

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：基板研究 (B)

研究期間：2005～2008

課題番号：17360005

研究課題名 (和文) 金属-水素配位空間における電気伝導機構とその制御

研究課題名 (英文) Physics and engineering of electronic conduction in hydrogen-metal systems

研究代表者

酒井 政道 (SAKAI MASAMICHI)

埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：40192588

研究成果の概要：

水素吸蔵能力の最も高い元素のひとつであるイットリウム(Y)に注目し、Y格子中への水素侵入の仕方が格子定数、誘電関数、電気抵抗率、ホール係数に及ぼす影響を調査した。定比組成(YH<sub>2</sub>)からの水素濃度変位は、i) 格子定数を殆ど変化させないが、誘電関数すなわち電子構造に影響すること、ii) 残留抵抗の変動を通じてホール係数の変動を誘起すること、iii) このとき、残留抵抗とホール係数との間に線形な相関が成立することが分かった。この相関の原因として、正孔濃度≒電子濃度、正孔移動度≒電子移動度という特性もつ両極性伝導機構を提案し、このモデルと磁気抵抗測定によって、YH<sub>x</sub>(x≒2)のキャリアの濃度と移動度を評価した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	8,700,000	0	8,700,000
2006年度	3,100,000	0	3,100,000
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	13,300,000	450,000	13,750,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用物性・結晶工学

キーワード：水素、希土類元素、輸送係数、ホール係数、比抵抗、両極性伝導、誘電関数

## 1. 研究開始当初の背景

金属-水素系の中でも、特に希土類元素と水素の組み合わせは、高い水素吸蔵特性が注目されて、ヨーロッパを中心に活発な研究が展開されていた。その象徴的な出来事は、可視光に対する全反射相と透明相の2相間スイッチングを可逆的に引き起こすことが水素濃度の調整によって可能になるというオランダのグループからの報告であった。この発見を、水素貯蔵という受動型デバイスから能動型機能デバイスへのパラダイムシフトの兆しと受け止めた研究者は少なくなかった。

精緻な能動デバイスを水素吸蔵能力の高

い希土類元素(R)と水素(H)によって構成するには、しかしながら、金属格子中の水素配位モフォロジーというこの系特有の問題に留意する必要がある。例えば、実際のR-H系では、RH<sub>2</sub>、RH<sub>3</sub>のような定比組成だけでなく、非定比組成も安定に存在する。これはTサイトやOサイトに水素欠損が発生していることを意味している。HがTあるいはOサイトを部分的に占有する仕方には、多くの自由度があり、またHの原子サイズ・質量に鑑みれば、Hの配置の仕方は時間的にも空間的にも揺らいでいると考えられる。R-H系をターゲットにした研究ではこのような水素配置の揺ら

ぎが電気伝導や光学応答に与える影響を充分把握する必要があるが、このような観点からの研究は当初 X 線・中性子による構造研究を除いて殆どなく、例えば、 $\text{YH}_2$  のホール係数すら明らかにされていない。ホール係数には電気伝導を担うキャリアの符号や濃度などが反映し、比抵抗と並んで重要な輸送係数である。我々の先行研究によって、定性的ではあるが、 $\text{YH}_x$  ( $x \approx 2$ ) では電子と正孔の両方が電気伝導に寄与することが指摘されていた。

## 2. 研究の目的

我々の先行研究によって指摘されていた  $\text{YH}_x$  ( $x \approx 2$ ) の両極性伝導の原因が二価金属にみられるバンド構造由来の補償効果なのか、半金属的電子構造によるものか、あるいは水素欠損・過剰効果なのかどうかを明確にすることが目的である。具体的には、(i) キャリヤ濃度、有効質量、緩和時間を電子と正孔それぞれについて評価し、(ii) どのような物質条件(金属元素の種類、水素濃度、結晶粒径)がどの伝導パラメータに影響を与えるのかを磁気電気輸送特性と磁気プラズマ波の伝播特性にもとづいて調査し、(iii) これらの結果から両極性伝導の発現メカニズムを明らかにすることである(申請時目的)。

## 3. 研究の方法

希土類金属(主に Y と Sm)を成膜後、それらを水素化し、化学組成と結晶構造を明らかにしたうえで、(1)水素モフォロジーと比抵抗の関係、(2)水素モフォロジーとホール抵抗の関係、(3)ホール係数と比抵抗(残留抵抗)との相関関係、(4)ホール係数と比抵抗(フォノンによるキャリア散乱)との相関関係、(5)ホール係数の制御、(6)横磁気抵抗、(7)  $\text{YH}_x$  の光学応答と誘電関数、(8)  $\text{SmH}_x$  の光学応答と誘電関数について調査した。

## 4. 研究成果

### (1)水素モフォロジーと比抵抗

金属相  $\text{YH}_x$  における比抵抗(以下  $\rho_0$ ) の H/Y 比依存性については、本研究開始直前(2004 年度)の時点で室温における結果を公表していたので、本研究では 77K について調べた。その結果、室温の場合と同様、 $\rho_0$  が  $\text{H/Y} \approx 1.9$  で最小値を示すことが確認された。一方、 $\rho_0$  の室温(295 K)値と 77K 値との差には H/Y 比依存性が殆どないことが分かった。したがって、作製した  $\text{YH}_x$  結晶では、残留抵抗成分が H/Y 比に顕著に依存し、それが  $\text{H/Y} \approx 1.9$  で最小値を示すことが分かる。

残留抵抗の原因のひとつは、背景で述べたような T 及び O サイト水素欠陥である。H/Y=2 以下では T サイト水素欠損が存在し、H/Y=2 以上では O サイトが部分的に占拠さ

れ、その占有位置が不規則になることため、原理的には H/Y=2 のときに残留抵抗が最も小さくなる。このとき T サイトが予め不純物で占拠されている場合には、T サイト占有から O サイト占有への移行濃度が H/Y=2 以下となるので、この解釈に従うと、作製された結晶には約 5%の不純物が含まれることになる。しかしながら、我々の Rutherford Back Scattering, Hydrogen Forward Scattering, XPS による化学分析では 5%の不純物は検出されていない。したがって T サイト占有から O サイト占有の移行濃度が  $\text{H/Y} \approx 1.9$  となる原因には不純物効果以外にエントロピー効果も考えられる。

### (2) 水素モフォロジーとホール抵抗

弱磁場条件下ではホール抵抗は磁場に比例し、その比例係数であるホール係数(以下  $R_H$ )は、金属の場合では、主にフェルミ面の曲率やトポロジーに依存して決まる。ドローデ描像で言えば、キャリアの符号、有効質量や移動度、あるいはキャリアの種類の数に強く依存するのが  $R_H$  である。例として図 1 に  $\text{YH}_x(x=1.97)$  における室温ホール抵抗の磁場依存性を示す。このように明確な磁場依存性が測定できたのは本研究がはじめてである。Y 単体の室温  $R_H$  が約  $-5.0 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{C}$  であるのに対して、作製した  $\text{YH}_x(x=1.97)$  における室温  $R_H$  は、約  $6.0 \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$  であった。水素化によって  $R_H$  の符号が変化すると共に、絶対値が約 10 分の 1 に減少することから、水素化は、フェルミ面はもとより電子構造に顕著な変化をもたらすと云える。

本研究では  $\text{YH}_x$  の  $R_H$  の精密測定にはじめて成功しただけでなく、その H/Y 比依存性に関する知見を得ている。さまざまな H/Y 比について調べた結果、室温  $R_H$  は H/Y 比によって変化するが、 $\text{H/Y} \approx 1.9$  で最小値を示すことが分かった。低温下(77K)でも同様なふるまいを示すことが見出された。 $R_H$  の H/Y 比依存性は、前述した  $\rho_0$  のそれとほぼ同じということになる。

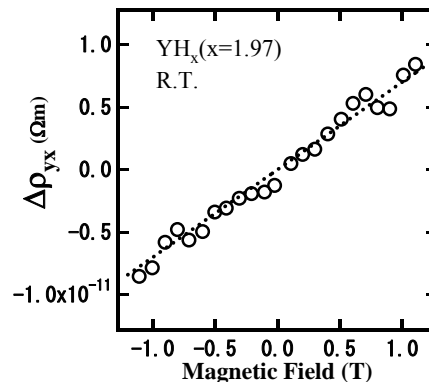


図 1  $\text{YH}_x$  ( $x = 1.97$ ) における室温ホール抵抗の磁場依存性

(3)ホール係数と比抵抗との相関関係：残留抵抗

図2は $\rho_0$ を横軸に、 $R_H$ を縦軸にしてさまざまなH/Y比についてまとめたものである。この図から分かるように二つの輸送係数間には一次式で表される明確な相関が観測される。その関係は室温のみならず低温下(77 K)でも成立することが確認された(図2)。このような相関のために、 $R_H$ が $\rho_0$ と同様のH/Y比依存性を示すと考えられる。

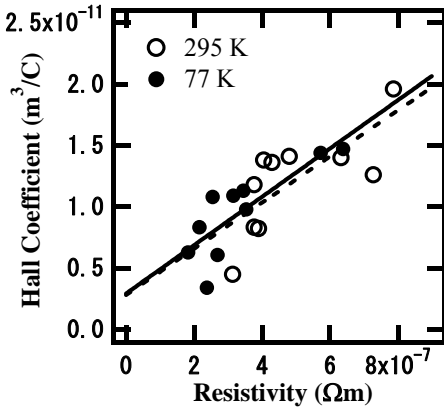


図2 様々なH/Y比をもつ $YH_x$  ( $1.75 < x < 2.05$ )において観測されたホール係数を比抵抗に対してプロットしたもの。破線(実線)は(3-4)式にもとづく室温(77K)データへの最小二乗フィッティング。

$\rho_0$ と $R_H$ にはフェルミ面近傍の電子のもつ諸性質が反映するものの、反映の仕方は全く異なるので、通常、両者間には単純な関係は存在しない。 $YH_x$ におけるどのような特殊事情がこれらの輸送係数間に図2のような相関をもたらすのだろうか。この点は、 $YH_x$ における電気伝導機構に密接に拘わる問題である。相関の原因を検討するにあたり、本研究では、電気伝導をドルーデモデルによって検討した。その結果、正孔の他に電子も同時に電気伝導に寄与し、それらの濃度と移動度にそれぞれ

$$\text{正孔濃度} \doteq \text{電子濃度} \quad (3-1)$$

$$\text{正孔移動度} \doteq \text{電子移動度} \quad (3-2)$$

を仮定すると、図2のふるまいを説明できることが分かった。その理由は以下のとおりである。

ドルーデモデルに基づけば、正孔と電子が伝導に寄与する場合には、 $R_H$ は

$$R_H = -e \frac{n_e \mu_e^2 - n_h \mu_h^2}{(-en_e \mu_e + en_h \mu_h)^2} \quad (3-3)$$

で与えられる。ただし、 $n_e$  ( $n_h$ )は電子(正孔)濃度、 $\mu_e$  ( $\mu_h$ )は電子(正孔)移動度

である。(3-1)と(3-2)式が成立する場合、 $n_e$ と $n_h$ の僅かな違いを $\Delta n$ 、また $\mu_e$ と $\mu_h$ の僅かな違いを $\Delta \mu$ とすると、(3-3)式は

$$R_H \approx (\Delta \mu) \rho_0 + \frac{\Delta n}{e(2n)^2} \quad (3-4)$$

と近似でき、 $R_H$ が $\rho_0$ の一次関数として表現される。これは図2に対応している。このように(3-1)と(3-2)式を仮定すると、図2の相関が説明できる。(3-4)式を使ってグラフの傾きと切片を最小二乗法で求めると、 $\Delta \mu$  (RT)  $\doteq 1.9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/(\text{Vs})$ 、 $\Delta \mu$  (77K)  $\doteq 2.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/(\text{Vs})$ 、 $\Delta n/(4en^2)$  (RT)  $\doteq 2.8 \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$ 、 $\Delta n/(4en^2)$  (77K)  $\doteq 2.9 \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$ のように、室温と77 Kではほぼ等しい値が得られる。このことは相関関係の詳細が温度に依存しないことを意味する。

(3-1)と(3-2)式を(3-3)式に代入すると、第ゼロ近似では $R_H \doteq 0$ である。実際、 $YH_x$ の $R_H$ の絶対値は通常金属と比較して30分の1~10分の1であり、値が極端に小さい。このことから(3-1)と(3-2)式が成立している可能性は高いと考えられる。

(4)ホール係数と比抵抗との相関関係：フォノンによるキャリア散乱

上述の(1)で述べたように $YH_x$ の $\rho_0$ のうちH/Y比依存性を示すのは残留抵抗であり、格子振動によるキャリア散乱由来の比抵抗成分は殆どH/Y比に依らない。したがって図2から直接いえることは $R_H$ が残留抵抗と相関をもつということである。これに対して、(3-4)式中の $\rho_0$ にはなんら制限がなく、どのような散乱機構、例えば格子振動による散乱でも、それによって発生した $\rho_0$ と $R_H$ 間には1次の相関が成り立つことを意味する。したがって、 $\rho_0$ と $R_H$ の温度依存性を同時に調べることによって、(3-4)式、すなわち、(3-1)と(3-2)式が散乱機構に無関係に成立するかどうかを判定することができる。 $YH_x$  ( $x=2.04$ )に関する測定の結果、100~250 Kの温度範囲で、概ね(3-4)式に従う傾向が観測された。この場合、 $\Delta \mu \doteq 5.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/(\text{Vs})$ 、 $\Delta n/(4en^2) \doteq -2.1 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{C}$ であった。250~300 Kでは(3-4)式に従う傾向は観測されないが、この温度領域では $\Delta \mu$ が変化しているためと考えられる。

(5)ホール係数の制御について

上述の(3)と(4)の結果から結論できることは、 $YH_x$  ( $1.70 < x < 2.05$ )ではキャリアの散乱機構のタイプによらず(3-4)式が成立しているということである。この特性は、 $\rho_0$ の変化を介して $R_H$ を制御できることを意味している。例えば、結晶品質を向上させて残留抵抗を下げることができれば、これまで以上に $R_H$ を小さくすることができるし、逆に、本来

の電子状態を壊さない範囲で残留抵抗を増加させれば大きな  $R_H$  を得ることも可能である。ただし現状の  $R_H$  すら通常の金属に比べると極端に小さいので、これ以上小さくなると、ホール電圧が小さくなり測定が困難になる。そこで、本研究では、結晶に機械的に引張強度を与えて転位を導入することによって、強制的に残留抵抗を増加させた。その結果、全体の  $\rho_0$  を約 2.4 倍にすると、 $R_H$  は約 10 倍増加するという **super-linear** な関係が見出され、 $\rho_0$  の変化を介して  $R_H$  を制御できることが実証できた。このとき、変化の仕方が(3-4)式と一致しないのはドルーデモデルの限界と考えられる。

(6) 磁気抵抗について

(3-1)と(3-2)式が成立するとき、ドルーデモデルによると縦抵抗率には

$$\rho_{xx} \approx \rho_0 (1 + \mu^2 B^2) \quad (3-5)$$

のようなふるまいが期待されるので、磁気抵抗  $\Delta \rho_{xx}$  の測定から移動度  $\mu$  を評価することができる。例として図 3 に  $YH_x(x=1.97)$  における室温  $\Delta \rho_{xx}$  の磁場依存性を示す。この結果に(3-5)式を使って得られる移動度とキャリア濃度はそれぞれ  $3.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/(\text{Vs})$ ,  $1.9 \times 10^{27} \text{ m}^{-3}$  である。

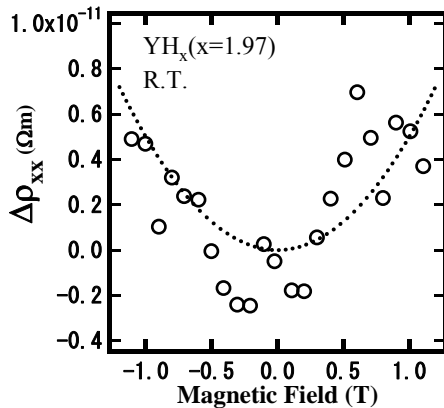


図 3  $YH_x(x=1.97)$  における室温磁気抵抗の磁場依存性(白丸). 破線は(3-5)式による最小二乗フィッティング.

(7) 光学応答と誘電関数:  $YH_x$  の場合

本研究では専ら、ドルーデモデルを用いた半古典論的方法で伝導機構を解析してきたが、厳密にはフェルミ面形状まで遡って検討すべきであることは言うまでもない。 $YH_2$  のフェルミ面形状はバンド計算から推定されているので、それを用いて直接  $R_H$  を計算すれば、測定結果と比較することができる。本研究では、これまでに報告されている  $YH_2$  のバンド計算の信頼性を調べるために、室温反射スペクトルを中赤外から深紫外(フォトンエネルギー0.05~6.0 eV)の範囲で測定し、

それを(i) Kramers-Kronig (KK) 解析法と(ii) モデル誘電関数による分散解析法の二通りの方法によって、誘電関数の実部と虚部を求めた。例として図 4 に  $YH_x(x=1.97)$  の室温反射スペクトルを KK 変換して得られた誘電関数の実部(実線)と虚部(破線)を示す。自由担体からの寄与によるドルーデ構造以外に主に 2 つのピーク構造が深紫外と可視領域に観測された。これらは観測されたピークは、それぞれバンド計算から予測される遷移エネルギーにほぼ一致する。

さまざまな  $H/Y$  比について同様にして誘電関数を評価した。その結果、ピーク A と B のエネルギー位置は、 $1.7 < H/Y < 1.9$  の範囲では  $H/Y$  比の増加と共に低下するが、 $H/Y=1.9$  以上では殆ど変化しないことが分かった。このことは  $YH_2$  のバンド構造を決定付けているのは、O サイト水素ではなく T サイト水素であることを意味している。

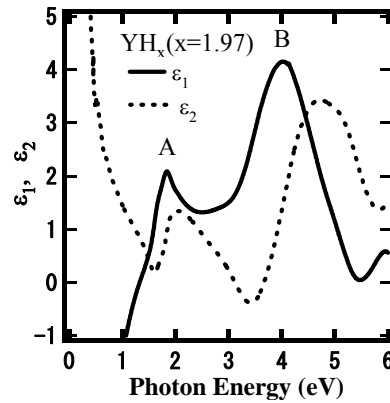


図 4  $YH_x(x=1.97)$  の室温反射スペクトルを KK 変換して得られた誘電関数の実部(実線)と虚部(破線)

(8) 光学応答と誘電関数:  $SmH_x$  の場合

本研究では、 $SmH_x$  についても(7)と同様な誘電関数解析を行った。例として図 5 に  $SmH_x(x=2.28)$  の室温反射スペクトルを KK 変換して得られた誘電関数の実部(実線)と虚部(破線)を示す。自由担体からの寄与によるドルーデ構造以外に 2 つのピーク構造が紫外と可視域に観測された。これらの二つのピークは  $YH_x$  における(図 4)ピーク A と B に対応すると考えられる。ドルーデ構造からプラズマ周波数を見積もると、約 1.7 eV であり、報告されているキャリア濃度を用いると有効質量として  $10m_0$  が得られる。

いくつかの  $H/Sm$  比について誘電関数を評価した結果、調査した水素濃度範囲 ( $2.25 < H/Y < 2.6$ ) では  $H/Sm$  比の増加と共に i) ピーク B のエネルギー位置が顕著に低下し、ii) ピーク A の遷移強度が減少し、iii) 自由担体のプラズマ周波数が減少すること

が分かった. このように電子構造は水素濃度によって変動を受けるのに対して、格子定数は殆ど変化しないこと(変動率は0.04%以下)が確認された.

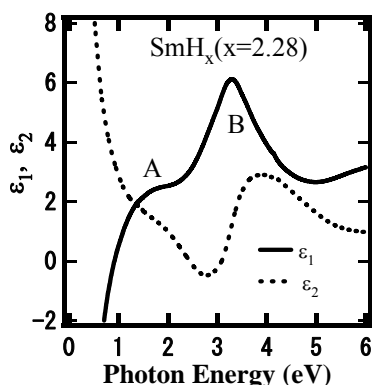


図5 SmH<sub>x</sub> (x=2.28)の室温反射スペクトルをKK変換して得られた誘電関数の実部(実線)と虚部(破線)

#### (9) 結論

YH<sub>x</sub> (1.73 < x < 2.05) のホール係数は極めて小さい正值であり、それがゼロ磁場比抵抗と一次関数的な相関関係をもつことが見出された. このことは、i) この物質が半金属ではなく補償金属的な両極性伝導で、ii) 正孔、電子ともに等しいキャリア濃度 (≒10<sup>27</sup>m<sup>-3</sup>) と移動度 (≒10<sup>-3</sup>m<sup>2</sup>/(Vs)) をもつこと、iii) ホール係数が比抵抗を通じて制御可能であることを意味する. 対称性の高い電子・正孔キャリア特性がフェルミ面形状によるものかどうか、今後、既存のバンド計算に基づいた検討が必要である.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

(1) M. Sakai, T. Nanbo, Y. Tanji, O. Nakamura, M. Endo, and H. Tajima

Dielectric function analysis of superstoichiometric samarium dihydride films  
J. Appl. Phys. **105** (2009) 083512-1-11. 査読有り

(2) 酒井政道, 遠藤元気, 中村 修

YH<sub>x</sub> 薄膜 (1.7 < x < 2.1) における誘電関数と水素配位モフォロジー  
光物性研究会論文集 Vol. 19 (2008) pp. 282-285 査読無し

(3) 酒井政道

水素化された希土類金属の示す奇妙な性質  
工業材料 Vol. 56, No. 3 (2008) pp. 48-51. 査読有り

(4) 丹治義和, 酒井政道, 遠藤元気, 中村修  
SmH<sub>x</sub> 薄膜 (2.2 < x < 2.6) における誘電関数  
光物性研究会論文集 Vol. 18 (2007) pp. 199-202.

査読無し

(5) M. Sakai, T. Nanbo, O. Nakamura, Y. Uwatoko, and H. Tajima,

Magneto-transport properties in near-stoichiometric hydride films of YH<sub>2+δ</sub> under weak fields

J. Appl. Phys. **101** (2007) 103713-1-8. 査読有り

(6) M. Sakai, Y. Tanji, O. Nakamura, Y. Uwatoko, and H. Tajima,

Galvanomagnetic properties of super and substoichiometric yttrium dihydrides

Journal of Magnetism and Magnetic Materials **310** (2007) e59-e61. 査読有り

(7) O. Nakamura, Y. Tanaka, K. Nakazawa, T. Nakano, M. Sakai, S. Orimo, and Y. Uwatoko,

Specific heat of superstoichiometric samarium dihydride (SmH<sub>2+δ</sub>)

Journal of Magnetism and Magnetic Materials **310** (2007) e65-e67. 査読有り

(8) M. Sakai, N. Honda, O. Nakamura, and H. Shibata

Comment on the role of the Hall effect for generation of magnetic force

International Conference on Magneto-Science 2007, p. 93. 査読有り

(9) O. Nakamura, Y. Tanaka, M. Sakai, T. Nanbo, K. Koyama, Y. Uwatoko, S. Orimo

Optical and transport properties of SmH<sub>2+δ</sub> (0.25 < δ < 0.6)

Physica B: **378/380** (2006) 1138-1139.

査読有り

(10) M. Sakai and M. Takeuchi

A design for electrooptical detection of defect positions in semiconductors

Physica B **376/377** (2006) 897-900. 査読有り

(11) 酒井政道, 南保 岳, 中村 修

イットリウム二水素化物における電子-正孔補償状態と磁気抵抗

埼玉大学工学部紀要 Vol. 38, pp. 45-48 (2005). 査読無し

(12) 酒井政道, 南保 岳, 中村 修

イットリウム二水素化物におけるキャリア補償状態と磁気電気輸送

埼玉大学地域共同研究センター紀要 Vol. 5,

pp. 85-89, (2005). 査読無し

[学会発表] (計 10 件)

(1) 酒井政道, 藤田浩光, 齋藤智洋, 中村修, 田島裕之

水素化イットリウム  $YH_x(1.7 < x < 2.1)$  におけるホール係数の温度依存性

日本物理学会 2009 年 3 月 29 日, 立教大学

(2) 酒井政道, 丹治義和, 遠藤元気, 中村修, 田島裕之

水素化イットリウム  $YH_x$  薄膜の誘電関数

日本物理学会 2008 年 9 月 23 日, 岩手大学

(3) 酒井政道, 丹治義和, 遠藤元気, 中村修, 田島裕之

$SmH_x(2.2 < x < 2.6)$  の誘電関数: 水素濃度の影響

日本物理学会講演概要集第 63 巻第 1 号第 4 分冊 (2008 年 3 月 23 日, 近畿大学) 23aYF4.

(4) 酒井政道, 本田尚也, 丹治義和, 中村修, 田島裕之

導線に作用する磁気力とホール効果との関係について

第 2 回日本磁気科学会年次大会プログラム・要旨集 (2007 年 6 月 6 日, 大阪大学) pp.125-126.

(5) 丹治義和, 酒井政道, 中村修, 上床美也, 田島裕之

イットリウム二水素化物  $YH_{2+\delta}$  における電気伝導特性

第 54 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, p. 455, (2007 年 3 月 27 日, 青山学院大学).

(6) 酒井政道, 丹治義和, 中村修, 上床美也, 田島裕之

イットリウム二水素化物  $YH_2$  における電気磁気輸送特性

日本物理学会講演概要集第 62 巻第 1 号第 4 分冊 p. 975, (2007 年 3 月 20 日, 鹿児島大学)

(7) 酒井政道, 丹治義和, 中村修, 上床美也, 田島裕之

イットリウム二水素化物  $YH_2$  における電子-正孔補償状態

日本物理学会講演概要集第 61 巻第 2 号第 4 分冊 p. 805, (2006 年 9 月 25 日, 千葉大学).

(8) 中村修, 田中幸一, 酒井政道, 中澤和子, 上床美也, 折茂慎一, 中野智仁,

$SmH_{2+\delta}$  の比熱と磁性

日本物理学会第 61 回年次大会 27pTC-4 (2006 年 3 月 27 日, 愛媛大学).

(9) 酒井政道, 南保 岳, 中村 修

イットリウム二水素化物  $YH_{2+\delta}$  における電子-正孔補償状態と磁気電気輸送

日本物理学会 2005 年秋季大会, 20aYK-1 (2005 年 9 月 20 日, 同志社大学).

(10) O. Nakamura, Y. Tanaka, M. Sakai, T. Nanbo, K. Koyama, Y. Uwatoko, S. Orimo

Optical and transport properties of  $SmH_{2+\delta}$  ( $0.25 < \delta < 0.6$ )

International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, Sa-NMM-42 p. 340 (2005.7).

[その他]

(1) 酒井政道

金属格子中の水素原子配位ゆらぎと電気伝導機構

埼玉大学総合研究機構研究プロジェクト研究成果報告書第 6 号 (2008) pp. 61-64.

(2) 酒井政道

金属格子中の水素配位モフォロジーの多様性にもとづく電子機能

埼玉大学総合研究機構研究プロジェクト研究成果報告書第 5 号 (2007) pp. 99-101.

(3) 酒井政道

水素と希土類金属による循環型材料開発, 埼経協ニュース 334 号, p. 16 (2006. pp. 8-9).

(4) 酒井政道

水素と希土類金属を用いた循環型材料開発と電子物性評価

埼玉大学総合研究機構研究プロジェクト研究成果報告書第 3 号 (2005) pp. 179-182.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 政道

埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号: 40192588

(2) 研究分担者

田島 裕之 (2005-2007)

東京大学・物性研究所・准教授

研究者番号: 60207032

(3) 連携研究者

田島 裕之 (2008)

東京大学・物性研究所・准教授

研究者番号: 60207032

研究協力者

中村 修 (2005-2008)

カシオ計算機 (株)