

令和8年度 ■目的設定 □中間評価 □事後評価

機 関 名	産業技術センター	課題コード	R080902	事業年度	R8年度～R10年度					
課 題 名	高機能水素センサー用ハイエントロピー合金薄膜の研究									
担当(チーム)名	電子光応用開発部 オプトエレクトロニクスチーム									
政 策	04_産業									
施 策	02_成長分野への参入とイノベーションの促進により県内企業の挑戦を後押しする									
方向性	03_県内企業の経営戦略の高度化と技術開発力の強化									
種 別	研究	○	開発	○	試験		調査		その他	
	県単	○	国補		共同		受託		その他	

評 価 対 象 課 題 の 内 容

1 課題設定の背景（問題の所在、市場・ニーズの状況等）

2020年10月、日本政府は2050年のカーボンニュートラルを宣言し、日本をはじめ世界各国で脱炭素社会・低炭素社会の実現に向けた動きが加速している。このような動きの中でCO<sub>2</sub>を排出しない水素は新エネルギー源として注目されており、社会実装のための検討が精力的に進められているところである。水素サプライチェーンにおいては、安全確保のための漏洩検知、排ガス管理や燃焼効率向上のための濃度測定といった用途で水素センサーが必要とされている。この用途に向け、当チームでは広範囲濃度計測が可能で、防爆性が優れた光学式水素センサーを提唱してきた。しかし、応答速度、信号分解能、耐環境性能の問題が製品化の障害となっており、問題を解決できる新規水素機能材料の開発が急務となっている。そこで、当センターが培ってきた薄膜技術を基礎として、水素機能材料の新規基盤技術を開発することで、実用化レベルの光学式水素センサーを実証する。また、構築した水素機能材料の基盤技術を通して、県内企業の水素利用産業参入に向けた支援体制を強化する。

2 研究の目的・概要

現在の光学式水素センサー素子は、低濃度水素に対する応答速度の高速化、高濃度水素領域における濃度の高分解能化及び耐環境性能の向上が課題である。よって、検知素子に用いる薄膜材料に関し

- ①水素ガスが薄膜内を高速で拡散する材料
- ②水素ガスを多く吸蔵し、かつ、大きな光学応答を示す材料
- ③高温・高湿環境でも使用できる高い耐久性を備えた材料

の開発が必要である。一方で、①と②の機能を併せ持つ材料開発には前例がない。このため本研究では、ハイエントロピー材料設計技術に着目し、新機能材料の開発を行う。ハイエントロピー材料とは、5種類以上の多元素で構成された合金であり、上記2つの機能を両立した新機能材料の創生が可能である。合金組成の設計については秋田大学の協力によりシミュレーションを用いて行い、新規ハイエントロピー合金薄膜の成膜は当センター設備を用いて行う。

このように、水素機能材料の設計に関するコア技術を確立し、技術移転を図ることで、県内企業の水素機能材料を活用した商品開発や水素センサー製品化を支援する。こうした、県内企業が最終製品メーカーとなるような活動を通して、水素利用産業参入に向けた支援体制を強化する。

3 最終到達目標

[研究の最終到達目標]

以下の機能を有する水素機能材料の新規基盤技術を開発し、これらの材料を水素センサー検出素子に適用することで、実用レベルの光学式水素センサーを実証する。

高速応答性能：水素が高速で拡散できるような水素透過膜材料を開発することで、低濃度水素においても秒単位の応答速度を達成する。

高分解能検知信号：水素吸蔵量と光学機能（誘電率）が最適化された材料を開発することによって、高濃度領域の水素に対する信号の分解能（シグナル・ノイズ比）を向上させる。

耐環境性能：新規触媒層を開発する事によって高温、高湿で失活しない耐久性を獲得する。

[研究成果の受益対象（対象者数を含む）及び受益者への貢献度]

技術移転先には県内企業23社が想定されている。これら企業の水素センサー製品開発や水素利用産業市場への参入に貢献し、新製品販売による売上増と新規雇用創出に貢献できる。

4 全体計画及び財源

別紙「研究の全体計画及び実績」参照

目的設定

5 外部有識者等の主な意見及び対応方針	
(1) 必要性	<p>【外部有識者等の主な意見】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本研究は、秋田県産業技術センターがこれまでに培ってきた薄膜技術を基礎として、水素機能材料の新規基盤技術の開発を行い、実用化レベルの光学式水素センサーを実証することを目指している。この取組は、「秋田県総合計画」や「あきた科学技術振興ビジョン2.0」の方向性とも合致している。また、秋田県産業技術センターが取り組むテーマとして重要であるとともに、確実な実施が強く望まれる内容である。</li> <li>・提案の水素ガスセンサーは、秋田県産業技術センター独自の方法で差別化要素があること、秋田県内企業にニーズがあると思われること、高速応答性と高分解能を目指すという目標が明確であることから、秋田県産業技術センターの研究開発テーマとしての必要性を満たすと考える。</li> </ul>
(2) 有効性	<p>【外部有識者等の主な意見】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現在の光学式水素センサー素子において、低濃度水素に対する応答速度の高速化、高濃度水素領域における濃度の高分解能化、並びに耐環境性能の向上が課題となっており、本研究は①水素ガスが薄膜内を高速で拡散する材料、②水素ガスを多く吸蔵し、かつ、大きな光学応答を示す材料の両方の機能を併せ持つ新機能材料の創成を目指している。このことは、技術の独自性を有するとともに、県内関連企業の水素利用産業参入に向けた支援体制の強化にも貢献することができることから、本研究の有効性が高いと評価できる。</li> <li>・高速応答性と高分解能に対する目標が達成されれば有効性は十分あると考えられる。ただし、従来方式との差異について定量的に比較して、今後の結果のアピールにも活用していただきたい。また、研究ステージごとにポイントを絞ったメリットの追求を行い、着実に成果を上げていただきたい。</li> </ul> <p>【対応方針】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・目標とする機能を発揮できる水素センサー素子の性能を数値化し、目標値とすることで進捗状況や達成度合いを判断できるようにする（例 応答速度(秒)、信号強度(deg)、膜厚(nm)、粒径(nm)、水素検知感度(deg/%)）。</li> <li>・光学特性（反射率、共鳴・干渉）を併せ持ちながら、水素吸蔵層であれば吸蔵量の最大化、水素透過層であれば透過速度の最大化といった特性に焦点を絞り、着実に目的特性を達成していくよう研究を進める。</li> </ul>
(3) 技術的達成可能性	<p>【外部有識者等の主な意見】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本研究の実施内容・目標から、達成が見込めると考える。また、その取組内容には特許性が期待できる。県内企業等との連携した展開や速やかな技術移転が強く望まれる。</li> <li>・簡易デバイスを作成しての特性評価という仕組みができており、PDCAを多く回すことにより技術的達成の可能性は高いと考える。ただし、検討要素が多要素にわたるため、各要素の最適化ができたとしても、すべての要素の結果を組み合わせた際のトレードオフの可能性もある点にも留意いただきたい。</li> </ul> <p>【対応方針】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・積層時の特性については、光学シミュレーションを用いて逐次結果を予測し進めていく。</li> <li>・現状の水素センサー素子の物性値（結晶配向、結晶構造、屈折率、反射率、吸収係数、水素機能）に着目し、積層時に所望の特性が相反することが無いよう検証しながら検討を進める。</li> </ul>
(4) その他	<p>【外部有識者等の主な意見】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・専門知識のない県民の皆様にも本研究内容を広く理解いただけるように、情報発信を意識していただきたい。そのためには、“ゴール”から逆算し、イメージしやすいように表現していただきたい。その作業は、スケジュールや実験計画の精査にもつながると理解している。また、秋田県産業技術センターのコア技術を基礎に推進する本研究の内容には特許性が認められることから、知財戦略も意識していただきたい。</li> <li>・試験の試行錯誤による最適化にとどまらず、物理的・化学的な原理確認もお願いしたい。</li> </ul> <p>【対応方針】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・情報発信を意識し、研究会・学術講演会等において積極的に報告を行う。広く専門外の方々が参集する機会にあっては、専門用語を使用しない説明を心掛け、研究状況及び貢献効果について理解いただけるよう工夫する。また水素センサーは広く業界が着目する領域であり特許調査及び特許化を意識し検討を進める。</li> <li>・最適化一辺倒に終始せず“なぜそうなるのか”物理現象の原理原則を捉える意識で検討を行う。</li> </ul>

機 関 名	産業技術センター	課題コード	R080902	事業年度	R8 年度～R10 年度
課 題 名	高機能水素センサー用ハイエントロピー合金薄膜の研究				

全体計画及び財源 （全体計画において ≡≡≡ 計画、——— 実績）								
実施内容	最終到達目標	R8	R9	R10	年度	年度	各年度到達目標	進捗の到達状況
		年度	年度	年度				
高速応答性能確保のための水素透過膜材料の開発	低濃度でも 60 秒以下で応答する水素透過膜材料を開発する。	≡≡≡	≡≡≡	≡≡≡			R8 現行の合金組成最適化による応答性能向上 R9 ハイエントロピー合金のシミュレーション及び薄膜作製 R10 応答性能 60 秒以下の合金開発	
信号の高分解能化達成のための水素吸蔵層の開発	水素吸蔵量および誘電率を最適化し、濃度に対する信号強度が現行より線形となる材料を開発する。		≡≡≡	≡≡≡			R9 1～2 種の添加元素による吸蔵量向上 R10 5 種混合ハイエントロピー合金の検討と検知信号のリニアリティ改善	
耐環境性を備えた水素触媒層の開発	高温、高湿で失活しない耐久性を持つ新規材料を開発する。			≡≡≡			R10 高温、高湿環境下における無失活の実現	
							合計	
計画額（千円）		3,526	3,500	3,500			10,526	
当初予算額（千円）		3,526					3,526	
財源内訳	一般財源	3,526					3,526	
	国 費							
	そ の 他							

# 高機能水素センサー用 ハイエントロピー合金薄膜の研究

## 背景

### ●CO2を排出しない水素エネルギー

→水素利活用時に水素センサーが必要とされる

	新規技術		従来技術	
	光学式	接触燃焼式	半導体式	熱式巻線
動作原理	反射率変化	電気抵抗	ゲート電圧	気体熱伝導
濃度範囲	○	x	x	○
水素選択	○	△	△	x
環境影響	?	△	△	△
安全性	◎	x	x	x

### 光検知式水素センサー

- ・光検知なので高防爆性能
- ・計測可能濃度範囲 0~100%
- ・水素選択性あり

### ●課題：水素低濃度領域で低速応答、高濃度で検知信号分解能低下

## 研究内容

### ●ハイエントロピー材料(HEA(High-Entropy Alloys))

従来：メインとなる金属元素に特性強化する元素を少量添加

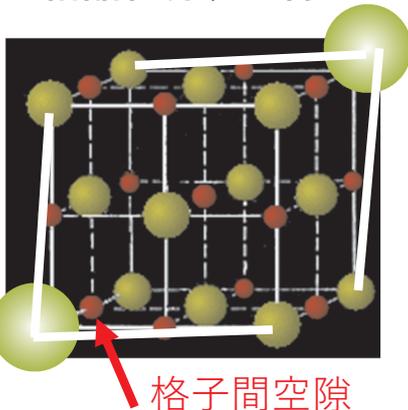
HEA：5種類以上の元素を比較的等濃度で混合し、今までにない特性の合金を開発

- ✓ 元素サイズ不一致による格子の歪み
- ✓ 歪みによる拡散速度の変化
- ✓ カクテル効果

### 新機能水素材料を開発

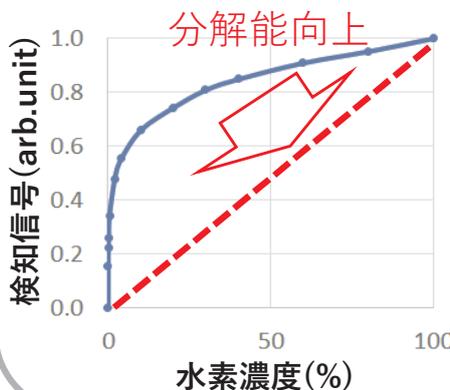
#### 応答速度 (水素拡散層)

- 水素透過パス形成  
結晶粒界、空隙



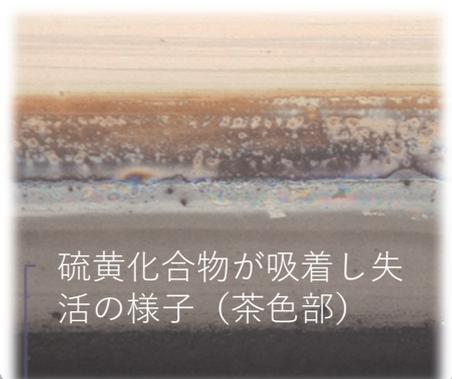
#### 信号分解能 (水素吸蔵層)

- 水素吸蔵材料創生
- 光学特性最適化



#### 耐環境 (水素触媒層)

- 助触媒材料検討
- 水素透過保護層形成



新規水素機能材料に関するコア技術の確立、高機能水素センサーへの材料展開

## 研究の成果

- ・水素インフラへの高機能水素センサーの販売導入
- ・水素機能材料を利活用した商品開発 (燃料電池触媒、高純度水素フィルター膜)