 以上
- ②接続口径 : 1/4SWL
- ③装置設定圧 : 0.02～0.03MPa
- ④純度 : 99.99%以上

e) 排気ダクト

- 1) 接続口径 : Rp1-1/2

f) アース

- 1) A 種アース 接地抵抗<10Ω : 5.5 s q 以上の電線で配線

2-2 電気特性ならびに光学特性評価

試料の電気特性は直流四端子法にて評価を行った。四端子を作製するための基板として、25 mm x 25 mm、厚さ 0.7 mm のホウケイ酸ガラス基板を用いた。その基板上にストライプ状の4本の Cu または Ag をスパッタし電極を形成した。電極の厚さは 1 μm 程度とし、その後、電極上に導電性ペーストを用いて銅細線を接着した。以上の準備を行い、それぞれの電極間に導通がないことをテスターにて確認した。

抵抗値を測定した後、式(1)を用いて比抵抗への算出を行なった。

$$\rho = R \cdot \frac{t \cdot w}{l} \quad \dots \dots (1)$$

ρ : 比抵抗[Ωcm]、 R : 抵抗 [Ω]、 t : 薄膜の厚さ[cm]、
 w : 電極の長さ[cm]、 l : 電圧電極間距離[cm]

試料の光学特性は、紫外可視分光光度計 (JASCO、V-570) を用いて評価を行った。得られた薄膜は、後述するように厚さがおおよそ 2μm であり規則的な振動構造が観測された。この振動は薄膜内で繰り返し反射された多重反射成分の間の干渉効果によるものである。透過スペクトルの極大の1つの波長を λ_i と仮定すると、この波長での試料の屈折率 $n(\lambda_i)$ と膜厚 d との間には

$$2 dn(\lambda_i) = N_i \lambda_i \quad \dots \dots (2)$$

の関係が成立する。Ni は最も波長の大きい極大 (N=1) から数えた極大の次数である。膜が厚いと振動構造が長波長側まで続くため干渉の次数がはっきりしなくなるが、このような場合には次の近似式を用いることが出来る。隣り合う2つの極大の波長を λ_1 、 λ_2 ($\lambda_1 > \lambda_2$) とすると、この波長付近での平均屈折率 $n_{ave} = (1/2)\{n(\lambda_1) + n(\lambda_2)\}$ が次の関係から求まる。

$$2 \bar{n} d = \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)^{-1} \dots \dots \dots (3)$$

2-4 構造評価

作製した試料の表面形状観察ならびに膜厚の評価には、走査型電子顕微鏡 (HITACHI、FE-SEM S-4000 : SEM) ならびに原子間力顕微鏡 (KEYENCE、VN-8000 : AFM) にて行った。構造評価には、X線回折測定 (Philips、X'Pert-MRD、Cu-K α 、40 kV、30mA : MRD) を用いて行った。元素分析は、電子線プローブマイクロアナライザー分析 (Noran Instruments、VANTAGE : EDX および Shimadzu、EPMA-1610 : WDX) を用いて行った。

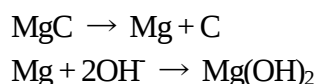


Fig. 2.1 スパッタリング装置

第3章 実験結果とその評価

3-1 Mg-C 薄膜の合成

Fig.3.1 に Mg と C を共スパッタリング法にて成膜した Mg-C 薄膜の試料の一例を示す。このように、大気中へ試料を取り出した直後の試料 Fig.3.1 (a) は黒色の光沢を有していた。しかしながら、温度 304 K、湿度 85 %に保持することにより試料は徐々に透明化 Fig.3.1 (b) した。試料の透明化への影響を知るために種々のガス雰囲気中での経過保持観察を行った。それぞれのガス雰囲気中で保持した試料を、大気中へ取り出した直後の観察結果を Fig.3.2 に示す。Fig.3.2 (a) が N₂、Fig.3.2 (b) が Dry Air、Fig.3.2 (c) が O₂ を示している。いずれの試料も成膜直後の試料と同様に、黒色の光沢を維持していることを確認した。これらの試料を大気中で保持したところいずれも透明化した (Fig.3.2 (d))。このことから、得られた試料の透明化には N₂、O₂ およびその混合気体である空気は関与していないことがわかった。以上の結果から、大気中の水蒸気が試料の透明化を促進していると考えられる。この時の反応過程は下記のように示される。



3-2 膜の構造評価

Mg-C 薄膜を作製後、透明に変化した後の試料の SEM 観察及び AFM 観察により得られた表面形態の観察結果を Fig.3.3 に示す。Fig.3.3(a) の SEM 観察結果から 1つの結晶粒はおおよそ ~100 nm 程度と微細な組織の集合体であることが分かる。一方、Fig.3.3(b)AFM 測定の結果から試料の算術平均粗さ Ra = 43 nm であることが分かった。さらに、SEM による Fig.3.3(c) 薄膜の断面観察の結果から、膜厚は 2.4 μm であることが分かった。

Fig.3.4 に、Mg-C 薄膜の透明に変化した後の試料の EPMA による元素マッピングを行った結果を示す。Fig.3.4(a)は C、Fig.3.4(b)は Mg、Fig.3.4(c)は O、Fig.3.4(d)は測定箇所の Z-contrast をそれぞれ示している。この結果から膜中には C、Mg および O は偏析することなく均一に分散していることが分かった。

次に透明化前後の構造を知るために XRD 測定を行った結果を Fig.3.5 に示す。XRD 測定に用いた透明化する前の試料は Mg-C 薄膜を作製した後、大気中のガスによる影響を低減するためにオーバーコート層としてスパッタリング法にてパラジウムを形成した試料を用いた。このオーバーコート層により、X 線回折測定中に透明化することは無かった。透明化していない試料は、スパッタリング法にて作製した単体の Mg および C 膜には見られない新規な相を有していることが確認できた。この回折ピークは、オーバーコート層として用いた Pd (JCPDS 46-1043)、および Mg と C からなる既知の高温高压化で得られる化合物の MgC₂ (JCPDS 03-0748)、Mg₂C₃ (JCPDS 47-1456) と一致しなかった。化合物の構造内部への過剰エネルギーの蓄積により互いに非固溶性の Mg と C が、過剰エネルギーによって原子的な結合 (化合物化) をすることにより出現した新たな相であると考えられる。透明化した後の試料は Mg(OH)₂ (JCPDS 07-0239) の (001) あるいは (103) と良い一致をすることを確認した。このことから、大気中で保持した試料の透明性は、大気中の -OH 基と反応することにより得られたものであるとより強く結論付けられる。この -OH との反応であることを確認するために、試料を作製後に蒸留水中で経過保持観察を行ったところ、同様に透明化

することを確認した。以上の結果から、成膜後に成膜室内をガス置換し経過保持観察を行った結果と(Fig.3.2)、透明に変化した後の試料の X 線回折結果から、試料の透明化には -OH 基が関与しているものと考察することができる。以上のように、EPMA、XPS および XRD の解析結果から、透明化した試料は $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 構造を有し、その構造中に C が取り込まれているものと考えられる。そのため、本材料を以後 $\text{Mg}(\text{OH}_{1-x}\text{C}_x)_2$ と略記することとする。

3-3 電気特性評価

各組成の膜を作製し、試料を取り出した後の電気特性評価を行った結果を Fig. 3.6 に示す。横軸に示す経過時間は、大気中に試料を取り出した時間を $t=0 \text{ sec.}$ とした。直流四端子法による抵抗値の測定を行ったところ $\text{Mg}(\text{OH}_{0.87}\text{C}_{0.13})_2$ の組成では $520\sim 2000 \ \Omega$ であった。また、 $\text{Mg}(\text{OH}_{0.675}\text{C}_{0.325})_2$ の組成においては $15\sim 60 \ \Omega$ の抵抗値が得られた。 $\text{Mg}(\text{OH}_{0.675}\text{C}_{0.325})_2$ または $\text{Mg}(\text{OH}_{0.87}\text{C}_{0.13})_2$ の試料は、いずれも時間とともに抵抗値が上昇した。しかしながら、 $\text{Mg}(\text{OH}_{0.675}\text{C}_{0.325})_2$ では $\text{Mg}(\text{OH}_{0.87}\text{C}_{0.13})_2$ と比較する抵抗値の時間変化が改善された。C の量により抵抗値の改善が見られたので、成膜時に 60 % 以上の C を導入することを試みた。しかしながら、成膜後の試料を取り出したところ薄膜試料の剥離が見られ評価が困難であった。得られた抵抗値から比抵抗値を算出した結果、 $\text{Mg}(\text{OH}_{0.87}\text{C}_{0.13})_2$ では $10^1 \ \Omega \text{ cm}$ 、 $\text{Mg}(\text{OH}_{0.675}\text{C}_{0.325})_2$ では $10^2 \ \Omega \text{ cm}$ の比抵抗値を示すことが分かった。

以上の電気的性質は、現在最も実用化されている ITO ($10^4 \ \Omega \text{ cm}$ 程度) などと比べると、本材料の比抵抗は現状では大きい。しかしながら、透明性を維持したまま実用的に用いられるレベル ($10^3\sim 10^4 \ \Omega \text{ cm}$ 程度) まで比抵抗値を下げ、経時変化を低減させるかが今後の重要な課題である。さらに、経時変化による比抵抗の変化を抑える雰囲気制御について最適化を行っていく必要がある。比抵抗値を $10^3 \ \Omega \text{ cm}$ 台で安定化させることが出来たならば、十分に太陽光発電用の電極やタッチパネルのディスプレイなどへの応用展開が期待される。以上のことから、電気的性質の更なる改善は、本材料が非常に有用な材料になり得ることを示している。

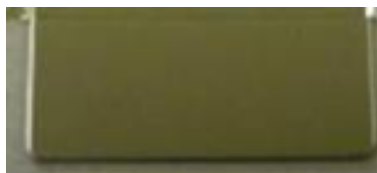
3-4 光学特性評価

Fig.3.7 に C 単体で成膜した試料、 $\text{Mg}(\text{OH}_{0.87}\text{C}_{0.13})_2$ の透明化した後の透過率測定を行った結果を示す。C 単体薄膜試料は、図中の写真でも示すように茶色透明であった。そのため、可視光領域 ($380\sim 780 \text{ nm}$) における透過率は極めて低く、可視域のほぼ全体にわたり透過率は 10 % 以下であった。一方、Mg と C を共スパッタリング法にて作製し透明に変化した後の試料の透過率はいずれの試料も非常に高い透過性を有していることが分かった。特に、可視光領域 ($380\sim 780 \text{ nm}$) における透過率の平均値は 90 % 以上であることが示された。以上の結果から、Mg-C 薄膜をスパッタリング法にて作製し、得られた透明薄膜は、Mg と C を共スパッタリングすることによる効果であると考えられる。また、ITO やその代替材料を目指し盛んに研究開発が行われている ZnO と比較しても同等の透過率である結果が示された。さらに、振動成分から $500\sim 600 \text{ nm}$ 付近の平均の屈折率を算出した結果、 $n=2.35$ であることが分かった。ITO の屈折率が可視光域で $n=2.1\sim 2.2$ とされているが、当該試料では同程度かそれ以上の屈折率であることが分かった。

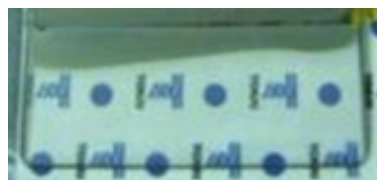
3-5 小括

本章では、スパッタリング法により得られた試料の合成、電気特性、光学特性ならびに構

造評価について述べた。電気特性評価の結果、 $\text{Mg}(\text{OH}_{0.675}\text{C}_{0.325})_2$ の試料で最も比抵抗値が低く $1.6 \times 10^{-2} \text{ } \Omega\text{cm}$ の値を得た。光学特製評価の結果、いずれの試料も透過性は非常に高く可視域において 90%程度の光透過率が得られた。さらに、構造評価から水酸化マグネシウムの構造を有し、さらにその膜面ならびに膜の深さ方向に C が存在することが分かった。



(a) as-deposition



(b) Transparent

Fig. 3.1 Mg-C 薄膜写真. (a) 成膜直後、(b)透明化後

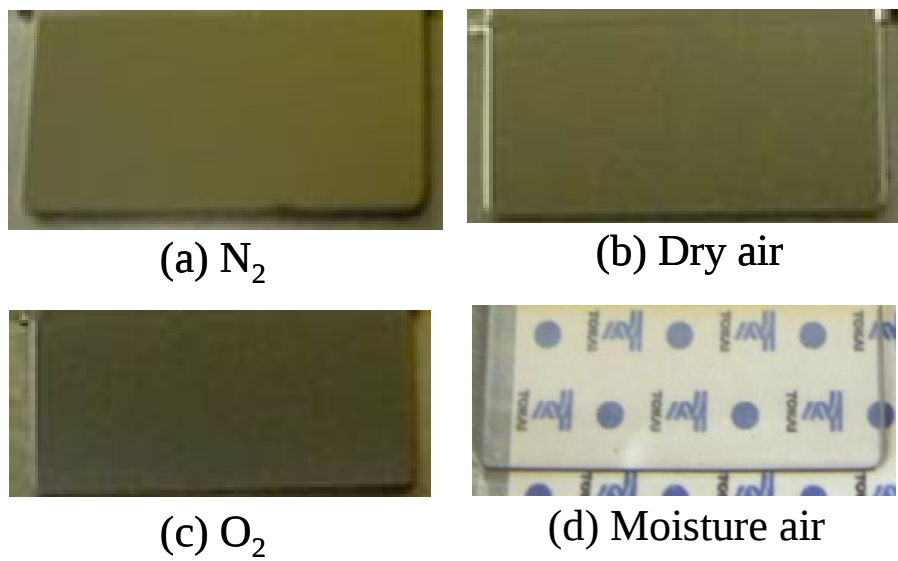
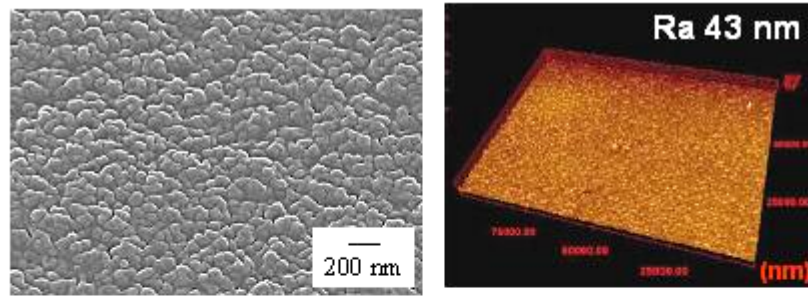
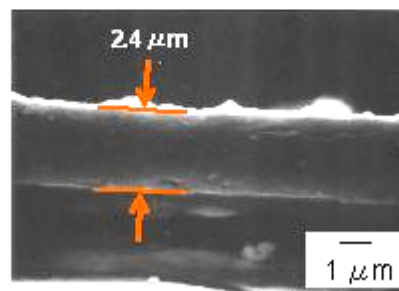


Fig. 3.2 ガス種の違いによる透明性への影響.
(a) N_2 、(b) Dry Air、(c) O_2 、(d) 大気雰囲気.



(a) SEM 觀察結果

(b) AFM 觀察結果



(c) 断面 SEM 像

Fig. 3.3 表面形態觀察結果.

(a) SEM, (b) AFM, (c) 断面 SEM

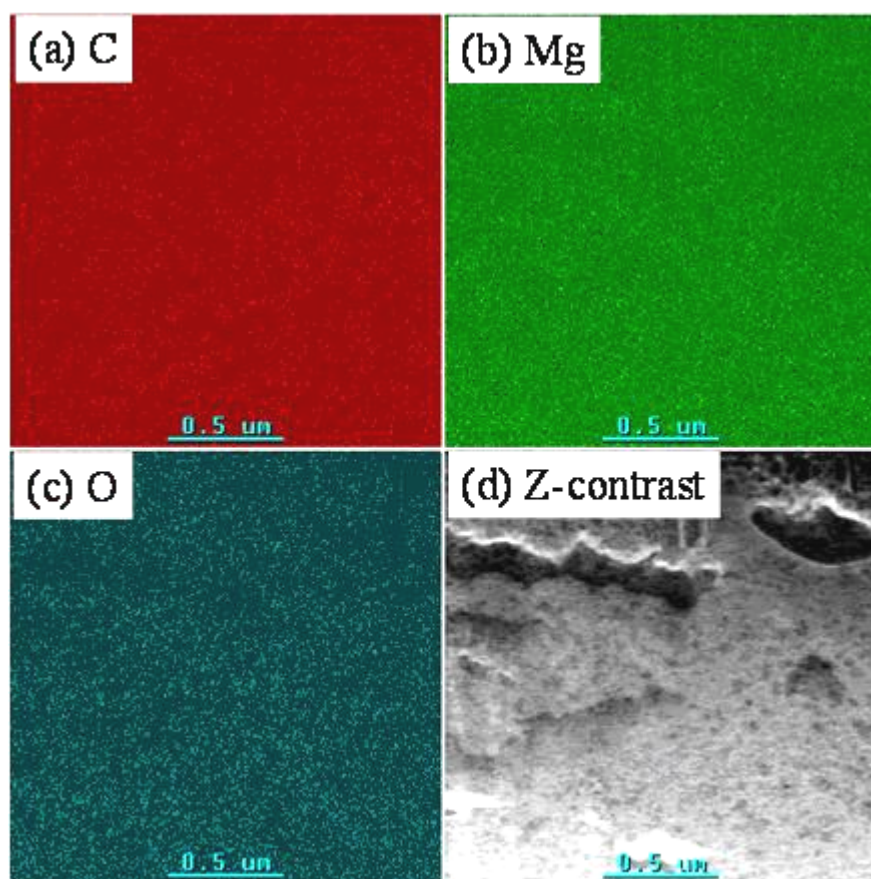


Fig. 3.4 EPMA 元素マッピング結果.

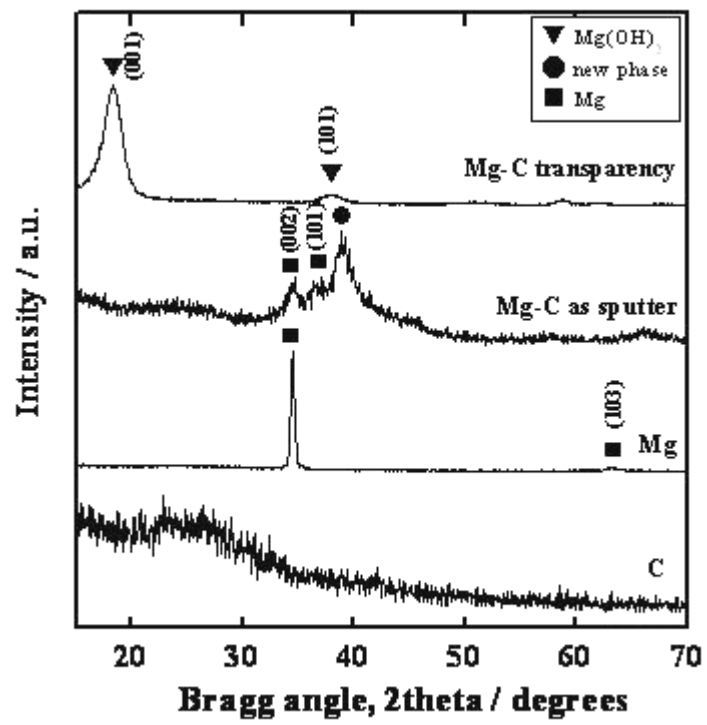


Fig. 3.5 薄膜の XRD 回折測定結果.

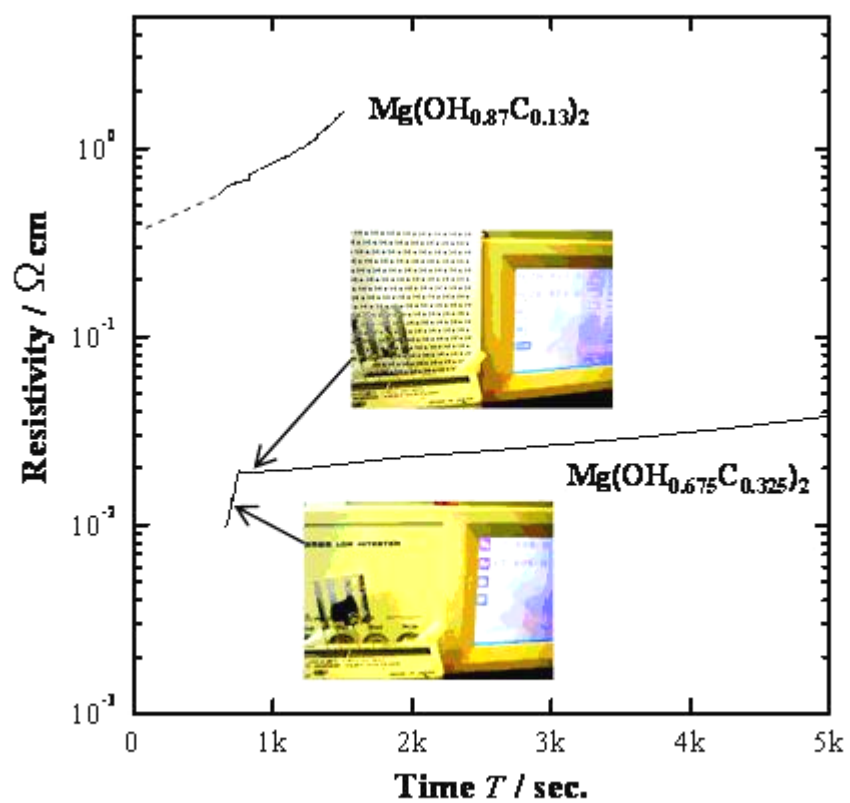


Fig. 3.6 Mg-C 系薄膜の電気特性評価.

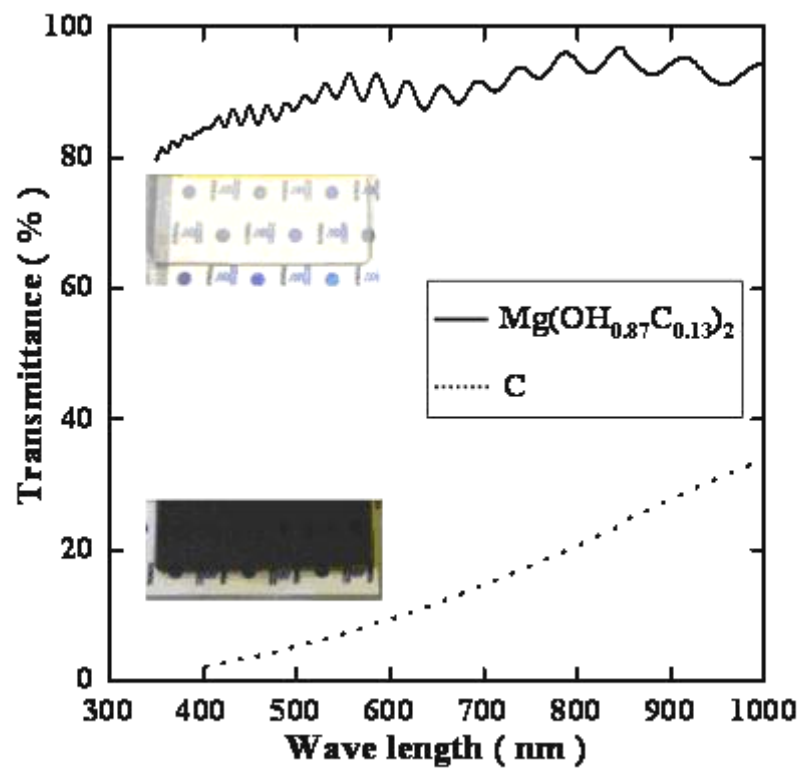


Fig. 3.7 Mg-C 系薄膜の光透過率.

第4章 全体総括

4-1 TCO 市場における当該材料の位置づけ

先述したように、ITO や ZnO に代表される透明導電性材料の開発において、我が国は国際的に先頭を走っている。例えば、希少元素 In と当該研究で主体となる Mg の価格比は1/20 以下であり、透明導電材料コストの大幅な低減を従来技術の改良によって達成可能である。地殻埋蔵量が大きな材料による研究開発は「太陽光発電」に代表されるような環境・エネルギー機器分野、「タッチパネル」や「ハイエンド液晶モニター」等の情報・家電機器分野に対するキーマテリアルとして貢献が期待できる。デルタアイディ総合研究所の調べでは2015 年度の国内タッチパネルの市場は1500 億円と予測され過去5 年間で100%成長率を示している。世界市場は現在4 兆円であり、既に巨大市場と呼べるものであるが更なる拡大が見込まれる。タッチパネルの感応特性は透明導電材料の抵抗値に強く関係している。我が国において今後の高齢社会では、抵抗値が多少高くても「しっかりした」タッチで作動するタッチパネルを求められる事が予想され、さらに大きな市場に成長すると想像される。

本研究開発では、地殻埋蔵量の大きな元素を使用した全く新しい代替材料デバイスによって実現しようとするものであり、該当材料の代替市場として考えられる主な分野を下記に挙げる。

- a. 太陽光発電
- b. タッチパネル
- c. 液晶ディスプレイ (TFT)

これら3 分野は、現在のみならず今後更なる巨大産業へと成長する可能性を持っている。現在の各分野においての要求仕様を纏めたものを以下に示す。

太陽光発電用透明導電材料で要求される電気伝導特性は以下の通りである。

- a-1. 表面抵抗: $30 \Omega/\square$: 膜厚 600~1000 nm
- a-2. 比抵抗: $1.8 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$ ($30 \Omega/\square$: 膜厚 600 nm)

タッチパネル用透明導電材料で要求される電気伝導特性については、本論文中で述べている研究室レベルで得ている現状値を共に併記した。提案する新規導電材料の研究室レベルと比べても、最も実用化に近いデバイスである。

- b-1. 現状 (表面抵抗): $500 \sim 1000 \Omega/\square$: 膜厚 200nm
- b-2. 目標値 (比抵抗): $1 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ ($500 \Omega/\square$)
- b-3. 現状値 (比抵抗): $1.6 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$

液晶ディスプレイ用の透明導電材料の要求特性は、現在の当該材料の物性値と比較すると非常に大きな技術的課題がある。

- c-1. TFT側(表面抵抗): $10 \sim 30 \Omega/\square$ @50~100 nm 厚
(比抵抗): $3 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ ($30 \Omega/\square$ @100 nm)
- c-2. カラーフィルター側(表面抵抗): $30 \sim 100 \Omega/\square$ @100~200 nm 厚
(比抵抗): $2 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$ ($100 \Omega/\square$ @100 nm 厚)

太陽光発電およびタッチパネル分野の要求仕様については、直近の研究室レベルを考慮すると、最も現実的な数値目標として妥当であると考えられる。

一方、ディスプレイ用の透明導電材料の要求特性は、非常に大きな技術的課題が存在する。現状の研究室レベルと比較して、比抵抗値を二桁低下させなくてはならない。従って、今後は太陽光発電およびタッチパネル分野の要求仕様への実用化の道筋を付ける事が第一の目標

となる。一方で将来の市場においては、耐久性がクリアすべき大きな技術的課題となる。特に、室温における抵抗値の経時変化を抑制する材料開発は重要であり、構成元素の濃度制御、表面改質、バリアー膜開発等から効果的な手法を抽出する必要がある。

4-2 太陽光発電と応用開発

本論文における当該研究成果は情報家電もさることながら、将来巨大産業に育つ事が確実視されている太陽光発電用透明導電材料としての実用化に大きな期待がもてる。太陽光発電などの自然エネルギー・システムやパワー・エレクトロニクスなど、電力・エネルギー関連の 56 品目について株式会社富士経済社によって市場調査が実施されている。これによれば、自然エネルギー・システムの市場規模は、2005 年度で約 1382 億円の見込みである。この内、約 80%を太陽光発電が占めている。Si の安定供給に問題を抱えてはいるものの、メーカー各社は大規模な設備投資を計画している。量産効果から低コスト化も見込めることから、今後多結晶 Si 系を中心に順調に成長を続け、2011 年度には太陽光発電の市場は 1955 億円に達すると予測される。当該材料の加工プロセスは、スパッタリングに代表される成膜技術を適用することができ、適切に整えられた水蒸気雰囲気下で成膜後の水酸化処理を行うことで最終目的物へと導くことが可能である。この分野に新しい透明導電材料の実用化がなされれば、圧倒的に発電コストの低下に貢献できると考えられる。