

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 3 月 17 日(17.03.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/039097 A1

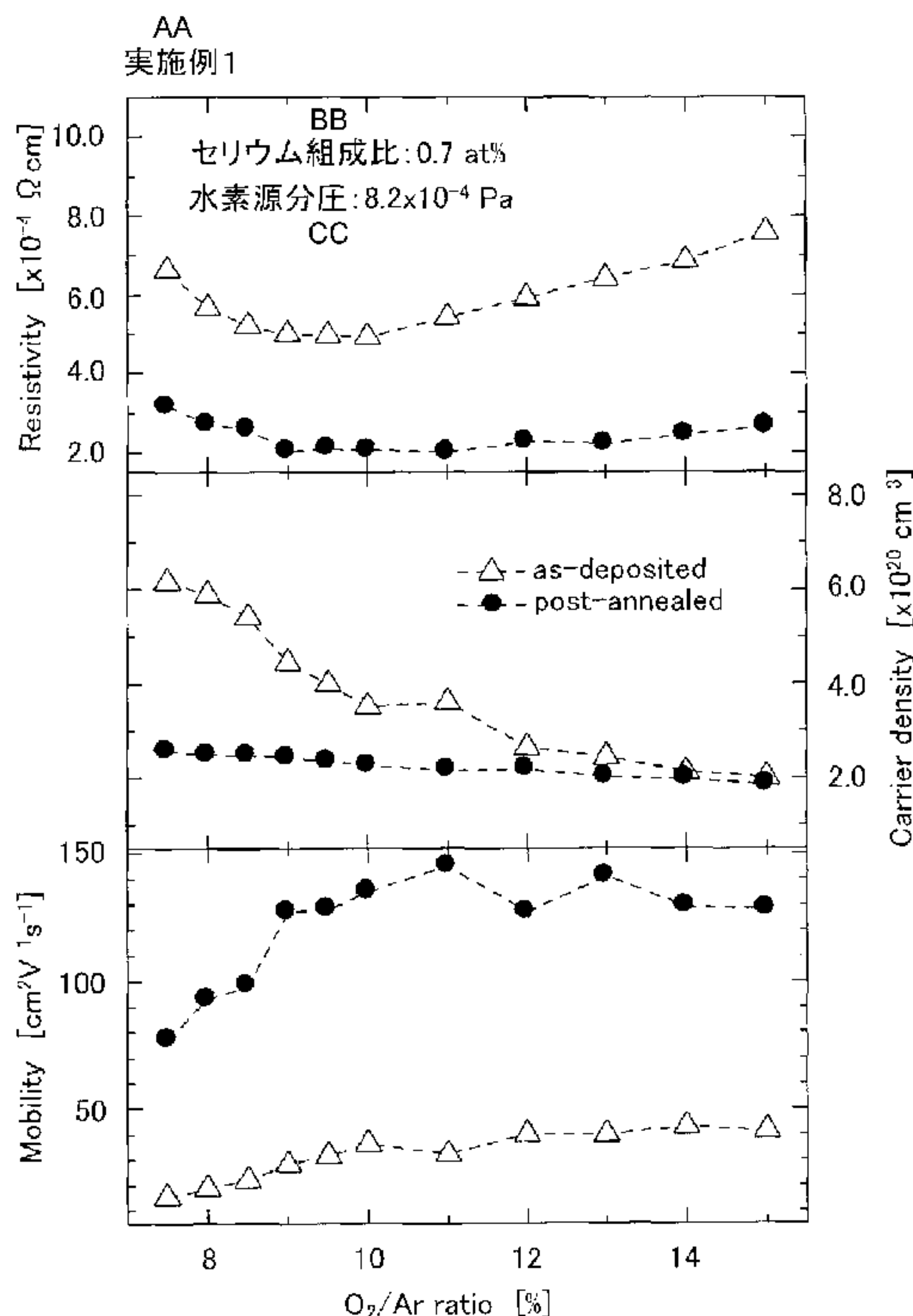
- (51) 国際特許分類:
H01B 5/14 (2006.01) H01L 31/0224 (2006.01)
C23C 14/08 (2006.01) H01L 31/18 (2006.01)
G02F 1/1343 (2006.01) H01L 51/50 (2006.01)
H01B 13/00 (2006.01) H05B 33/14 (2006.01)
H01G 9/20 (2006.01) H05B 33/28 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/073214
- (22) 国際出願日: 2015 年 8 月 19 日(19.08.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-186841 2014 年 9 月 12 日(12.09.2014) JP
- (71) 出願人: 長州産業株式会社(CHOSHU INDUSTRY CO., LTD.) [JP/JP]; 〒7578511 山口県山陽小野田市大字山野井字新山野井 3 7 4 0 番地 Yamaguchi (JP).

- (72) 発明者: 小林 英治(KOBAYASHI Eiji); 〒7578511 山口県山陽小野田市新山野井 3 7 4 0 番地 長州産業株式会社内 Yamaguchi (JP).
- (74) 代理人: 村上 友一(MURAKAMI Tomokazu); 〒1700013 東京都豊島区東池袋 4 丁目 2 3 番 1 3 号 中川ビル 3 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー

[続葉有]

(54) Title: TRANSPARENT CONDUCTIVE FILM, DEVICE OR SOLAR CELL USING SAME, AND METHOD FOR PRODUCING TRANSPARENT CONDUCTIVE FILM

(54) 発明の名称: 透明導電膜、これを用いた装置または太陽電池、及び透明導電膜の製造方法



AA Example 1
BB Composition ratio of cerium
CC Partial pressure of hydrogen source

(57) Abstract: [Problem] To provide: a transparent conductive film which achieves high hole mobility by adequately adjusting the cerium concentration and the partial pressure of the hydrogen source in the growth atmosphere; a device or a solar cell using this transparent conductive film; and a method for producing a transparent conductive film. [Solution] A transparent conductive film 12 which is formed of a polycrystalline structure of indium oxide containing hydrogen and a lanthanoid element, and which is characterized by having a hole mobility of $120 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ or more.

(57) 要約: 【課題】セリウムの濃度及び成長雰囲気中の水素源の分圧を適切に調整することにより、高いホール移動度となる透明導電膜、これを用いた装置または太陽電池、及び透明導電膜の製造方法を提供する。【解決手段】水素及びランタノイド系元素を含有する酸化インジウムの多結晶構造からなる透明導電膜 12 であって、ホール移動度が $120 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 以上であることを特徴とする。

WO 2016/039097 A1

ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則 4.17 に規定する申立て:

- 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て (規則 4.17(v))

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

透明導電膜、これを用いた装置または太陽電池、及び透明導電膜の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、透明導電膜、これを用いた装置または太陽電池、及び透明導電膜の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 透明導電膜は、液晶表示素子、E L（エレクトロルミネッセンス）素子等の表示素子用電極T F T、その他各種受光素子の透明電極に使用されている。しかし、その一方、透明導電膜のホール移動度の向上はこれら透明導電膜を有するすべてのデバイスの共通の課題となっている。

[0003] 従来透明導電膜としては、錫（S n）を含有する酸化インジウム（I T O）からなる透明導電膜や酸化亜鉛（Z n O）からなる透明導電膜が知られている。特に最近は、ホール移動度の向上において大きな効果を有するセリウムを添加した酸化インジウムからなる透明導電膜が注目されている（特許文献1）。特許文献1では、膜中のセリウム濃度を変化させた場合のホール移動度、比抵抗、キャリア密度を調査し、セリウム濃度の最適化を検討している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2 0 1 1 / 0 3 4 1 4 3 号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかし、特許文献1では、工業的用途の真空チャンバを用いた膜成長時において、不可避免的に混入する水素の影響については検討されていない。

そこで、本発明は、セリウムの濃度及び成長雰囲気中の水素源の分圧を適切に調整することにより、高いホール移動度となる透明導電膜を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0006] 上記目的を達成するため、本発明に係る透明導電膜は、第1には、水素及びランタノイド系元素を含有する酸化インジウムの多結晶構造からなる透明導電膜であって、ホール移動度が $120 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上であることを特徴とする。
- [0007] 上記構成により、ホール移動度を $120 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上とすることにより、結晶粒界散乱の影響を低減して、高いホール移動度を有する透明導電膜となる。
- [0008] 第2には、酸化インジウムの多結晶構造からなる透明導電膜であって、前記多結晶構造を構成する多数の島状結晶と、互いに隣接する前記島状結晶の間を埋めるように配置されたバッファ結晶と、を有し、前記バッファ結晶は、前記バッファ結晶に接続する第1の島状結晶から前記バッファ結晶を経由して前記バッファ結晶に接続する第2の島状結晶に向かうにつれて、前記第1の島状結晶の結晶構造から前記第2の島状結晶の結晶構造へ連続的に変化する結晶構造を有していることを特徴とする。
- [0009] 上記構成により、バッファ結晶内、及び島状結晶とバッファ結晶との境界において短距離秩序性が維持される。このため、キャリアが第1の島状結晶からバッファ結晶を経由して第2の島状結晶に移動する際に受ける結晶粒界散乱を低減することができる。これにより、キャリアは主にイオン化不純物散乱の影響に伴うキャリア密度とホール移動度の関係に従った電気的特性となり、高いホール移動度を有することができる。
- [0010] 第3には、セリウムを含有し、その原子組成百分率が0.23%以上であることを特徴とする。
- 上記構成により、透明導電膜の結晶性を高めることができる。
- [0011] 本発明に係る装置は、前述の透明導電膜を有することを特徴とする。

上記構成により、結晶粒界散乱の影響を低減して、高いホール移動度を有する透明導電膜を備えた装置となる。

[0012] 本発明に係る太陽電池は、前述の透明導電膜を有することを特徴とする。

上記構成により、結晶粒界散乱の影響を低減して、高いホール移動度を有する透明導電膜を備えた太陽電池となる。

[0013] 本発明に係る透明導電膜の製造方法は、水素及びランタノイド系元素を含有する酸化インジウムの多結晶構造からなる透明導電膜の製造方法であって、前記透明導電膜のキャリア密度とホール移動度との関係が、前記透明導電膜における結晶粒界散乱の影響を排除したキャリア密度とホール移動度との関係にほぼ一致するように、前記透明導電膜の成長雰囲気の水素源の分圧を調整することを特徴とする。

[0014] 上記方法により、ホール移動度を $120 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上とすることが可能となり、結晶粒界散乱の影響を低減して、高いホール移動度を有する透明導電膜を製造することができる。

発明の効果

[0015] 本発明に係る透明導電膜によれば、ホール移動度を $120 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上とすることにより、結晶粒界散乱の影響を低減して、高いホール移動度を有する透明導電膜となる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]実施例1に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すグラフである。

[図2]実施例1に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すデータである。

[図3]実施例2に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すグラフである。

[図4]実施例2に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すデータである。

[図5]実施例3に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すグラフである。

[図6]実施例3に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すデータである。

[図7]比較例1に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すグラフである。

[図8]比較例1に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すデータである。

[図9]比較例2に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すグラフである。

[図10]比較例2に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すデータである。

[図11]比較例3に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すグラフである。

[図12]比較例3に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すデータである。

[図13]比較例4に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度の

アルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すグラフである。

[図14]比較例 4 に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すデータである。

[図15]比較例 5 に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すグラフである。

[図16]比較例 5 に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すデータである。

[図17]比較例 6 に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すグラフである。

[図18]比較例 6 に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すデータである。

[図19]実施例 1、比較例 1 ～ 4 に係る透明導電膜のホール移動度とキャリア密度との関係を表すグラフである。

[図20]実施例 2、3、比較例 5、6 に係る透明導電膜のホール移動度とキャリア密度との関係を表すグラフである。

[図21]実施例 1 に係る透明導電膜のアニール前の SEM 画像である。

[図22]実施例 1 に係る透明導電膜のアニール後の SEM 画像である。

[図23]比較例 1 に係る透明導電膜のアニール後の SEM 画像である。

[図24]比較例 3 に係る透明導電膜のアニール後の SEM 画像である。

[図25]比較例 5 に係る透明導電膜のアニール後の SEM 画像である。

[図26]比較例 6 に係る透明導電膜のアニール後の SEM 画像である。

[図27]実施例 1、比較例 1、比較例 3 のアニール後の X 線回折測定データで

ある。

[図28]本実施形態に係る透明導電膜を成長するための成膜装置の模式図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明を図に示した実施形態を用いて詳細に説明する。但し、この実施形態に記載される構成要素、種類、組み合わせ、形状、その相対配置などは特定の記載がない限り、この発明の範囲をそのみに限定する主旨ではなく単なる説明例に過ぎない。

[0018] 図28に、本実施形態に係る透明導電膜を成長するための成膜装置の模式図を示す。本実施形態の成膜装置100（HDPE装置）は、ロードロックチャンバ102と、ヒーティングチャンバ104と、成膜チャンバ110を備えている。また、図示は省略しているが、各チャンバには真空ポンプが取り付けられている。

[0019] 本実施形態で用いる基板10は、ガラス基板、多結晶シリコン基板、単結晶シリコン基板、及び実質的に真性なi型アモルファスシリコン層及びp型アモルファスシリコン層をこの順序で備えてなる上表面が前記p型アモルファスシリコン層である単結晶シリコン基板等が適用される。

[0020] 本実施形態の透明導電膜12は、基板10上で成長するものであり、水素（H）を含有するとともに、セリウム（Ce）を含有し、主成分が酸化インジウムからなる膜である。そして、透明導電膜12は、実質的に多結晶構造からなり、後述の島状結晶及びバッファー結晶からなる結晶構造（または多数のコラム状の結晶構造）からなり、極めて少ないが、非晶質部分も有する。また、本実施形態の透明導電膜12は、ホール移動度が $120\text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 以上有することを特徴としている（後述の実施例1、実施例2、実施例3等）。

[0021] ロードロックチャンバ102は、真空状態で基板10の出し入れを行う基板搬送機構（不図示）を備えている。ヒーティングチャンバ104は、基板10を加熱するヒータ106を備えている。

- [0022] 成膜チャンバ110の上部には、基板10の透明導電膜12を成長させる面が下向きとなるように基板10を支持するホルダ（不図示）が配置されている。一方、成膜チャンバ110の下部には、蒸発源を収容するつぼ112、ガスを供給する導入管116, 118, 120, 122、アークプラズマガン114、質量分析装置124が取り付けられている。
- [0023] るつぼ112に収容する蒸発源は、 In_2O_3 の粉末の焼結体、または、 In_2O_3 の粉末に酸化セリウム（ CeO_2 ）を所定量混合させた焼結体である。アークプラズマガン114には、導入管116を介してアルゴンが供給される。導入管118, 120, 122からは、それぞれ酸素ガス、水素ガス、アルゴンガスが導入される。
- [0024] 成膜装置100では、アークプラズマガン114に内蔵されたカソードから放出される電子を磁場によってガイドし、るつぼ112に仕込まれた蒸発源に集中照射する。この電子流に沿ってプラズマが形成されるため、比較的弱い磁場で電子流を制御し、プラズマビームの形状を制御することができる。電子ビーム加熱によって気化した蒸発源や酸素ガス及び水素ガスは、このプラズマ内で活性化する。基板10の下面には、アルゴン、酸素及び水素の雰囲気中で、水素を含有する多結晶の透明導電膜12が堆積する。
- [0025] 成膜チャンバ110の成長雰囲気中における水素源の分圧は質量分析計124を用いてマススペクトルを測定することでモニタリングし、導入管118, 120, 122からの酸素ガス、水素ガス及びアルゴンガスの導入量（マスフローコントローラーの開度）を制御する。なお、成膜チャンバ110内の透明導電膜12の成長時の圧力は100Pa程度に制御している。
- [0026] ここで、成長雰囲気中の水素源の分圧は、透明導電膜12である酸化インジウム（アニール前）中の水素の組成比に比例すると考えられる。一方、成膜装置10を含め一般の結晶成長用の真空装置においては、Oリングやチャンバの外壁材料に包含される、あるいは表面に吸着している水分や水素が成長雰囲気中に一定量漏れ出す。このため、導入管120から水素ガスを導入しなくても透明導電膜12中に水素は必発的に一定量ドーピングされることにな

る。本実施形態では、プロセスガス中（成長雰囲気中）の水素ガス濃度を 0 %～2. 0 %とすることで、水素源の分圧を制御するが、0 %でも水素源の分圧はゼロにはならず、残留ガス分圧（ $4. 0 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ ）として存在する。

[0027] また、焼結体のみで透明導電膜 1 2 を成膜すると膜中の酸素が枯渇した状態となる。よって、成長雰囲気中の酸素の分圧を導入管 1 2 0 から導入する酸素源により高める。これにより、透明導電膜 1 2 である酸化インジウム中の酸素の組成比を高め、透明導電膜 1 2 の結晶性を高めることができる。

[0028] 本願発明者は、以下の実施例及び比較例に示す透明導電膜 1 2 を成膜し、透明導電膜 1 2 に対して、四端子法による抵抗率、ホール効果測定によるキャリア密度、Van der Pauw 法によるホール移動度をそれぞれ測定した。なお、前述のように、基板 1 0 は、ヒーティングチャンバ 1 0 2 のヒータ 2 1 により加熱可能であるが、以下の実施例及び比較例においては、ヒータ 2 1 を使用した成膜前の基板 1 0 の加熱は実施していない。

実施例 1

[0029] CeO_2 粉末を 3 wt % 含む In_2O_3 粉末の焼結体を蒸発源とし、かつ水素源の分圧が $8. 2 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ となるように水素ガスを供給し、アルゴンに対する酸素の導入比を 7. 5 %～1 5 %の範囲で変化させて一連の透明導電膜 1 2 を成膜した。その後、それぞれ大気中において 2 0 0 °C で 3 0 分アニールした。

実施例 2

[0030] 実施例 1 に類似するが、 CeO_2 粉末を 2 wt % 含む In_2O_3 粉末の焼結体を用いた点で実施例 1 と相違する。

実施例 3

[0031] 実施例 1 に類似するが、 CeO_2 粉末を 1 wt % 含む In_2O_3 粉末の焼結体を用いた点で実施例 1 と相違する。

比較例 1

[0032] 実施例 1 に類似するが、水素ガスを供給しない点で実施例 1 に相違する。ただし、分圧が $4.0 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ となる水素源が成長雰囲気バックグラウンドとして存在する。

比較例 2

[0033] 実施例 1 に類似するが、水素源の分圧が $9.4 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ となるように水素ガスを供給した点で相違する。

比較例 3

[0034] 実施例 1 に類似するが、水素源の分圧が $1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ となるように水素ガスを供給した点で相違する。

比較例 4

[0035] 実施例 1 に類似するが、水素源の分圧が $1.2 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ となるように水素ガスを供給した点で相違する。

比較例 5

[0036] 実施例 1 に類似するが、 CeO_2 粉末を含有しない (CeO_2 粉末の含有量が 0 wt %) In_2O_3 粉末の焼結体を用いた点で実施例 1 と相違する。

比較例 6

[0037] 実施例 1 に類似するが、 CeO_2 粉末を含有しない In_2O_3 粉末の焼結体を用いた点、及び水素源の分圧が $1.2 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ となるように水素ガスを供給した点で実施例 1 と相違する。

[0038] 図1、図2に、実施例1に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を示すグラフ及びデータを示す。図1、2に示すように、実施例1のアニール前の状態では、ホール移動度の最良値が $41.2 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ （酸素導入比15%時）となっており、前述の特許文献1に示された値と比較しても良好とはいえない。

[0039] しかし、図1、図2に示すように、アニール後（post-annealed）の透明導電膜12の抵抗率及びキャリア密度はアニール前（as-deposited）の透明導電膜12の抵抗率及びキャリア密度よりも低くなる。

deposited)と比較して全体的に低下している。特に抵抗率 (Resistivity) は、その値が半分若しくは半分よりやや低い程度にまで低下している。一方、ホール移動度 (Mobility) は、アニール前と比較して各段に増加している。このように、アニール後の透明導電膜 12 において、抵抗率及びキャリア密度 (Carrier density) がアニール前よりも低下し、ホール移動度がアニール前よりも増加することは、程度の差こそあれ、他の実施例及び比較例においても同様に表れる。

[0040] 実施例 1 において、ホール移動度は、酸素導入比が 9 % のときに $127 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ となり、11 % のときに最大値である $145 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ となり、酸素導入比が 9 % から 15 % の範囲で少なくとも $120 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上の値を有している。この範囲において、抵抗率は、 $1.99 \sim 2.64 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ の値を維持しており、キャリア密度は、 $1.85 \sim 2.34 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の値を維持している。

[0041] なお、酸素導入比が 7.5 % から 8.5 % の範囲でホール移動度が $100 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以下となっているが、これは酸素不足に起因する格子欠陥が高密度に存在し、これがキャリアの散乱中心になっていると考えられる。

[0042] 図 3、図 4 に、実施例 2 に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性 (アニール前、アニール後) を表すグラフ、及びデータを示す。また、図 5、図 6 に、実施例 3 に係る透明導電膜 12 の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性 (アニール前、アニール後) を表すグラフ、及びデータを示す。実施例 2、実施例 3 においてもアニール前は実施例 1 同様に良好とはいえないが、アニールをすることにより全ての物理量が良好に値に変化する。

[0043] 実施例 2 では、酸素導入比が 9.5 % から 14 % の範囲で、ホール移動度が $120 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上の値を有しており、最大値は酸素導入比が 13 % のときで $146 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ となっている。この範囲において、抵抗率は、 $2.20 \sim 2.31 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ の値を維持しており、キャリ

ア密度は、 $1.99 \sim 2.20 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の値を維持している。

[0044] 実施例3では、酸素導入比が8.5%から13%の範囲で、ホール移動度が $100 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上の値を有しており、最大値は酸素導入比が10%のときで $121 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ となっている。この範囲において、抵抗率は、 $3.20 \sim 3.79 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ の値を維持しており、キャリア密度は、 $1.56 \sim 1.80 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の値を維持している。

[0045] 本願発明者は、実施例1のように CeO_2 粉末を3wt%含む In_2O_3 粉末の焼結体を蒸発源とする透明導電膜12では、セリウムの組成比が0.7at%になるとの知見を得ている。蒸発源の材料の蒸気圧は温度にのみ依存するので、蒸発源のセリウムの量を変化させればそれに比例して透明導電膜中12のCeの組成比も変化すると考えられる。

[0046] よって、 CeO_2 粉末を2wt%含む In_2O_3 粉末の焼結体を蒸発源とする実施例2の透明導電膜中12のCeの組成比（原子組成百分率）は0.47at%であり、 CeO_2 粉末を1wt%含む In_2O_3 粉末の焼結体を蒸発源とする実施例3の透明導電膜12中のセリウムの組成比は0.23at%であると考えられる。

[0047] 図7乃至図14に、比較例1乃至比較例4に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すグラフ及びデータを示す。図7乃至図14は、 CeO_2 粉末を3wt%含む In_2O_3 粉末の焼結体を蒸発源として透明導電膜12を成膜する際に、水素源の分圧を変化させた場合の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表している。

[0048] 図7、図8に示すように、比較例1（水素源分圧： $4.0 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ ）では、アニールを行ってもホール移動度が $100 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以下となっている。図9、図10に示すように、比較例2（水素源分圧： $9.4 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ ）では、酸素導入比が9%から10%の範囲でホール移動度が $120 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上を維持している。また、実施例1でホール移動度が

最大となったときの酸素導入比 11%においても、比較例 2 のホール移動度は $100 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ となっている。

[0049] 図 11、図 12 に示すように、比較例 3（水素源分圧： $1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ ）では、酸素導入比が 8.0% のときにホール移動度が最大で $117 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ となる。しかし、実施例 1 でホール移動度が最大となったときの酸素導入比 11% において、比較例 3 のホール移動度は $58.7 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ にまで低下する。

[0050] 図 13、図 14 に示すように、比較例 4（水素源分圧： $1.2 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ ）では、酸素導入比が 8.5% のときにホール移動度が最大で $107 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ となる。しかし、実施例 1 でホール移動度が最大となったときの酸素導入比 11% において、比較例 4 のホール移動度は $51.9 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ にまで低下する。

[0051] 図 15、図 16 に、比較例 5 に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すグラフ及びデータを示す。また、図 17、図 18 に、比較例 6 に係る透明導電膜の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表すグラフ及びデータを示す。

[0052] 図 15 乃至図 18 は、 CeO_2 粉末を含まない In_2O_3 粉末の焼結体を蒸発源として透明導電膜 12 を成膜する場合において、水素源の分圧を変化させた場合の比抵抗、キャリア密度、ホール移動度のアルゴンに対する酸素の導入比依存性（アニール前、アニール後）を表している。

[0053] 図 15、図 16 に示すように、比較例 5（水素源分圧： $8.2 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ ）では、酸素導入比が 8.5% のときにホール移動度が最大で $107 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ となる。しかし、実施例 1 でホール移動度が最大となったときの酸素導入比 11% において、比較例 5 のホール移動度は $51.9 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ にまで低下する。

[0054] 図 17、図 18 に示すように、比較例 6（水素源分圧： $1.2 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ ）

a) では、酸素導入比が 15% のときにホール移動度が最大で $124 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ となっており、酸素導入比が 9.5% 以上の範囲でホール移動度が $100 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上となる値を維持している。

[0055] 図 19 に、実施例 1、比較例 1～4 に係る透明導電膜のホール移動度とキャリア密度との関係を表すグラフを示す。また、図 20 に、実施例 2、3、比較例 5、6 に係る透明導電膜のホール移動度とキャリア密度との関係を表すグラフを示す。

[0056] 図 19、図 20 は、縦軸がホール移動度、横軸がキャリア密度とし、各実施例及び各比較例のホール移動度とキャリア密度の関係を示すプロットデータ（図 2、図 4、図 6、図 8、図 10、図 12、図 14、図 16、図 18）を載せたものである。また、図 19、図 20 には、酸化インジウム中のイオン化不純物散乱に起因するホール移動度とキャリア密度との関係を示す曲線 μ_i と、酸化インジウム中の粒界散乱に起因するホール移動度とキャリア密度との関係を示す曲線 μ_{GB} と、両者に起因するホール移動度とキャリア密度との関係を示す曲線 μ_{IG} が記載されている。

[0057] ここで、 μ_i は、BHD (Brooks-Herring-Dingle) 理論により導くことができる。また、 $1/\mu_{IG} = 1/\mu_i + 1/\mu_{GB}$ の関係を有する。なお、酸化インジウム中の中性不純物散乱のホール移動度に対する寄与は前述の両者よりも十分小さいので無視できる。

[0058] 図 19、図 20 に示すように、実施例 1 のプロットデータは、 μ_i の線上に並んでおり、実施例 2 のプロットデータのほとんどは μ_i の線上に並んでいる。このことから、実施例 1（セリウム組成比：0.7 at%）及び実施例 2（セリウム組成比：0.47 at%）においてはホール移動度に対する粒界散乱の影響がきわめて小さく、主にイオン化不純物散乱の影響が支配的であることがわかる。実施例 3（セリウム組成比：0.23 at%）のプロットデータは、 μ_i の線からやや離れているが、その一部が、 μ_i の線とほぼ平行に並んでいるので、実施例 1、実施例 2 程ではないにしろ、ホール移動度に対する粒界散乱の影響は小さいものと考えられる。

[0059] 一方、比較例 1（セリウム組成比：0.7%、水素源分圧： 4.0×10^{-4} Pa）、比較例 3（セリウム組成比：0.7%、水素源分圧： 1.0×10^{-3} Pa）、比較例 4（セリウム組成比：0.7%、水素源分圧： 1.2×10^{-3} Pa）のプロットデータ、及び比較例 2（セリウム組成比：0.7%、水素源分圧： 9.4×10^{-4} Pa）のプロットデータの大部分は、 μ_{IG} の線に近接しているので、ホール移動度がイオン化不純物散乱の影響のみならず粒界散乱の影響を受けていることがわかる。ただし、比較例 2（セリウム組成比：0.7%、水素源分圧： 9.4×10^{-4} Pa）のプロットデータの一部は、 μ_I の線上に並ぶので、酸素導入比を調整することによりホール移動度に対する粒界散乱の影響を小さくできると考えられる。

[0060] 比較例 6 のプロットデータは、 μ_I の線からやや離れているが、 μ_I の線とほぼ平行に並んでいるので、ホール移動度に対する粒界散乱の影響は比較的小さいと考えられる。比較例 5 のプロットデータは、 μ_I の線とほぼ平行に並んでいるが、比較例 6 と比較して、 μ_I の線からかなり離れているので、ホール移動度に対する粒界散乱の影響が比較例 6 よりも大きくなっていると考えられる。

[0061] 図 19、図 20 において μ_I の線上に並ぶプロットデータにおいては、ホール移動度が $120 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上となっている。前述のように、アニール前の酸化インジウム中の水素の組成比は成長雰囲気中の水素源の分圧に比例すると考えられる。したがって、セリウム組成比を 0.23 at% 以上とし、水素の組成比（成長雰囲気中の水素源の分圧）を以下に示す一定の範囲に制御することにより、粒界散乱の影響をほとんど受けることなく、イオン化不純物散乱の影響に起因したホール移動度を有し、その値が $120 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上となる透明導電膜 12 を成膜することができる。

[0062] 実施例 1 及び比較例 2 から、透明導電膜 12 の成長雰囲気中の水素源の分圧は、少なくとも 8.2×10^{-4} Pa \sim 9.4×10^{-4} Pa の範囲に設定すればよい。なお、前述のように成長雰囲気中にはバックグラウンドとして 4.0×10^{-4} Pa の分圧の水素源が存在する。よって、配管から供給する水

素ガスの分圧が、前述の範囲からバックグラウンドの量を差し引いた $4.2 \times 10^{-4} \text{ Pa} \sim 5.4 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ となるように水素ガスの流量を調整すればよい。なお、 $120 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上となる透明導電膜 12 を成膜する際の水素源の分圧は、成長雰囲気圧力、基板 10 の材料、基板 10 の温度、プラズマの密度等によって異なる。

[0063] 次に、ホール移動度と結晶構造との関係について検討する。図 21 に実施例 1 に係る透明導電膜 12 のアニール前の SEM 画像を示す。また、図 22 乃至図 26 に、比較例 1、比較例 3、比較例 5、比較例 6 に係る透明導電膜のアニール後の SEM 画像を示す。なお、図 21 乃至図 26 の SEM 画像に用いたサンプルは、実施例 1 においてホール移動度が最大値となったときの酸素導入比（11%）に統一して成膜したものである。

[0064] 図 21 に示すように、アニール前の実施例 1（セリウム組成比：0.7 at%、水素源分圧： $8.2 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ ）の SEM（走査型電子顕微鏡）画像において結晶構造は認められず、アモルファス状になっており、図示は省略するが X 線による回折ピークも認められない。これは、以後に説明する比較例についても同様である。しかし、図 22 に示すようにアニール後の実施例 1 の SEM 画像においては、 $1 \mu\text{m}$ を超える粒径の島状結晶が多数形成されており、さらに島状結晶同士の境界が不明瞭な状態となっている。

[0065] 図 23 に示すように、比較例 1（セリウム組成比：0.7%、水素源分圧： $4.0 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ ）は、実施例 1 よりも水素源の分圧が低い点で相違するのみであるが、アニール後において、粒径が 100 nm 程度の粒界が明瞭なコラム状の結晶が多数形成されている。

[0066] 図 24 に示すように、比較例 3（セリウム組成比：0.7%、水素源分圧： $1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ ）は、実施例 1 よりも水素源の分圧が高い点で相違するのみであるが、アニール後において、アモルファスとして残った領域と、粒径が $6 \mu\text{m}$ 程度の大きさの結晶に成長した領域が混在している。結晶に成長した領域においては実施例 1 と同様に、島状結晶が形成され、島状結晶同士の境界が不明瞭な状態となっている。

- [0067] 図25に示すように、比較例5（セリウム組成比：0%、水素源分圧： 8.2×10^{-4} Pa）は、セリウムがドーピングされていない点で実施例1と相違するのみであるが、アニール後において、粒径が1 μ m以上となる粒界が明瞭なコラム状の結晶が多数形成されている。
- [0068] 比較例6（セリウム組成比：0%、水素源分圧： 1.2×10^{-3} Pa）は、セリウムがドーピングされていない点で実施例1と相違し、水素源分圧も実施例1よりも高くなっている。しかし、図26に示すように、実施例1と同様に1 μ m程度の粒径の島状結晶が多数形成されているが、島状結晶同士の境界が不明瞭な状態となっている。
- [0069] 図21乃至図26から以下のような知見が得られる。まず、セリウムは酸化インジウムの結晶結合を促進する効果があり、アモルファスにおける酸化インジウムの結晶成長の基点になると考えられる。よって、図23（比較例1）と図25（比較例5）を比較すれば、セリウムの濃度を高くするほど酸化インジウムにおける粒界の粒径は小さくなるものと考えられる。
- [0070] 一方、水素は、成膜時に酸素やインジウムと結合し、酸化インジウムの結晶成長を阻害して酸化インジウムのアモルファスを形成する。しかし、アニールにより、水素は酸素及びインジウムとの結合を切って酸化インジウムから離脱する。これにより、結合の手が切れた酸素及びインジウムが結合して結晶化するが、アニール前の酸化インジウム中の水素の濃度が高いほど、酸化インジウムのアモルファス性が高くなる（結晶性が低下する）ため、アニールによってもアモルファスが解消できなくなると考えられる。
- [0071] よって、図23に示す比較例1では、アモルファス性をあまり有しない程度の水素の組成比であるので、アニールにより粒界が明瞭なコラム状の小さな結晶（セリウムを基点として）が生成されたと考えられる。また、図22に示す実施例1では、アモルファス性がアニールにより解消される程度の水素の組成比であるので多数の島状結晶が形成されたと考えられる。さらに、図24に示す比較例3では、アモルファス性をアニールにより解消するにはやや困難な程度の水素の組成比であるので、アモルファスが解消されて多数

の島状結晶が形成された領域とアモルファスのままの領域が形成されたと考えられる。

[0072] 図25に示す比較例5では、セリウムが無添加の酸化インジウムにおいて、アモルファス性をあまり有しない程度の水素の組成比であるので、アニールにより粒界が明瞭なコラム状の結晶が生成されたと考えられる。また図26に示す実施例6では、セリウムが無添加の酸化インジウムにおいて、アモルファス性がアニールにより解消される程度の水素の組成比であるので多数の島状結晶が形成されたと考えられる。

[0073] 図27に、実施例1、比較例1、比較例3のアニール後のX線回折測定データを示す。図27に示すように、例えば(222)のピークを比較すると、実施例1が最も高い強度となっており、これらのうちで最も結晶性が高いものであるといえる。一方、比較例1は、粒界が高密度に発生しているので、結晶性が実施例1よりも低くなり、(222)のピークが実施例1よりも小さくなっていると考えられる。また、比較例3では、実施例1と同様の島状結晶が形成されているが、アモルファス領域が大きいため、(222)のピークが実施例1よりも小さくなっていると考えられる。

[0074] 次に、実施例1、比較例3、比較例6でみられる島状結晶について考える。

前述のように、実施例1において、ホール移動度は、図1, 2に示すように、酸素導入比が9%以上で、 $120\text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 以上の値を維持している。また図19に示すように、実施例1のプロットデータは、イオン化不純物散乱に起因する曲線 μ_i 上に並んでおり、ホール移動度が粒界散乱の影響をほとんど受けていないと考えられる。

[0075] また、比較例6において、ホール移動度は、図17, 18に示すように、酸素導入比が9.5%以上で、 $100\text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 以上の値を維持している。また図20に示すように、比較例6のプロットデータは、イオン化不純物散乱に起因する曲線 μ_i に近接して並んでおり、ホール移動度が粒界散乱の影響をあまり受けていないと考えられる。

[0076] そして、図 2 2、図 2 6 に示すように、実施例 1、比較例 6 では、多数の島状結晶が認められるが、その境界が不明瞭な構造を有している。以上のことから、実施例 1、比較例 6 に係る透明導電膜においては、多結晶構造を形成する島状結晶と、互いに隣接する島状結晶の間を埋めるように配置されたバッファ結晶と、を有していると考えられる。前述の島状結晶の不明瞭な境界を形成しているのがこのバッファ結晶である。

[0077] バッファ結晶は、以下のように形成され则认为られる。まず、実施例 1、比較例 6 において、成膜後のアニールにより、島状結晶の種となる微結晶が点状に（セリウムがある場合はセリウムを中心として）形成され、これが周囲のアモルファス部分を取り込んで成長する。その際、アモルファス部分からは水素が離脱し、離脱により結合の手が空いた酸素及びインジウムが結合し、セリウムがある場合はこの結合をサポートする。しかし、成長初期の島状結晶はアモルファス部分との境界があいまいで、島状結晶からアモルファス部分に離れるにつれて長距離秩序性が次第に失われ、短距離秩序のみが残存し、ついには短距離秩序性も次第に失われてくような配置となっている。このように、グラデーション的に結晶構造が変化する部分がバッファ結晶となる。

[0078] そして、島状結晶の成長が進行すると、第 1 の島状結晶の周囲にあるバッファ結晶と、第 1 の島状結晶とは別の位置にある第 2 の島状結晶の周囲にあるバッファ結晶と、が接触することになるが、両者は短距離秩序性のみを有するので交じり合うことになる。しかし、第 1 の島状結晶と第 2 の島状結晶の結晶方位は互いに異なるので、バッファ結晶が残存した状態で第 1 の島状結晶と第 2 の島状結晶の成長が完了することになる。

[0079] このように形成されたバッファ結晶は、バッファ結晶に接続する第 1 の島状結晶からバッファ結晶を経由してバッファ結晶に接続する第 2 の島状結晶に向かうにつれて、第 1 の島状結晶の結晶構造から第 2 の島状結晶の結晶構造へ連続的に変化する結晶構造を有することになる。

[0080] バッファ結晶が上述の結晶構造を有することにより、バッファ結晶内

、及び島状結晶とバッファ結晶との境界において短距離秩序性が維持される。このため、キャリアが第1の島状結晶からバッファ結晶を経由して第2の島状結晶に移動する際に受ける結晶粒界散乱を低減することができる。これにより、キャリアは主にイオン化不純物散乱の影響に伴うキャリア密度とホール移動度の関係に従った電気的特性となり、高いホール移動度を有することができる。図24に示す比較例3においても島状結晶がみられるが、この島状結晶部分のみであれば、実施例1、比較例6と同等のホール移動度を得られると考えられる。

[0081] 本実施形態では、酸化インジウムにセリウムをドーピングする場合について説明したが、他のランタノイド系元素も適用することも可能である。また、本実施形態の透明導電膜は、液晶ディスプレイ装置、有機エレクトロルミネッセンス装置等の画像表示装置、結晶太陽電池、薄膜太陽電池、色素増感太陽電池等の太陽電池、電子部品等に適宜適用できる。

産業上の利用可能性

[0082] セリウム及び水素の濃度を適切に調整することにより、高いホール移動度となる透明導電膜、これを用いた装置または太陽電池、及び透明導電膜の製造方法として利用できる。

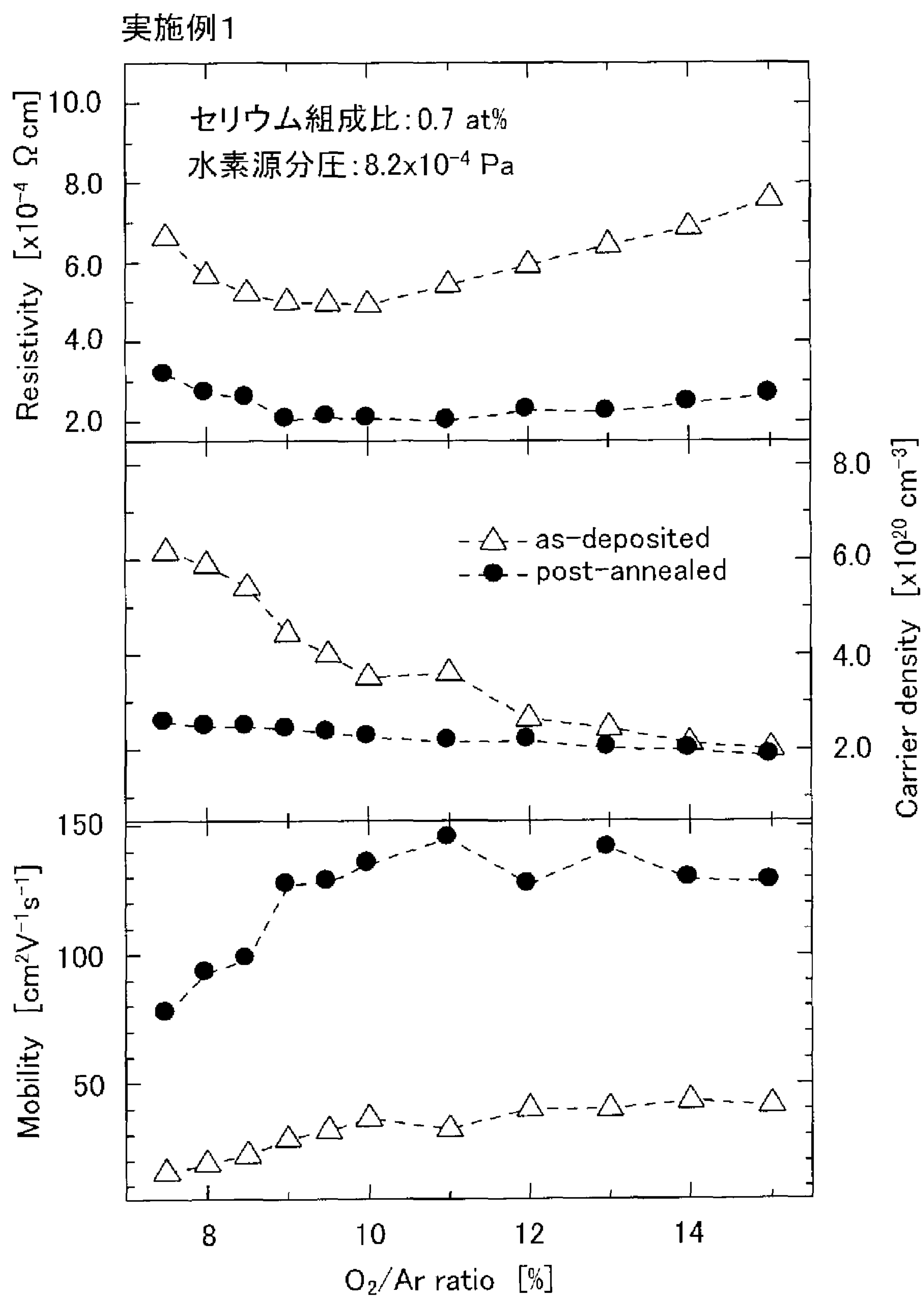
符号の説明

[0083] 10……基板、12……透明導電膜、100……成膜装置、102……ロードロックチャンバ、104……ヒーティングチャンバ、106……ヒータ、110……成膜チャンバ、112……るつぼ、114……アークプラズマガン、116……導入管、118……導入管、120……導入管、122……導入管、124……質量分析装置、

請求の範囲

- [請求項1] 水素及びランタノイド系元素を含有する酸化インジウムの多結晶構造からなる透明導電膜であって、ホール移動度が $120 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上であることを特徴とする透明導電膜。
- [請求項2] 酸化インジウムの多結晶構造からなる透明導電膜であって、
前記多結晶構造を構成する多数の島状結晶と、
互いに隣接する前記島状結晶の間を埋めるように配置されたバッファ結晶と、を有し、
前記バッファ結晶は、
前記バッファ結晶に接続する第1の島状結晶から前記バッファ結晶を経由して前記バッファ結晶に接続する第2の島状結晶に向かうにつれて、前記第1の島状結晶の結晶構造から前記第2の島状結晶の結晶構造へ連続的に変化する結晶構造を有していることを特徴とする透明導電膜。
- [請求項3] セリウムを含有し、その原子組成百分率が0.23%以上であることを特徴とする請求項2に記載の透明導電膜。
- [請求項4] 請求項1乃至3のいずれか1項に記載の透明導電膜を有することを特徴とする装置。
- [請求項5] 請求項1乃至3のいずれか1項に記載の透明導電膜を有することを特徴とする太陽電池。
- [請求項6] 水素及びランタノイド系元素を含有する酸化インジウムの多結晶構造からなる透明導電膜の製造方法であって、
前記透明導電膜のキャリア密度とホール移動度との関係が、前記透明導電膜における結晶粒界散乱の影響を排除したキャリア密度とホール移動度との関係にほぼ一致するように、前記透明導電膜の成長雰囲気の水素源の分圧を調整することを特徴とする透明導電膜の製造方法。

[図1]

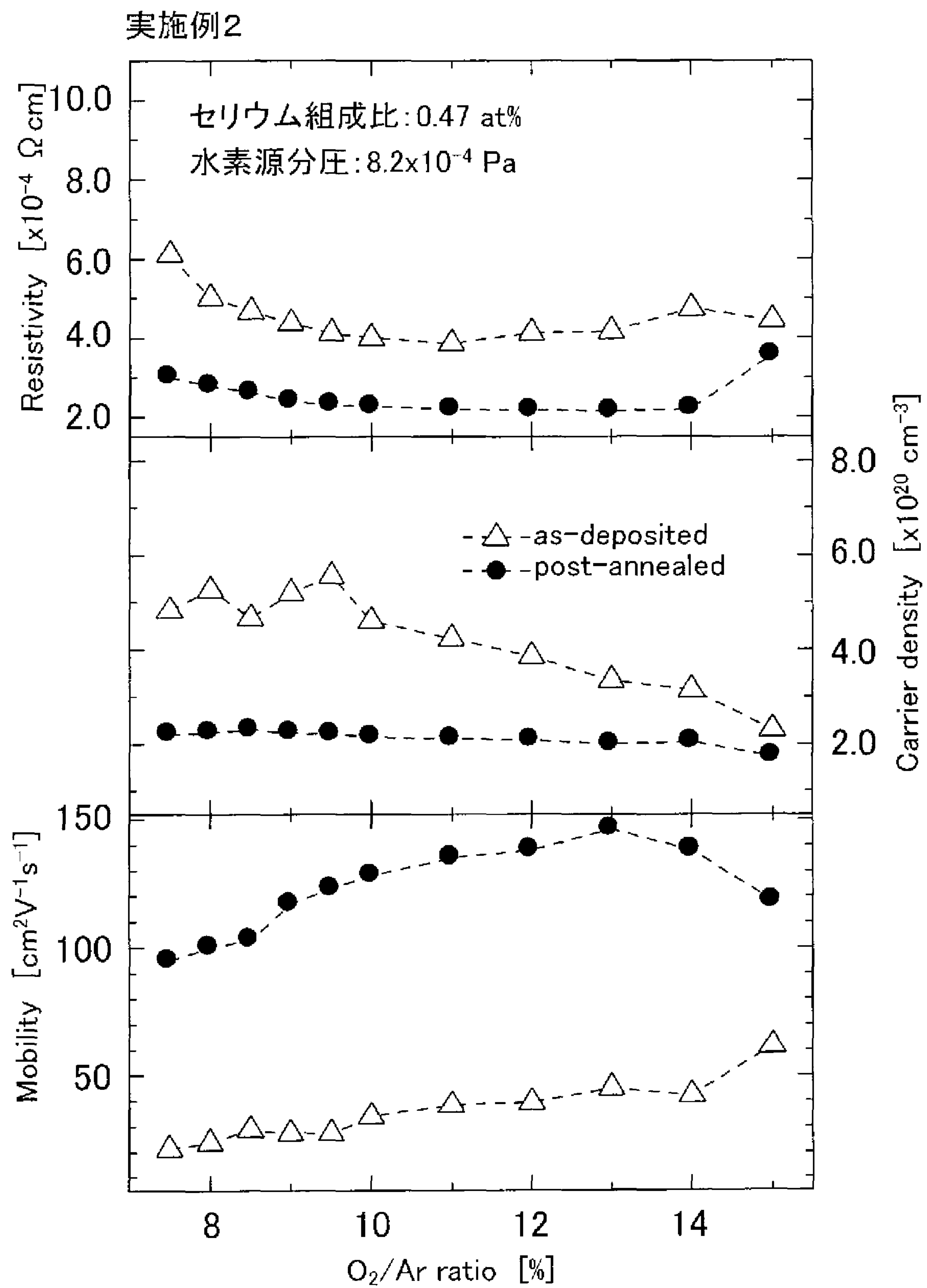


[図2]

実施例1		as-deposited			post-annealed		
		Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm^{-3}]	Mobility [$\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$]	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm^{-3}]	Mobility [$\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$]
	7.5	6.61×10^{-4}	6.16×10^{20}	15.3	3.16×10^{-4}	2.56×10^{20}	77.0
	8.0	5.66×10^{-4}	5.89×10^{20}	18.8	2.71×10^{-4}	2.48×10^{20}	93.0
	8.5	5.21×10^{-4}	5.41×10^{20}	22.0	2.58×10^{-4}	2.47×10^{20}	98.0
	9.0	4.99×10^{-4}	4.44×10^{20}	28.2	2.03×10^{-4}	2.42×10^{20}	127
	9.5	4.96×10^{-4}	3.99×10^{20}	31.5	2.08×10^{-4}	2.34×10^{20}	128
	10	4.92×10^{-4}	3.51×10^{20}	36.2	2.06×10^{-4}	2.25×10^{20}	135
	11	5.42×10^{-4}	3.60×10^{20}	32.0	1.99×10^{-4}	2.16×10^{20}	145
	12	5.92×10^{-4}	2.64×10^{20}	39.8	2.27×10^{-4}	2.17×10^{20}	127
	13	6.41×10^{-4}	2.44×10^{20}	39.9	2.21×10^{-4}	2.01×10^{20}	141
	14	6.86×10^{-4}	2.12×10^{20}	42.9	2.44×10^{-4}	1.98×10^{20}	129
	15	7.57×10^{-4}	2.00×10^{20}	41.2	2.64×10^{-4}	1.85×10^{20}	128

セリウム組成比: 0.7 at%
水素源分圧: 8.2×10^{-4} Pa

[図3]

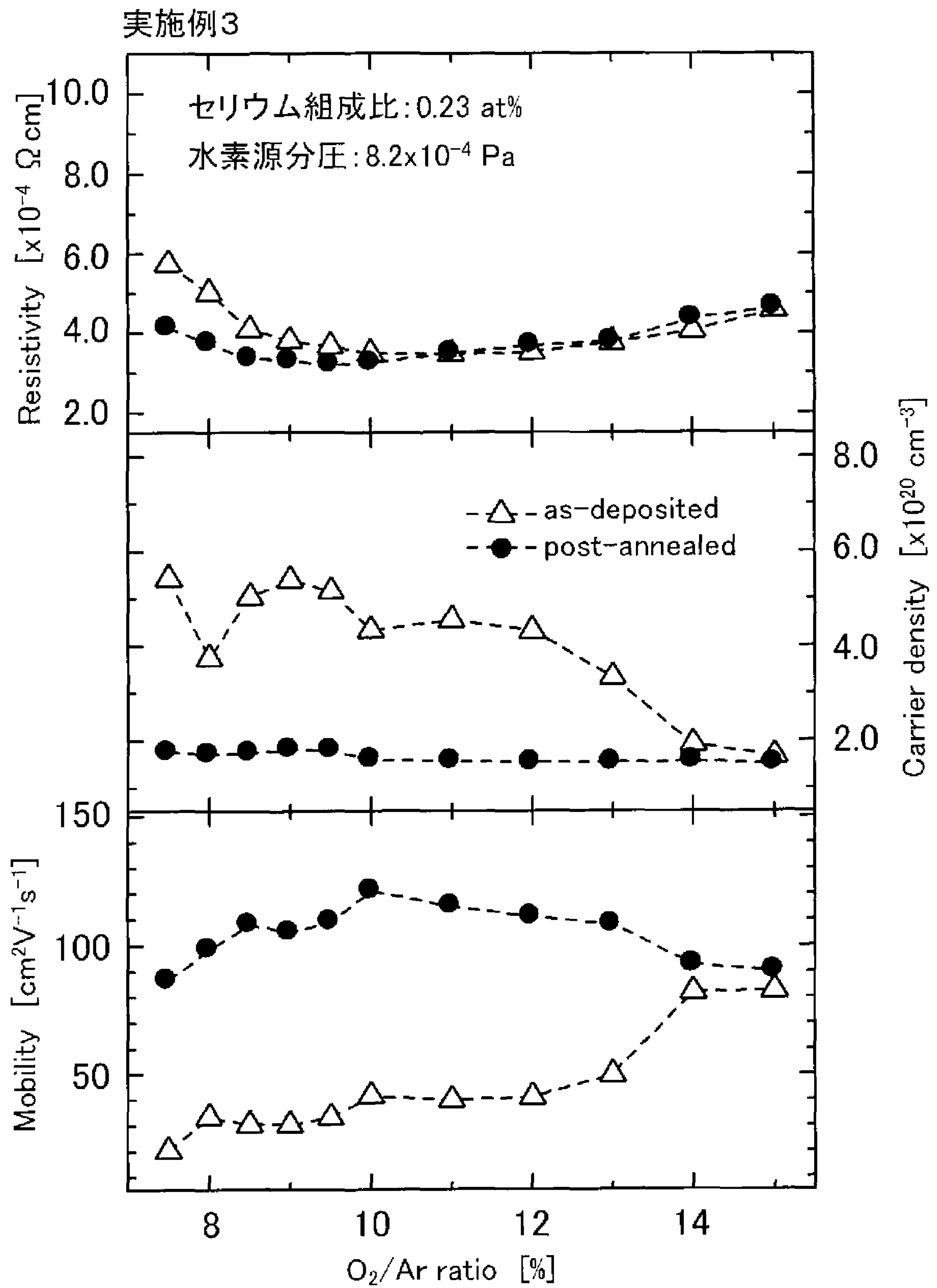


[図4]

実施例2 O ₂ /Ar ratio[%]	as-deposited			post-annealed		
	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm ⁻³]	Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm ⁻³]	Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]
7.5	6.10x10 ⁻⁴	4.83x10 ²⁰	21.2	3.00x10 ⁻⁴	2.20x10 ²⁰	94.7
8.0	5.02x10 ⁻⁴	5.26x10 ²⁰	23.6	2.79x10 ⁻⁴	2.23x10 ²⁰	100
8.5	4.67x10 ⁻⁴	4.67x10 ²⁰	28.6	2.62x10 ⁻⁴	2.30x10 ²⁰	103
9.0	4.38x10 ⁻⁴	5.20x10 ²⁰	27.4	2.40x10 ⁻⁴	2.23x10 ²⁰	117
9.5	4.12x10 ⁻⁴	5.56x10 ²⁰	27.3	2.31x10 ⁻⁴	2.20x10 ²⁰	123
10	4.00x10 ⁻⁴	4.61x10 ²⁰	33.8	2.27x10 ⁻⁴	2.15x10 ²⁰	128
11	3.85x10 ⁻⁴	4.23x10 ²⁰	38.3	2.20x10 ⁻⁴	2.10x10 ²⁰	135
12	4.12x10 ⁻⁴	3.85x10 ²⁰	39.3	2.18x10 ⁻⁴	2.08x10 ²⁰	138
13	4.16x10 ⁻⁴	3.34x10 ²⁰	44.9	2.15x10 ⁻⁴	1.99x10 ²⁰	146
14	4.74x10 ⁻⁴	3.14x10 ²⁰	42.0	2.21x10 ⁻⁴	2.04x10 ²⁰	138
15	4.43x10 ⁻⁴	2.30x10 ²⁰	61.4	3.55x10 ⁻⁴	1.73x10 ²⁰	118

セリウム組成比:0.47 at%
水素源分圧:8.2x10⁻⁴ Pa

[図5]

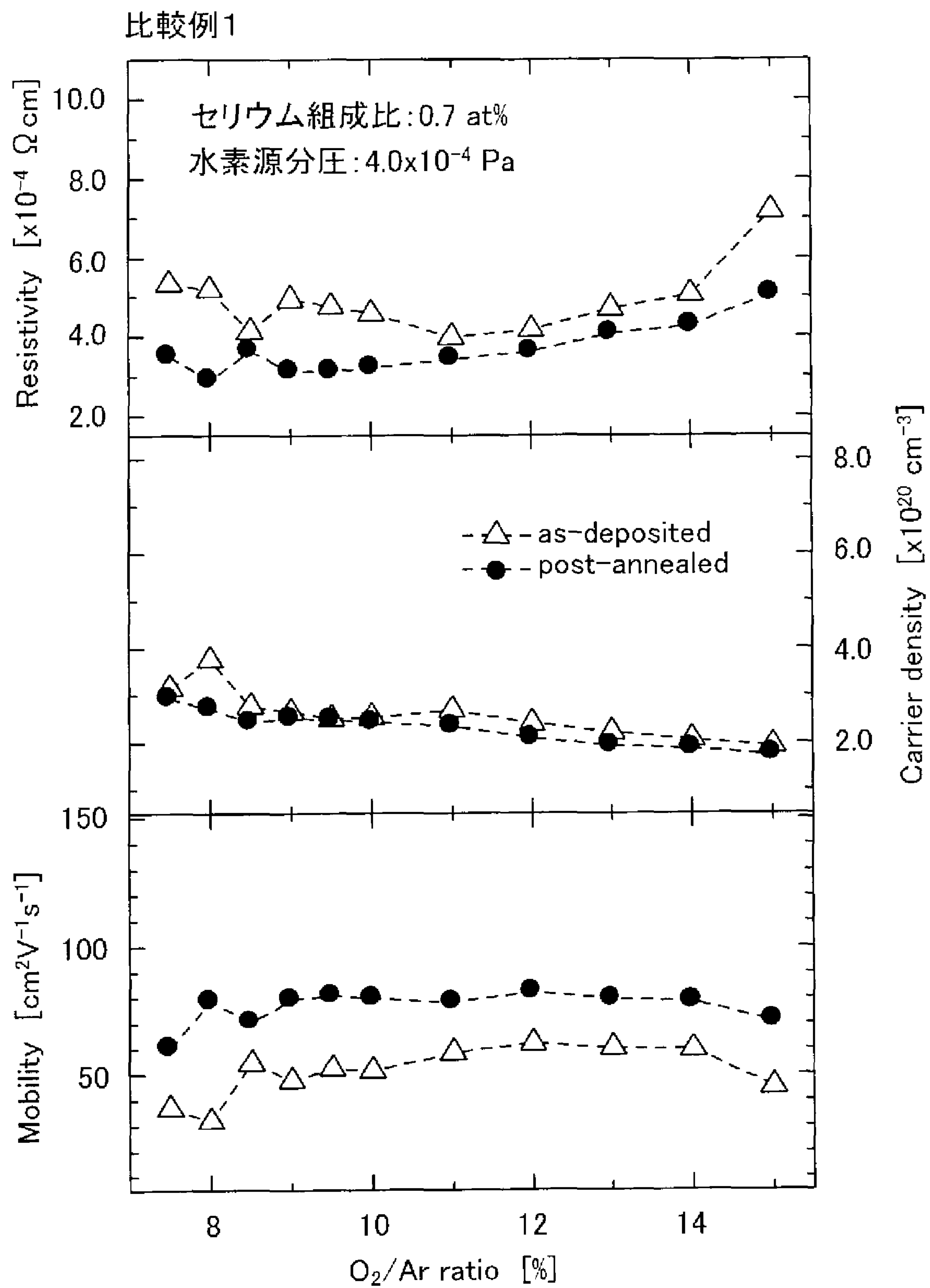


[図6]

実施例3 O ₂ /Ar ratio[%]	as-deposited			post-annealed		
	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm ⁻³]	Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm ⁻³]	Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]
7.5	5.73x10 ⁻⁴	5.43x10 ²⁰	20.1	4.13x10 ⁻⁴	1.75x10 ²⁰	86.5
8.0	5.02x10 ⁻⁴	3.74x10 ²⁰	33.3	3.74x10 ⁻⁴	1.70x10 ²⁰	98.3
8.5	4.09x10 ⁻⁴	5.03x10 ²⁰	30.4	3.36x10 ⁻⁴	1.73x10 ²⁰	108
9.0	3.81x10 ⁻⁴	5.39x10 ²⁰	30.4	3.30x10 ⁻⁴	1.80x10 ²⁰	105
9.5	3.67x10 ⁻⁴	5.16x10 ²⁰	33.0	3.20x10 ⁻⁴	1.79x10 ²⁰	109
10	3.49x10 ⁻⁴	4.33x10 ²⁰	41.4	3.25x10 ⁻⁴	1.59x10 ²⁰	121
11	3.46x10 ⁻⁴	4.54x10 ²⁰	39.8	3.50x10 ⁻⁴	1.56x10 ²⁰	115
12	3.52x10 ⁻⁴	4.32x10 ²⁰	41.1	3.69x10 ⁻⁴	1.53x10 ²⁰	111
13	3.77x10 ⁻⁴	3.33x10 ²⁰	49.8	3.79x10 ⁻⁴	1.53x10 ²⁰	108
14	4.06x10 ⁻⁴	1.91x10 ²⁰	81.8	4.36x10 ⁻⁴	1.55x10 ²⁰	92.5
15	4.57x10 ⁻⁴	1.66x10 ²⁰	82.4	4.63x10 ⁻⁴	1.50x10 ²⁰	90.0

セリウム組成比:0.23 at%
水素源分圧:8.2x10⁻⁴ Pa

[図7]

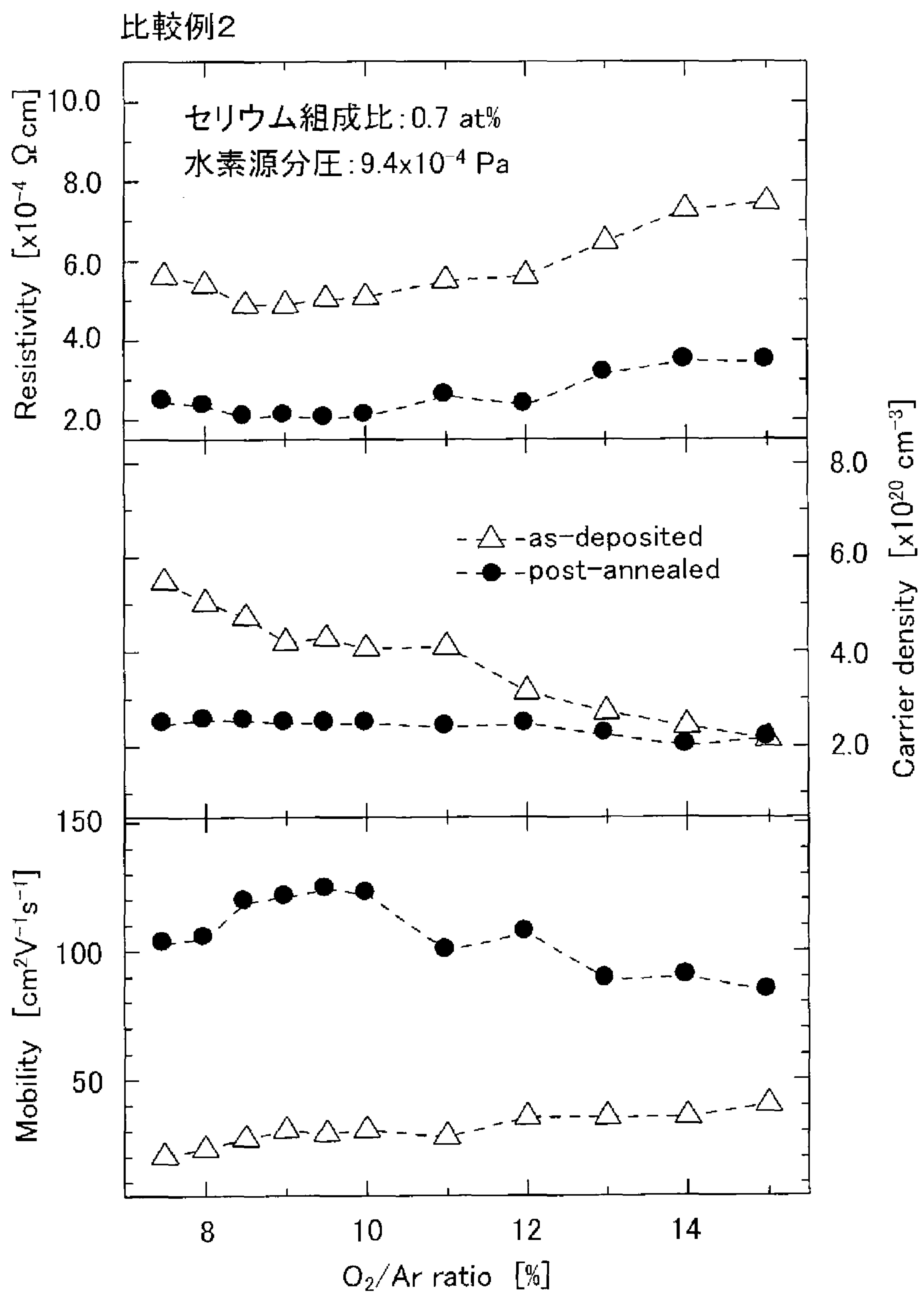


[図8]

比較例1		as-deposited			post-annealed		
		Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm^{-3}]	Mobility [$\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$]	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm^{-3}]	Mobility [$\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$]
	$\text{O}_2/\text{Ar ratio} [\%]$						
	7.5	6.61×10^{-4}	6.16×10^{20}	15.3	3.16×10^{-4}	2.56×10^{20}	77.0
	8.0	5.66×10^{-4}	5.89×10^{20}	18.8	2.71×10^{-4}	2.48×10^{20}	93.0
	8.5	5.21×10^{-4}	5.41×10^{20}	22.0	2.58×10^{-4}	2.47×10^{20}	98.0
	9.0	4.99×10^{-4}	4.44×10^{20}	28.2	2.03×10^{-4}	2.42×10^{20}	127
	9.5	4.96×10^{-4}	3.99×10^{20}	31.5	2.08×10^{-4}	2.34×10^{20}	128
	10	4.92×10^{-4}	3.51×10^{20}	36.2	2.06×10^{-4}	2.25×10^{20}	135
	11	5.42×10^{-4}	3.60×10^{20}	32.0	1.99×10^{-4}	2.16×10^{20}	145
	12	5.92×10^{-4}	2.64×10^{20}	39.8	2.27×10^{-4}	2.17×10^{20}	127
	13	6.41×10^{-4}	2.44×10^{20}	39.9	2.21×10^{-4}	2.01×10^{20}	141
	14	6.86×10^{-4}	2.12×10^{20}	42.9	2.44×10^{-4}	1.98×10^{20}	129
	15	7.57×10^{-4}	2.00×10^{20}	41.2	2.64×10^{-4}	1.85×10^{20}	128

セリウム組成比: 0.7 at%
水素源分圧: 4.0×10^{-4} Pa

[図9]

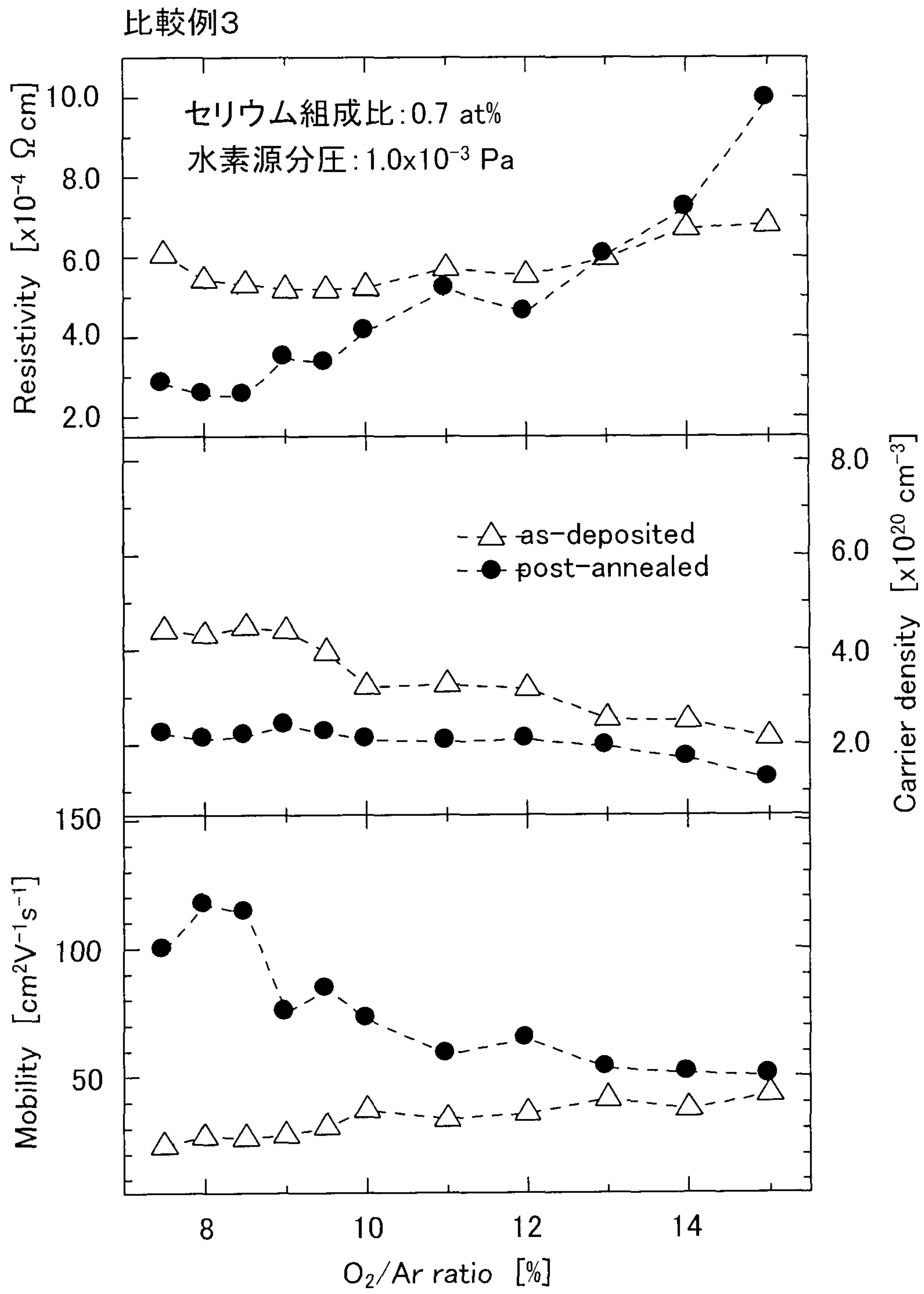


[図10]

比較例2	as-deposited				post-annealed		
	O ₂ /Ar ratio[%]	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm ⁻³]	Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm ⁻³]	Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]
	7.5	5.62x10 ⁻⁴	5.48x10 ²⁰	20.3	2.45x10 ⁻⁴	2.47x10 ²⁰	103
	8.0	5.40x10 ⁻⁴	5.03x10 ²⁰	23.0	2.33x10 ⁻⁴	2.55x10 ²⁰	105
	8.5	4.89x10 ⁻⁴	4.73x10 ²⁰	27.0	2.07x10 ⁻⁴	2.53x10 ²⁰	119
	9.0	4.90x10 ⁻⁴	4.20x10 ²⁰	30.3	2.08x10 ⁻⁴	2.49x10 ²⁰	121
	9.5	5.05x10 ⁻⁴	4.28x10 ²⁰	28.9	2.03x10 ⁻⁴	2.48x10 ²⁰	124
	10	5.08x10 ⁻⁴	4.06x10 ²⁰	30.3	2.08x10 ⁻⁴	2.47x10 ²⁰	122
	11	5.50x10 ⁻⁴	4.10x10 ²⁰	27.7	2.59x10 ⁻⁴	2.40x10 ²⁰	100
	12	5.62x10 ⁻⁴	3.15x10 ²⁰	35.3	2.37x10 ⁻⁴	2.46x10 ²⁰	107
	13	6.48x10 ⁻⁴	2.72x10 ²⁰	35.4	3.16x10 ⁻⁴	2.23x10 ²⁰	88.7
	14	7.28x10 ⁻⁴	2.42x10 ²⁰	35.5	3.47x10 ⁻⁴	2.00x10 ²⁰	89.9
	15	7.26x10 ⁻⁴	2.14x10 ²⁰	40.1	3.46x10 ⁻⁴	2.15x10 ²⁰	84.0

セリウム組成比:0.7 at%
水素源分圧:9.4x10⁻⁴ Pa

[図11]

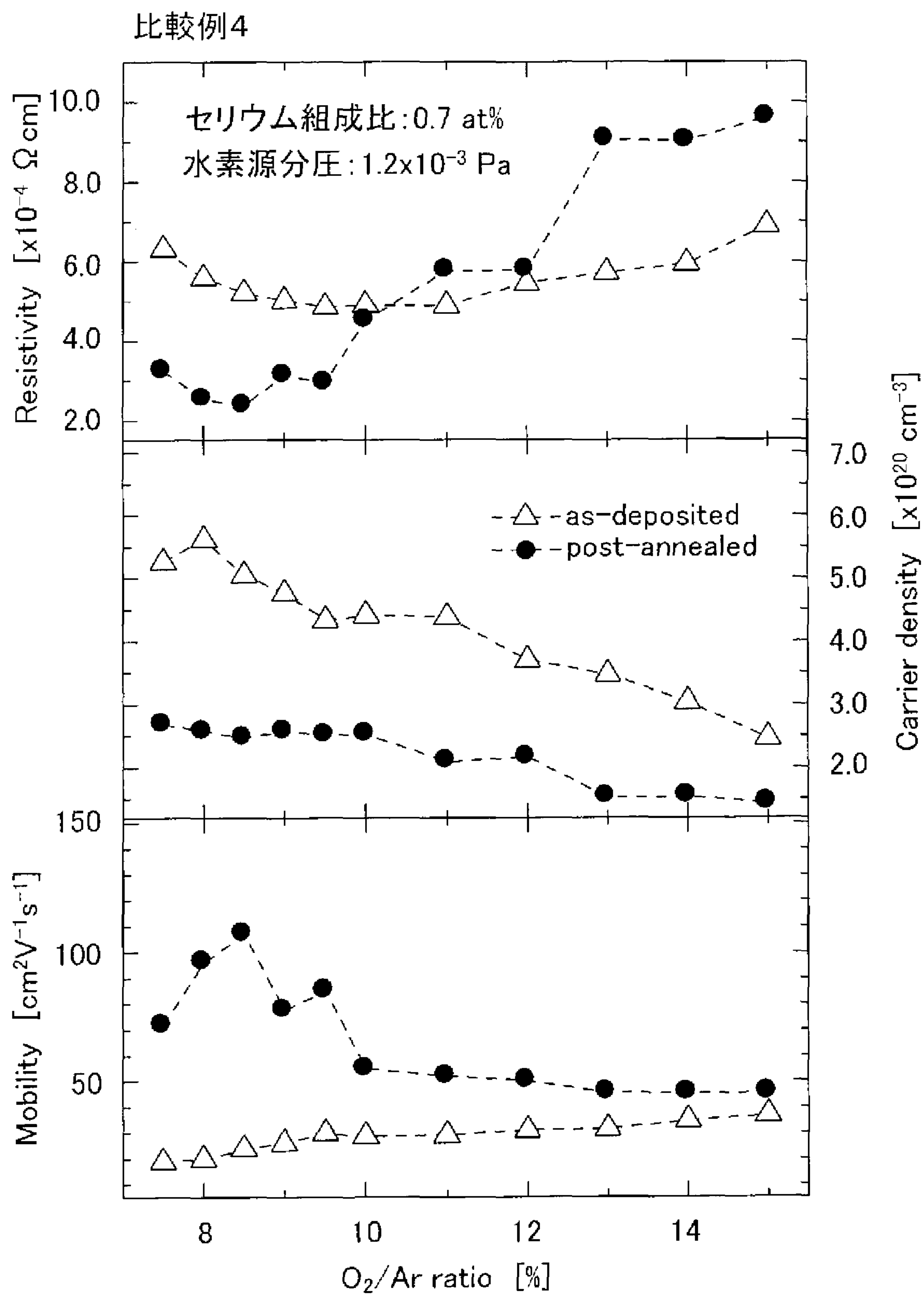


[図12]

比較例3 O ₂ /Ar ratio[%]	as-deposited			post-annealed		
	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm ⁻³]	Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm ⁻³]	Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]
7.5	6.06x10 ⁻⁴	4.41x10 ²⁰	23.4	2.83x10 ⁻⁴	2.22x10 ²⁰	99.5
8.0	5.42x10 ⁻⁴	4.31x10 ²⁰	26.7	2.54x10 ⁻⁴	2.10x10 ²⁰	117
8.5	5.30x10 ⁻⁴	4.48x10 ²⁰	26.4	2.52x10 ⁻⁴	2.17x10 ²⁰	114
9.0	5.18x10 ⁻⁴	4.40x10 ²⁰	27.4	3.47x10 ⁻⁴	2.39x10 ²⁰	75.1
9.5	5.17x10 ⁻⁴	3.95x10 ²⁰	30.5	3.34x10 ⁻⁴	2.23x10 ²⁰	83.9
10	5.23x10 ⁻⁴	3.22x10 ²⁰	37.1	4.13x10 ⁻⁴	2.09x10 ²⁰	72.4
11	5.70x10 ⁻⁴	3.26x10 ²⁰	33.6	5.18x10 ⁻⁴	2.05x10 ²⁰	58.7
12	5.52x10 ⁻⁴	3.17x10 ²⁰	35.7	4.60x10 ⁻⁴	2.09x10 ²⁰	64.5
13	5.96x10 ⁻⁴	2.53x10 ²⁰	41.3	6.03x10 ⁻⁴	1.94x10 ²⁰	53.2
14	6.70x10 ⁻⁴	2.49x10 ²⁰	37.4	7.20x10 ⁻⁴	1.69x10 ²⁰	51.3
15	6.80x10 ⁻⁴	2.13x10 ²⁰	43.1	9.93x10 ⁻⁴	1.25x10 ²⁰	50.3

セリウム組成比:0.7 at%
水素源分圧:1.0x10⁻³ Pa

[図13]

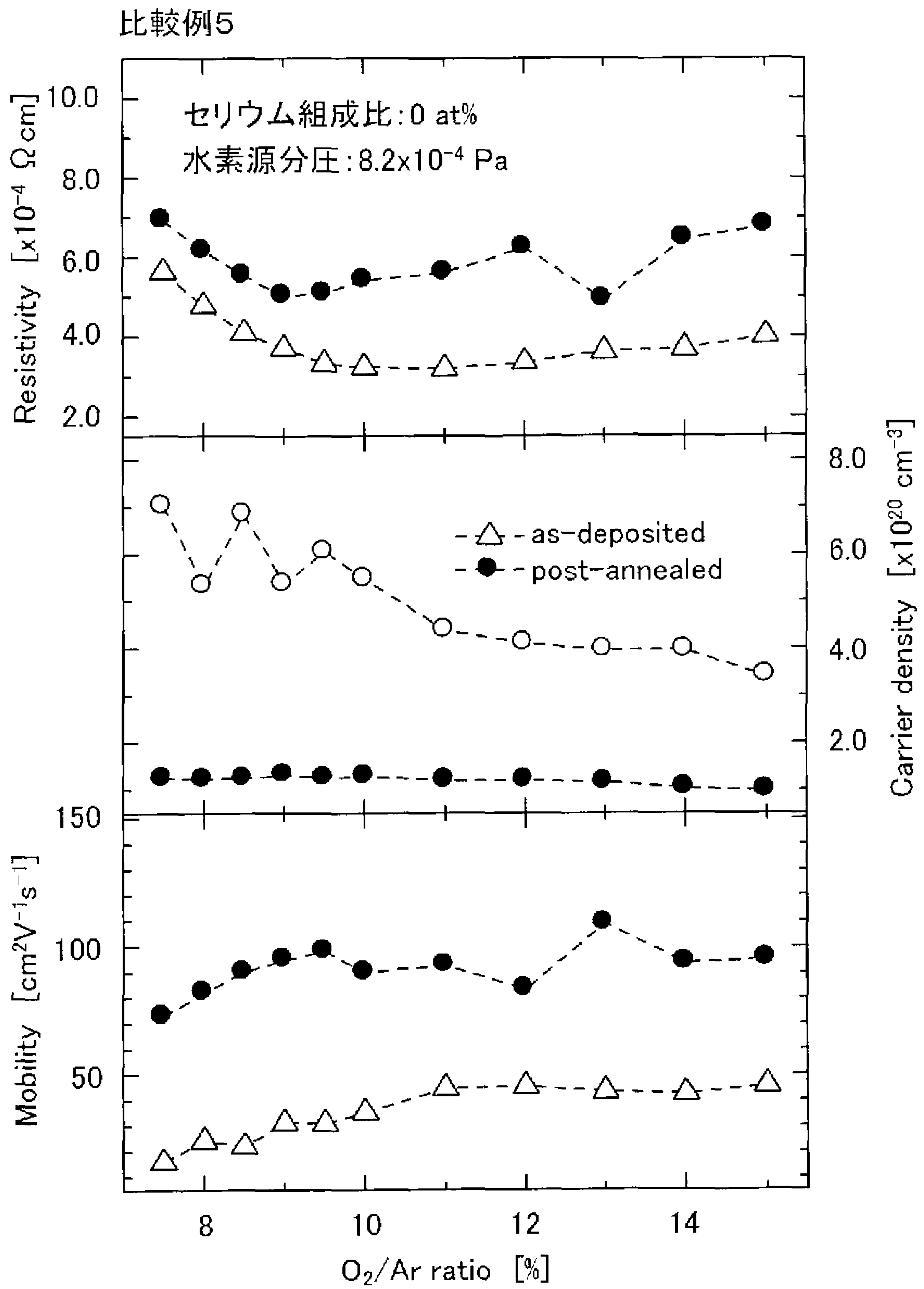


[図14]

比較例4 O ₂ /Ar ratio[%]	as-deposited			post-annealed		
	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm ⁻³]	Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm ⁻³]	Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]
7.5	6.31x10 ⁻⁴	5.26x10 ²⁰	18.8	3.24x10 ⁻⁴	2.68x10 ²⁰	71.8
8.0	5.59x10 ⁻⁴	5.62x10 ²⁰	19.9	2.53x10 ⁻⁴	2.57x10 ²⁰	96.1
8.5	5.20x10 ⁻⁴	5.05x10 ²⁰	23.7	2.37x10 ⁻⁴	2.47x10 ²⁰	107
9.0	5.02x10 ⁻⁴	4.76x10 ²⁰	26.1	3.13x10 ⁻⁴	2.57x10 ²⁰	77.5
9.5	4.85x10 ⁻⁴	4.33x10 ²⁰	29.7	2.93x10 ⁻⁴	2.50x10 ²⁰	85.1
10	4.91x10 ⁻⁴	4.41x10 ²⁰	28.8	4.52x10 ⁻⁴	2.52x10 ²⁰	54.8
11	4.90x10 ⁻⁴	4.38x10 ²⁰	29.1	5.76x10 ⁻⁴	2.09x10 ²⁰	51.9
12	5.46x10 ⁻⁴	3.70x10 ²⁰	30.9	5.78x10 ⁻⁴	2.16x10 ²⁰	50.1
13	5.72x10 ⁻⁴	3.47x10 ²⁰	31.4	9.06x10 ⁻⁴	1.52x10 ²⁰	45.4
14	5.94x10 ⁻⁴	3.03x10 ²⁰	34.6	9.02x10 ⁻⁴	1.53x10 ²⁰	45.3
15	6.89x10 ⁻⁴	2.46x10 ²⁰	36.8	9.61x10 ⁻⁴	1.43x10 ²⁰	45.4

セリウム組成比:0.7 at%
水素源分圧:1.2x10⁻³ Pa

[図15]

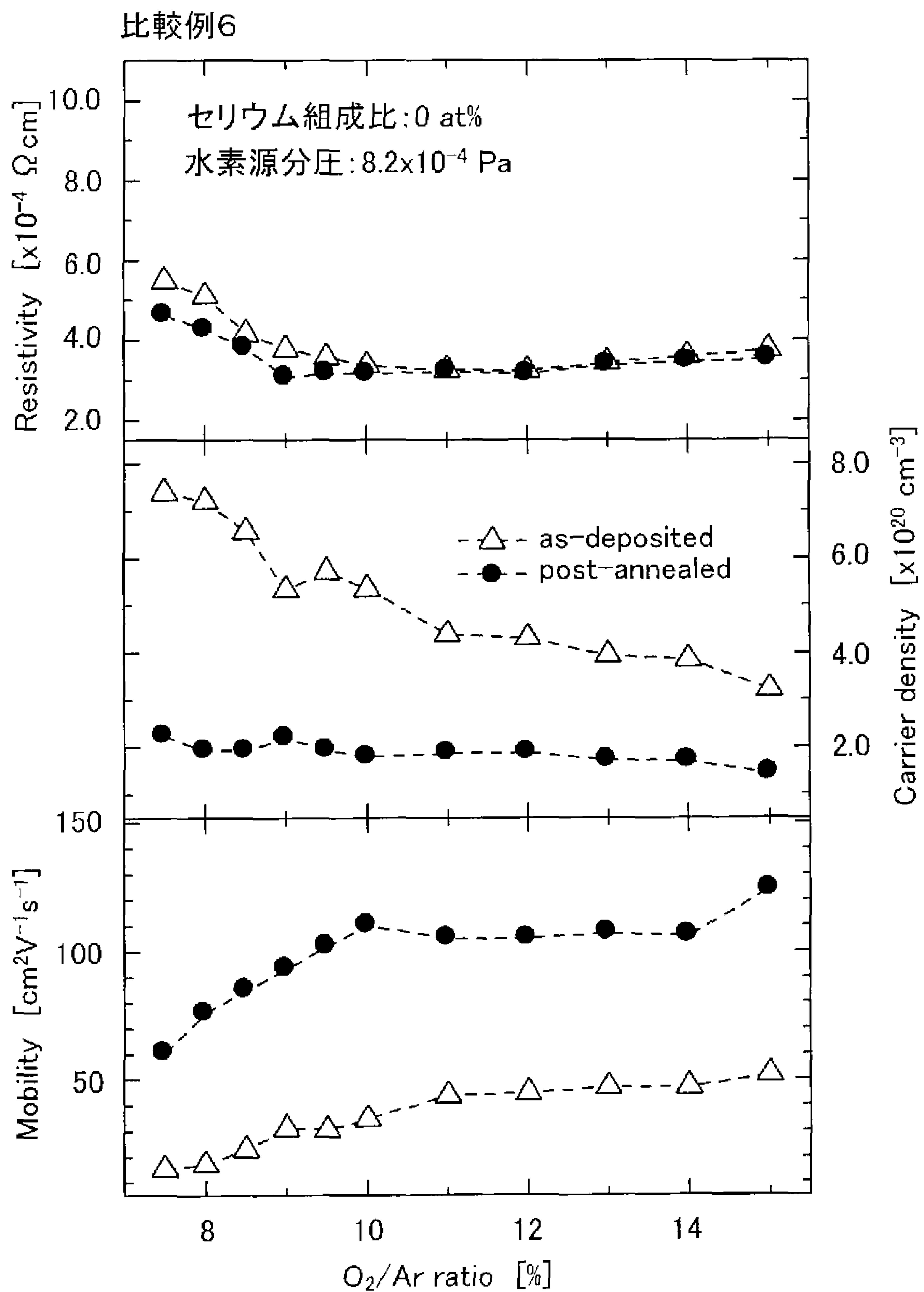


[図16]

比較例5	as-deposited			post-annealed		
	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm^{-3}]	Mobility [$\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$]	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm^{-3}]	Mobility [$\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$]
7.5	5.63×10^{-4}	7.02×10^{20}	15.8	6.92×10^{-4}	1.24×10^{20}	72.9
8.0	4.78×10^{-4}	5.34×10^{20}	24.5	6.15×10^{-4}	1.23×10^{20}	82.3
8.5	4.10×10^{-4}	6.85×10^{20}	22.2	5.54×10^{-4}	1.25×10^{20}	90.3
9.0	3.71×10^{-4}	5.37×10^{20}	31.3	5.02×10^{-4}	1.31×10^{20}	95.0
9.5	3.33×10^{-4}	6.05×10^{20}	31.0	5.08×10^{-4}	1.25×10^{20}	98.0
10	3.23×10^{-4}	5.47×10^{20}	35.3	5.42×10^{-4}	1.28×10^{20}	90.0
11	3.20×10^{-4}	4.38×10^{20}	44.8	5.60×10^{-4}	1.20×10^{20}	92.8
12	3.36×10^{-4}	4.10×10^{20}	45.4	6.23×10^{-4}	1.20×10^{20}	83.3
13	3.63×10^{-4}	3.96×10^{20}	43.5	4.92×10^{-4}	1.16×10^{20}	109
14	3.70×10^{-4}	3.96×10^{20}	42.6	6.45×10^{-4}	1.03×10^{20}	93.6
15	4.01×10^{-4}	3.40×10^{20}	45.7	6.77×10^{-4}	0.97×10^{20}	95.1

セリウム組成比: 0 at%
水素源分圧: 8.2×10^{-4} Pa

[図17]

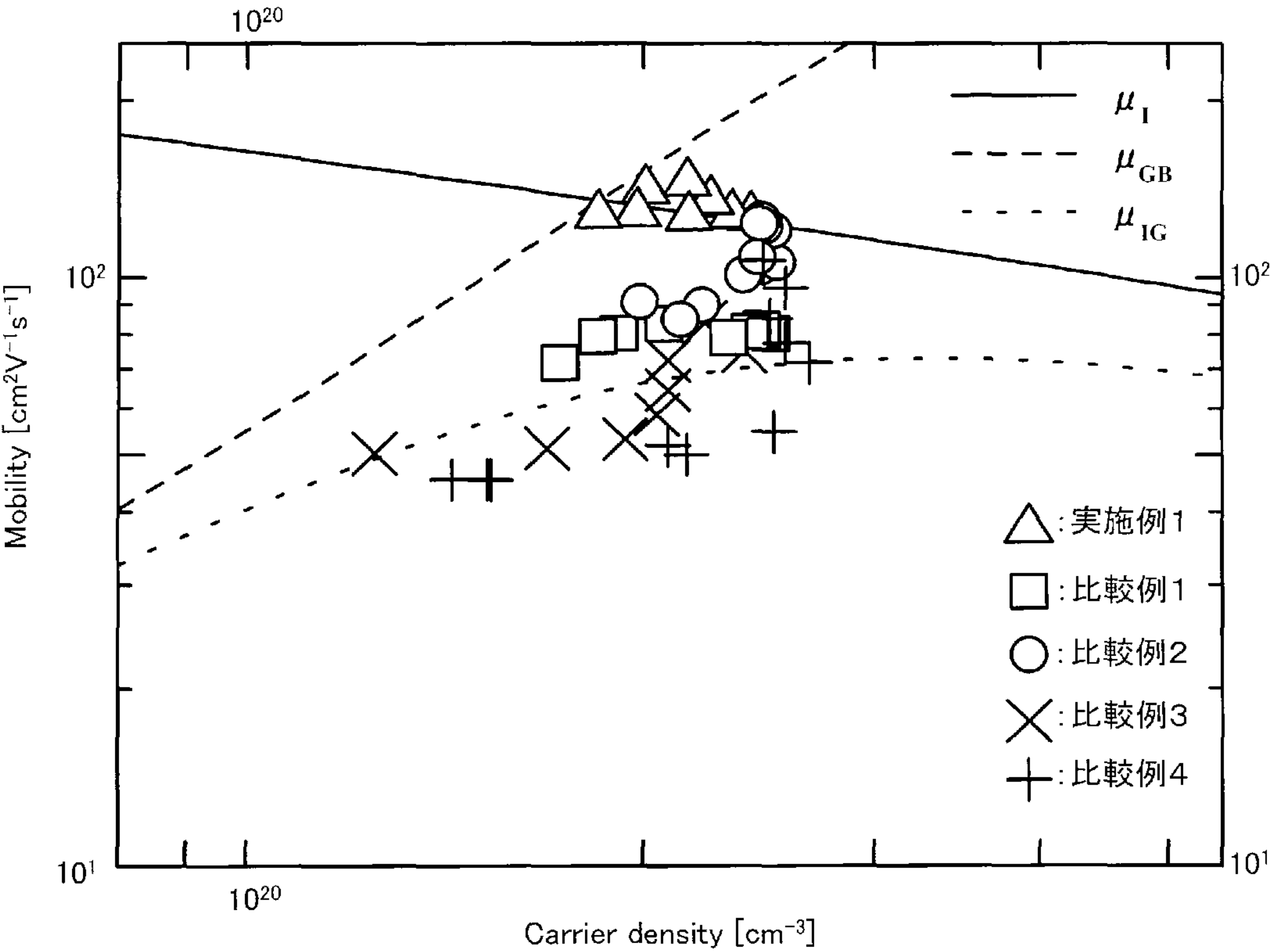


[図18]

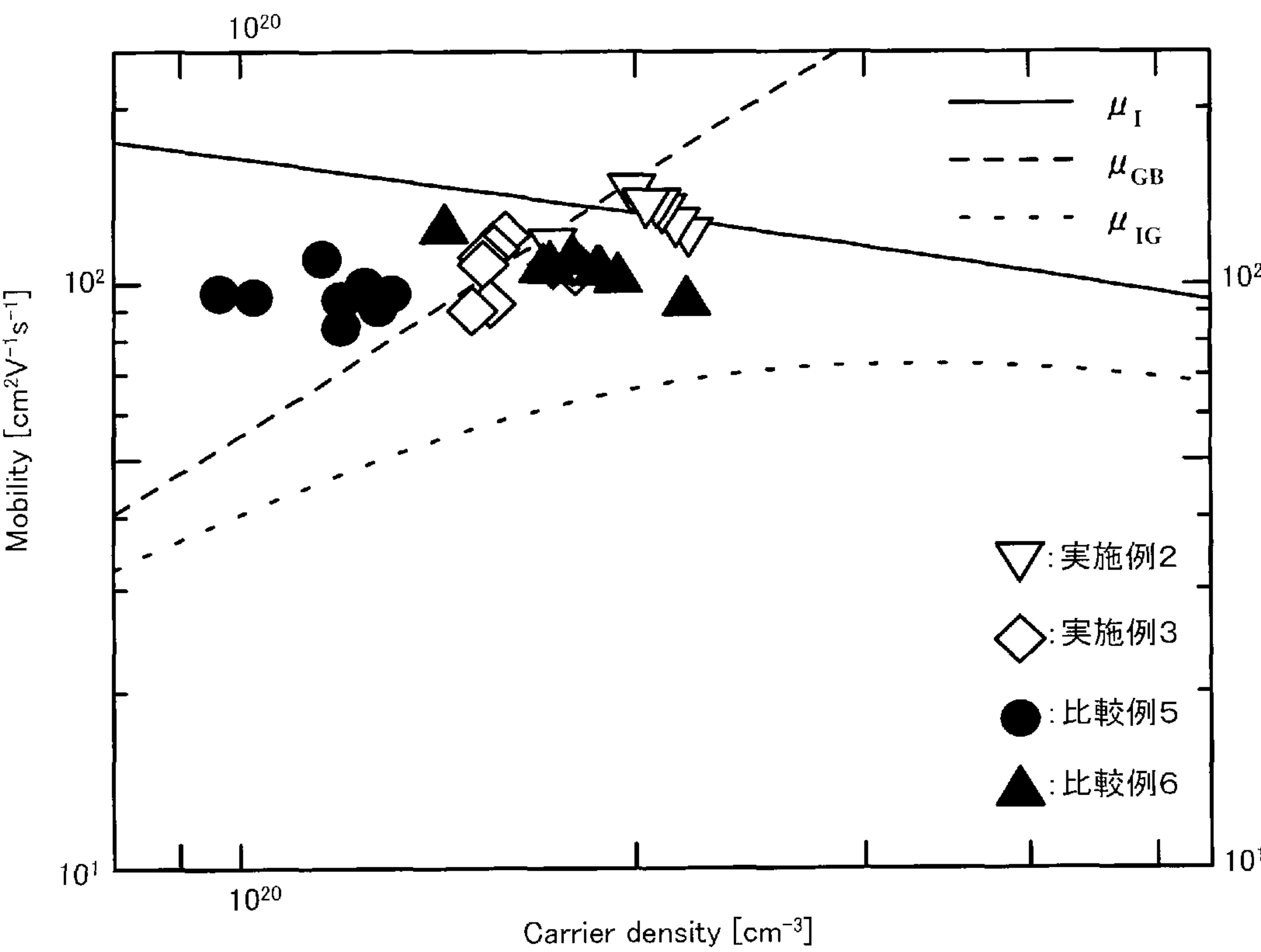
比較例6 O ₂ /Ar ratio[%]	as-deposited			post-annealed		
	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm ⁻³]	Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]	Resistivity [Ω cm]	Carrier Density [cm ⁻³]	Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]
7.5	5.48x10 ⁻⁴	7.40x10 ²⁰	15.4	4.62x10 ⁻⁴	2.23x10 ²⁰	60.6
8.0	5.10x10 ⁻⁴	7.21x10 ²⁰	17.0	4.26x10 ⁻⁴	1.93x10 ²⁰	75.9
8.5	4.16x10 ⁻⁴	6.57x10 ²⁰	22.6	3.80x10 ⁻⁴	1.93x10 ²⁰	84.9
9.0	3.77x10 ⁻⁴	5.34x10 ²⁰	31.0	3.06x10 ⁻⁴	2.19x10 ²⁰	93.1
9.5	3.57x10 ⁻⁴	5.73x10 ²⁰	30.5	3.17x10 ⁻⁴	1.94x10 ²⁰	102
10	3.36x10 ⁻⁴	5.36x10 ²⁰	34.7	3.15x10 ⁻⁴	1.79x10 ²⁰	110
11	3.24x10 ⁻⁴	4.39x10 ²⁰	43.8	3.19x10 ⁻⁴	1.87x10 ²⁰	105
12	3.23x10 ⁻⁴	4.31x10 ²⁰	44.9	3.15x10 ⁻⁴	1.88x10 ²⁰	105
13	3.43x10 ⁻⁴	3.94x10 ²⁰	46.9	3.38x10 ⁻⁴	1.72x10 ²⁰	107
14	3.58x10 ⁻⁴	3.85x10 ²⁰	47.1	3.44x10 ⁻⁴	1.70x10 ²⁰	106
15	3.74x10 ⁻⁴	3.22x10 ²⁰	51.8	3.51x10 ⁻⁴	1.43x10 ²⁰	124

セリウム組成比: 0 at%
水素源分圧: 1.2x10⁻⁴ Pa

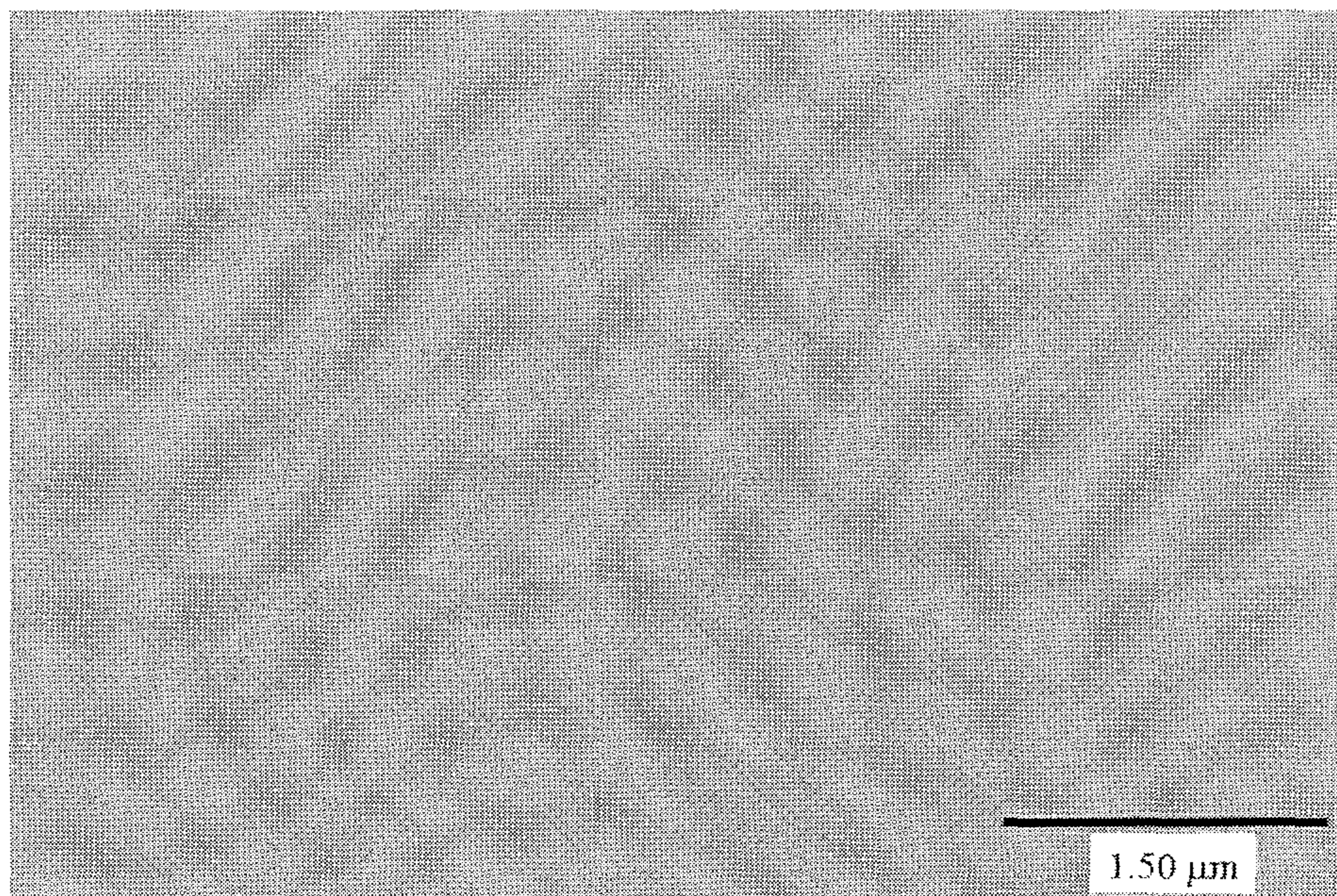
[図19]



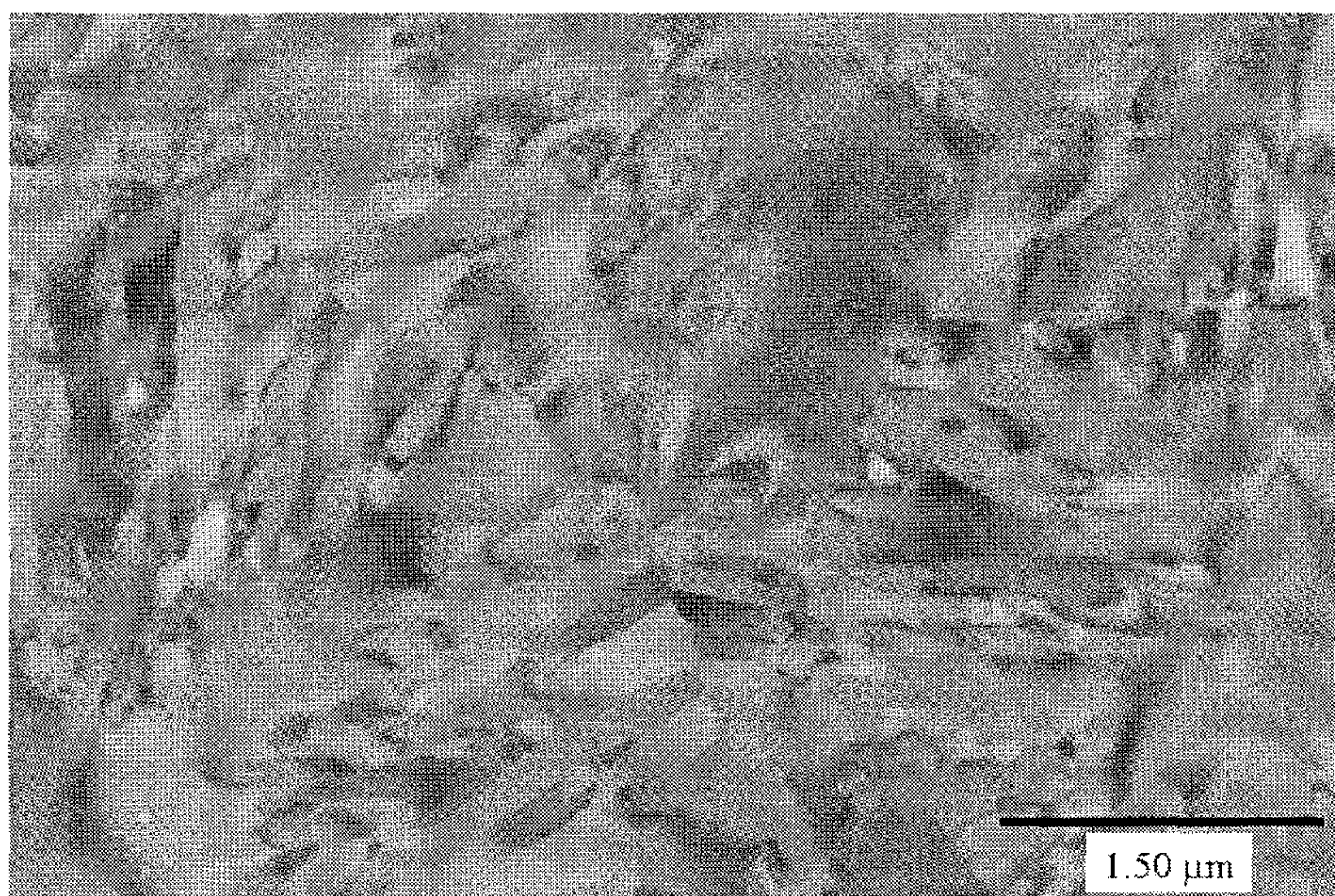
[図20]



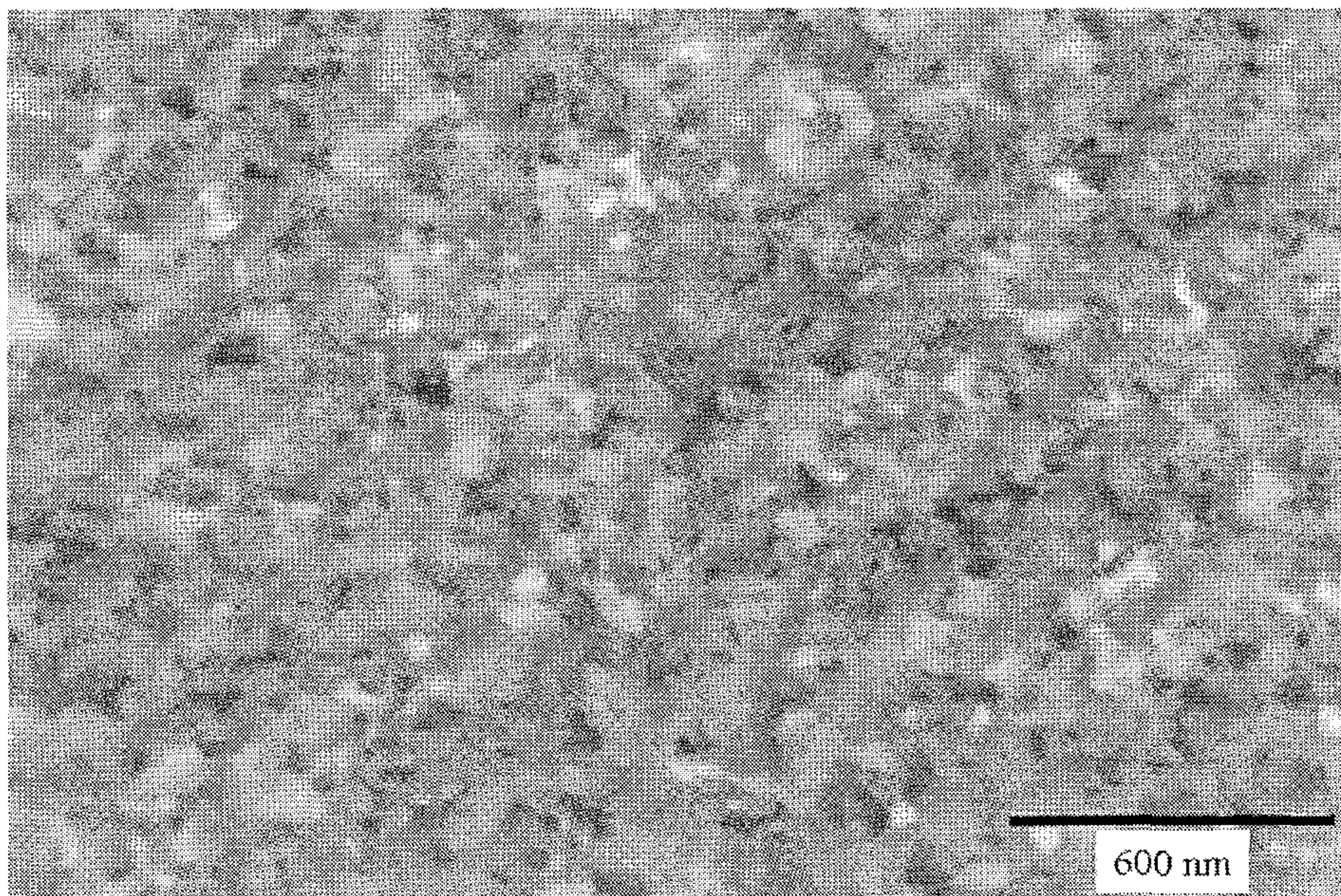
[図21]



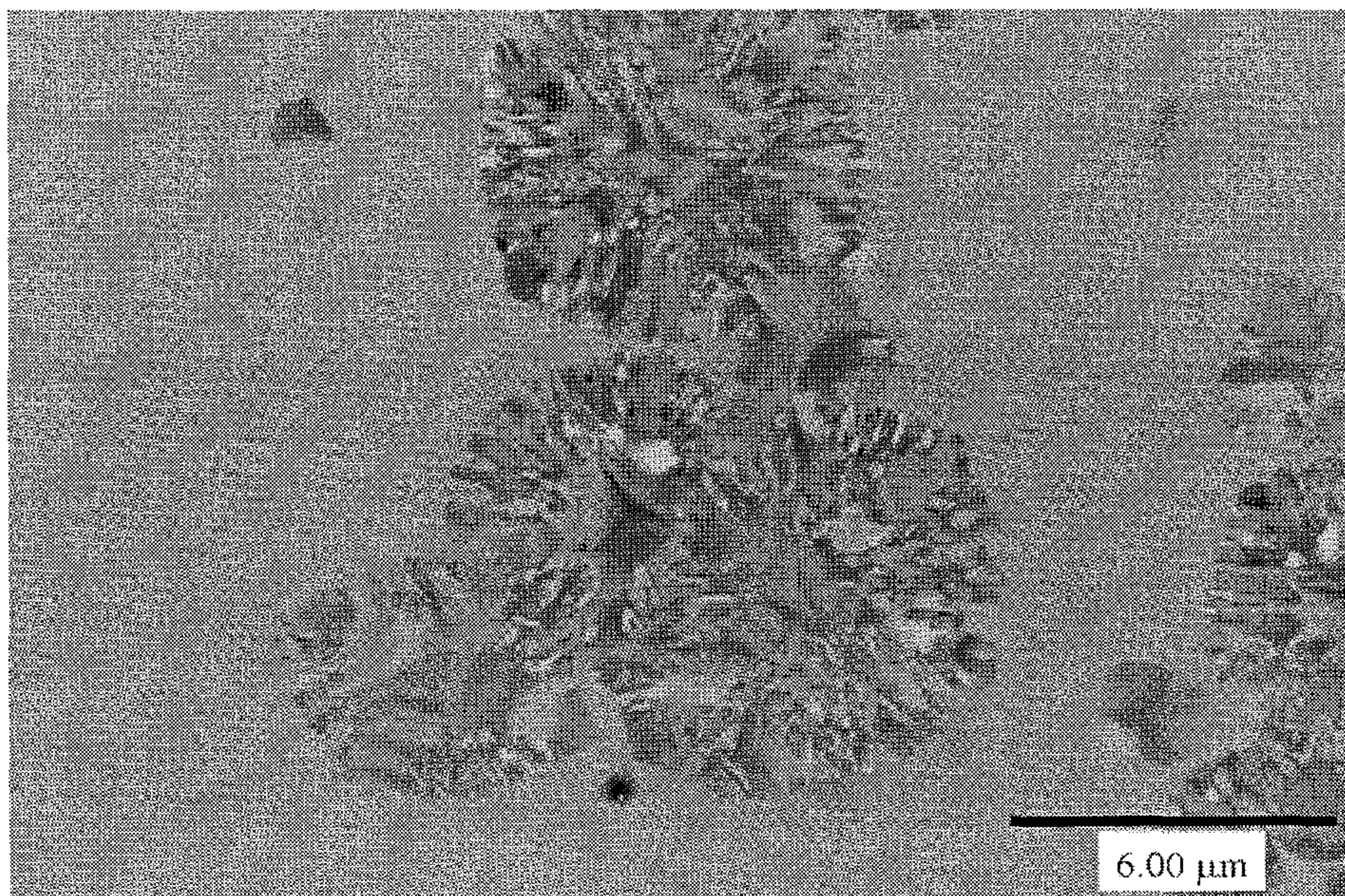
[図22]



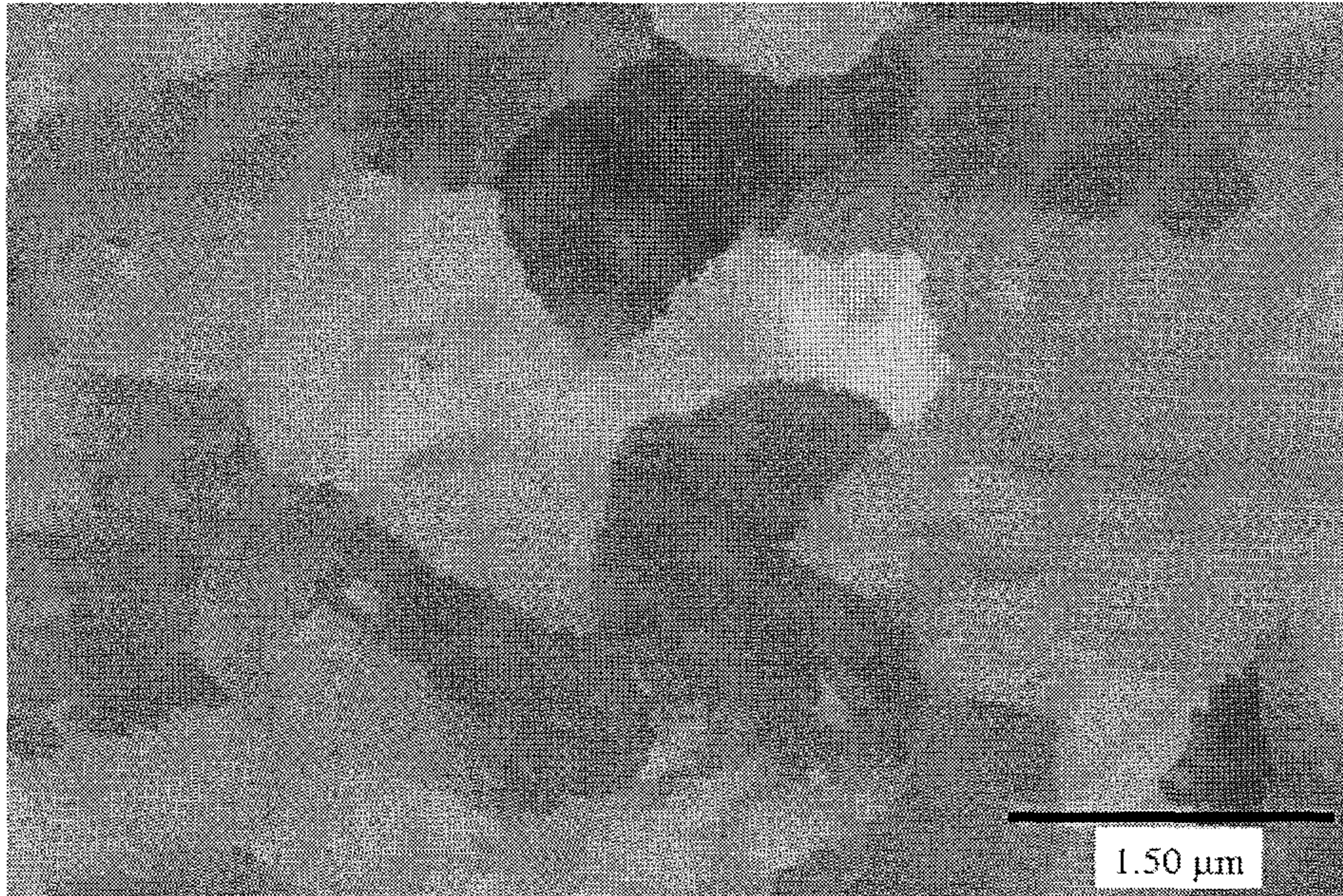
[図23]



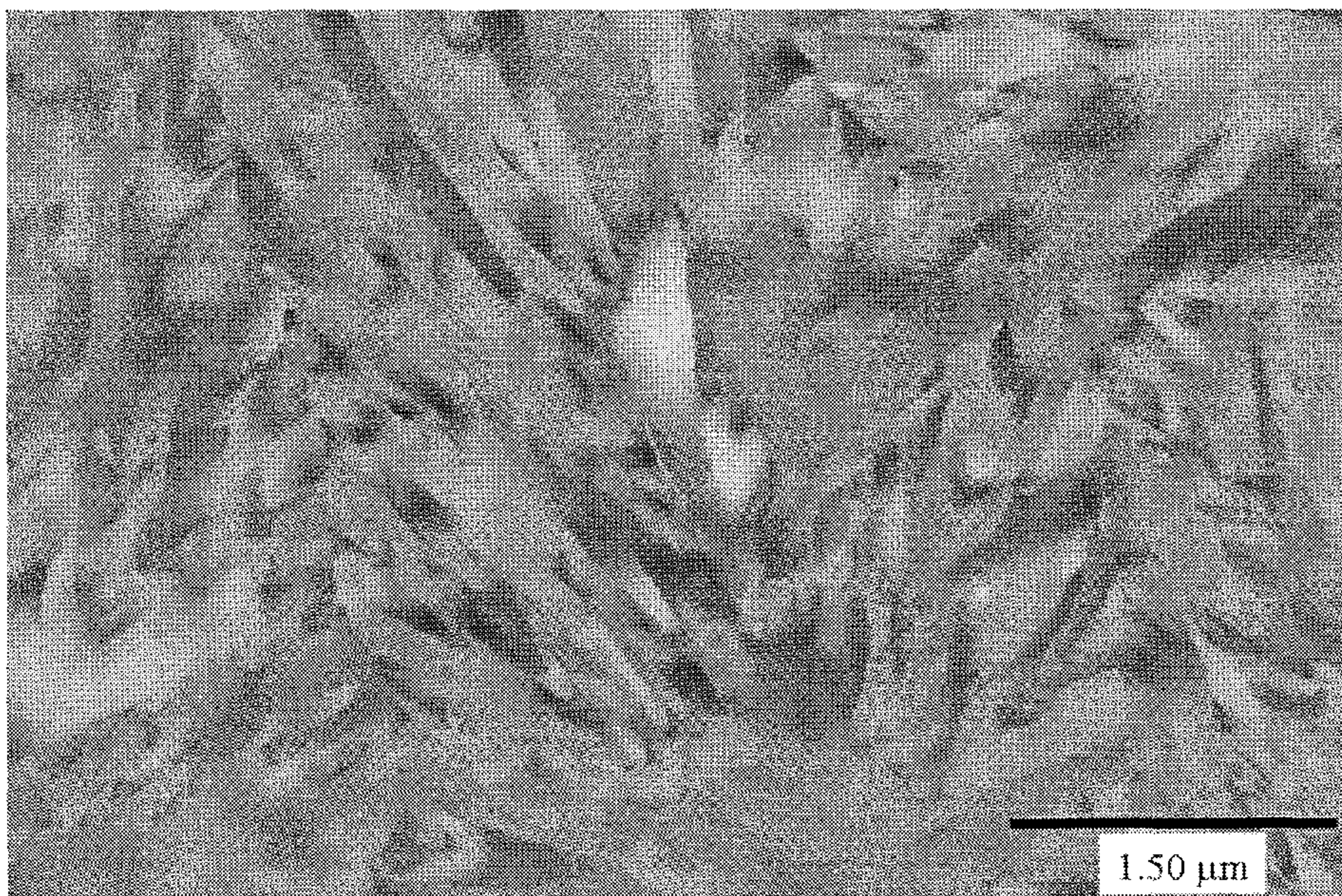
[図24]



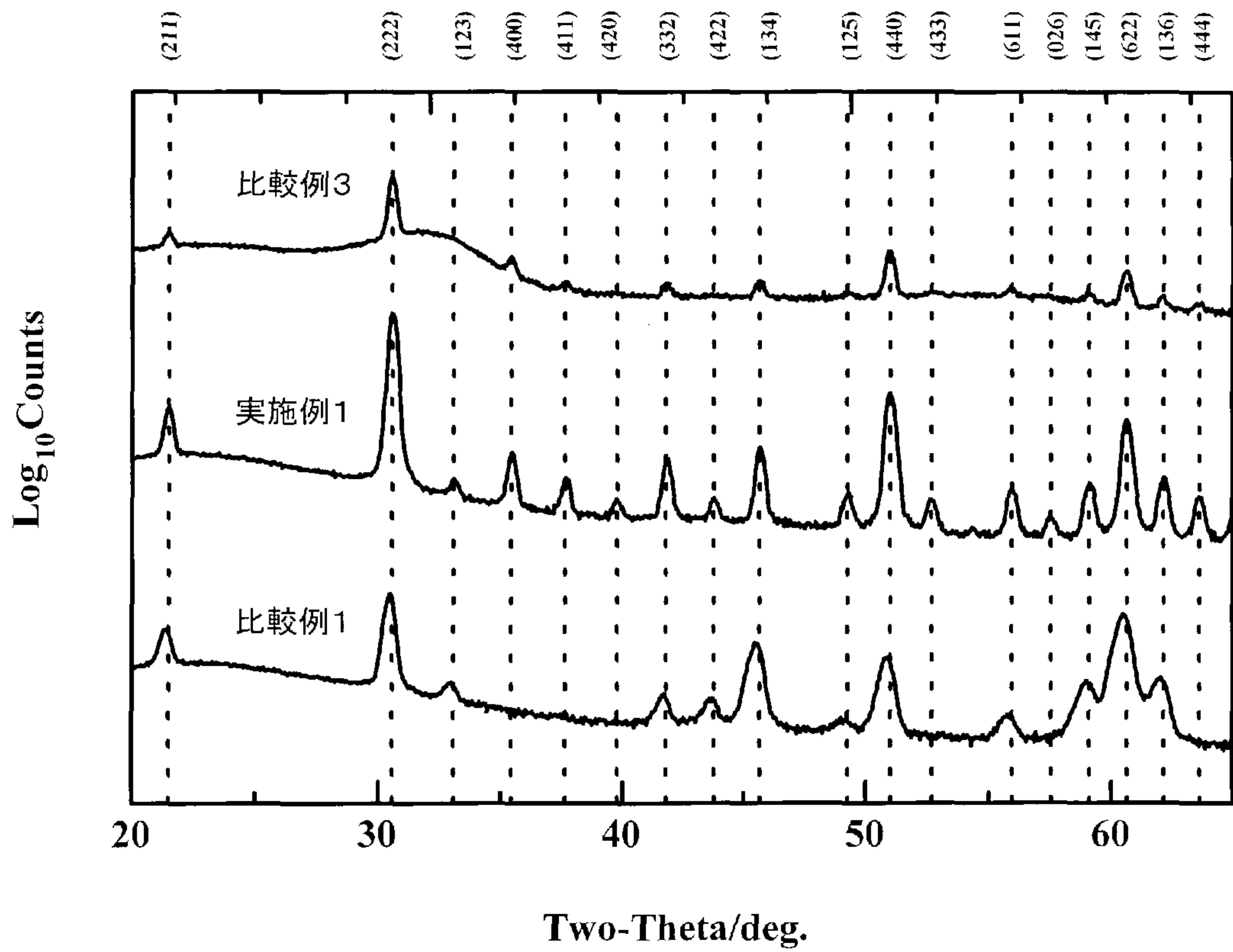
[図25]



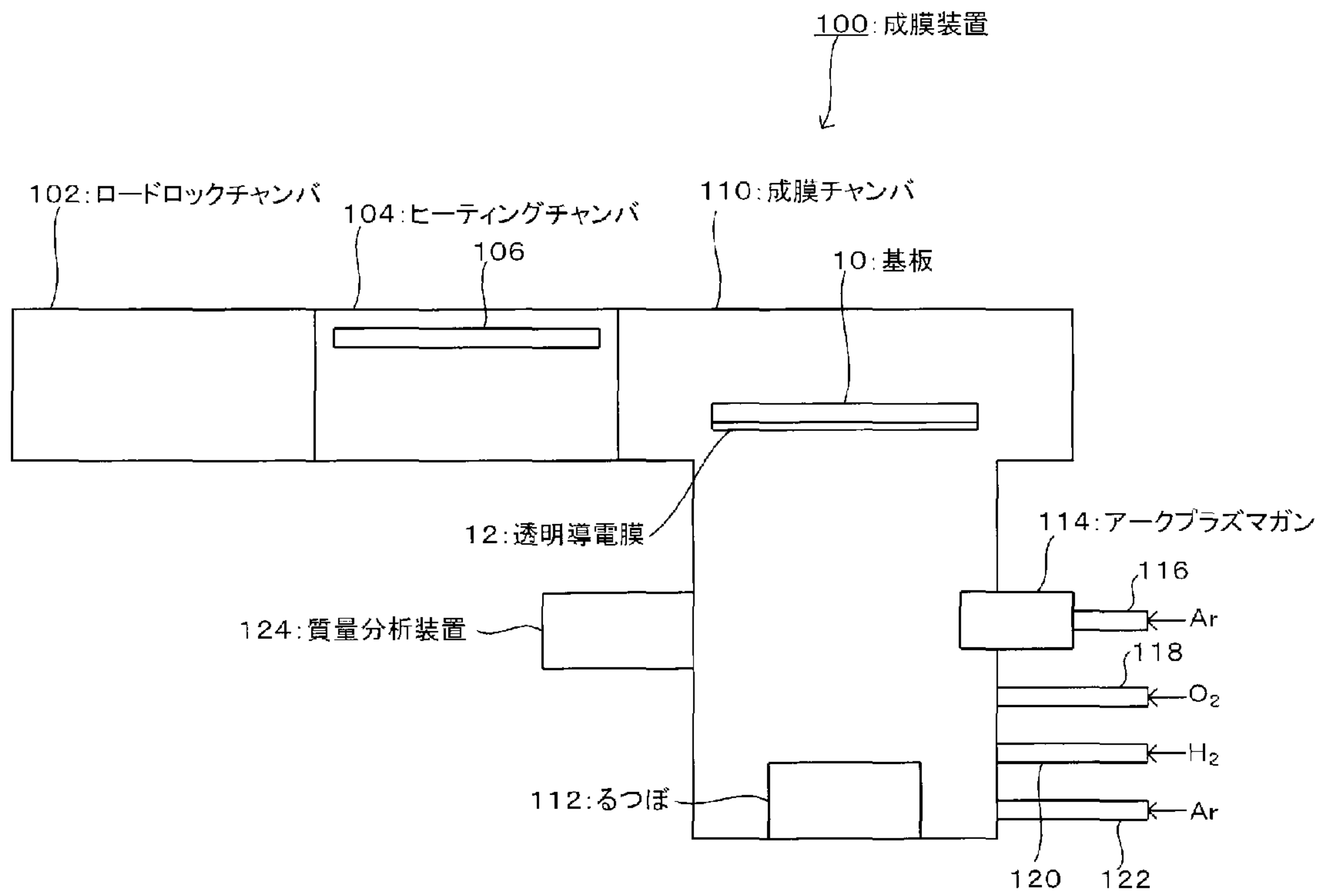
[図26]



[図27]



[図28]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/073214

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01B5/14(2006.01)i, C23C14/08(2006.01)i, G02F1/1343(2006.01)i, H01B13/00(2006.01)i, H01G9/20(2006.01)i, H01L31/0224(2006.01)i, H01L31/18(2006.01)i, H01L51/50(2006.01)i, H05B33/14(2006.01)i, H05B33/28(2006.01)i
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01B5/14, C23C14/08, G02F1/1343, H01B13/00, H01G9/20, H01L31/0224, H01L31/18, H01L51/50, H05B33/14, H05B33/28

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2015 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JDreamIII), JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2011/034143 A1 (Sanyo Electric Co., Ltd.), 24 March 2011 (24.03.2011), & US 2012/0174972 A1 & EP 2479763 A1 & CN 102498525 A & TW 201128661 A & KR 10-2012-0074276 A	1-6
A	WO 2011/115177 A1 (Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.), 22 September 2011 (22.09.2011), & JP 5561358 B2 & US 2012/0315439 A1 & DE 112011100972 T & CN 102792387 A & KR 10-2013-0029365 A & TW 201144457 A	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 November 2015 (12.11.15)

Date of mailing of the international search report

24 November 2015 (24.11.15)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/073214

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 8-245220 A (Hoya Corp.), 24 September 1996 (24.09.1996), & JP 9-101012 A & US 5622653 A1 & US 5681671 A1 & US 5843341 A1 & US 5955178 A1 & EP 686982 A1	1-6
A	JP 2012-253315 A (Idemitsu Kosan Co., Ltd.), 20 December 2012 (20.12.2012), & JP 2013-16866 A & JP 2013-102227 A & JP 2013-128128 A & JP 2013-145885 A & JP 2014-17496 A & US 8785927 B2 & WO 2012/090490 A1 & EP 2660868 A1 & TW 201232787 A & KR 10-2012-0124504 A & CN 103038889 A & KR 10-2013-0088143 A & CN 103354241 A & CN 103400751 A & CN 103474469 A & TW 201351662 A & TW 201351663 A & TW 201351664 A	1-6
P,A	KOBAYASHI,Eiji, WATABE,Yoshimi, and YAMAMOTO,Tetsuya "High-mobility transparent conductive thin films of cerium-doped hydrogenated indium oxide", Applied Physics Express, 2014.12.18, Vol.8 No.1, 015505	1-6

国際調査報告		国際出願番号 PCT／JP2015／073214	
A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H01B5/14(2006.01)i, C23C14/08(2006.01)i, G02F1/1343(2006.01)i, H01B13/00(2006.01)i, H01G9/20(2006.01)i, H01L31/0224(2006.01)i, H01L31/18(2006.01)i, H01L51/50(2006.01)i, H05B33/14(2006.01)i, H05B33/28(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H01B5/14, C23C14/08, G02F1/1343, H01B13/00, H01G9/20, H01L31/0224, H01L31/18, H01L51/50, H05B33/14, H05B33/28			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922－1996年 日本国公開実用新案公報 1971－2015年 日本国実用新案登録公報 1996－2015年 日本国登録実用新案公報 1994－2015年			
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語） JSTPlus (JDreamIII), JST7580 (JDreamIII)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
A	WO 2011/034143 A1（三洋電機株式会社）2011.03.24, & US 2012/0174972 A1 & EP 2479763 A1 & CN 102498525 A & TW 201128661 A & KR 10-2012-0074276 A	1-6	
A	WO 2011/115177 A1（住友金属鉱山株式会社）2011.09.22, & JP 5561358 B2 & US 2012/0315439 A1 & DE 112011100972 T & CN 102792387 A & KR 10-2013-0029365 A & TW 201144457 A	1-6	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 12.11.2015		国際調査報告の発送日 24.11.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA／JP） 郵便番号100－8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 小森 重樹 電話番号 03－3581－1101 内線 3477	4X 4145

C（続き）. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 8-245220 A（ホーヤ株式会社）1996. 09. 24, & JP 9-101012 A & US 5622653 A1 & US 5681671 A1 & US 5843341 A1 & US 5955178 A1 & EP 686982 A1	1-6
A	JP 2012-253315 A（出光興産株式会社）2012. 12. 20, & JP 2013-16866 A & JP 2013-102227 A & JP 2013-128128 A & JP 2013-145885 A & JP 2014-17496 A & US 8785927 B2 & WO 2012/090490 A1 & EP 2660868 A1 & TW 201232787 A & KR 10-2012-0124504 A & CN 103038889 A & KR 10-2013-0088143 A & CN 103354241 A & CN 103400751 A & CN 103474469 A & TW 201351662 A & TW 201351663 A & TW 201351664 A	1-6
P, A	KOBAYASHI, Eiji, WATABE, Yoshimi, and YAMAMOTO, Tetsuya “High-mobility transparent conductive thin films of cerium-doped hydrogenated indium oxide” , Applied Physics Express, 2014. 12. 18, Vol. 8 No. 1, 015505	1-6