دانشگاه بیرجند
دانشکده علوم

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی فیزیک

عنوان:

ساخت و بررسی خواص ذخیره سازی هیدروژن در آلیاژ نانوساختاری پالادیم- نیکل برای پیل های سوختی

استاد راهنما:

دکتر حسین فرسی

نگارش:

هدی حسین زاده

تابستان ۹۰

مقدمه

در این پژوهش پالادیم، به منظور تحقیق اثرات روش‌های رسوبگیری به صورت الکتروشیمیایی در ظرفیت ذخیره‌سازی هیدروژن، به روش‌های گالوانواستاتیک، پتانسیواستاتیک و پتانسیودینامیک بر روی سطح الکترود فولاد زنگ‌نزن رسوب‌گیری شده است. مقدار هیدروژن جذب شده از طریق روش‌های پتانسیودینامیک و اسپکتروسکوپی امپدانس محاسبه شده است. مطالعاتمان نشان می‌دهد که پالادیم رسوب‌گیری شده به روش پتانسیواستاتیک توانایی جذب بیشتر هیدروژن را در مقایسه با سایر نمونه‌ها دارا است.

در بخش دوم تحقیقتمان آلیاژهای پالادیم – نیکل با نسبت‌های مختلف به روش‌های مختلف الکتروشیمیایی تهیه شدند و مورد مقایسه قرار گرفتند. مطالعات نشان می‌دهد که ظرفیت ذخیره هیدروژن الکتروشیمیایی آلیاژها با افزایش نیکل کاهش پیدا می‌کند.

فهرست مطالب

فصل اول، بررسی منابع

عنوان ..... صفحه

۱-۱ شیمی هیدروژن ۱

۱-۱-۱ اهمیت هیدروژن درپیل‌های سوختی ۲

۱-۲ روش‌های ذخیره‌سازی هیدروژن ۴

۱-۲-۱ متراکم‌سازی ۴

۱-۲-۲ مایع‌شدن ۶

۱-۲-۳ جذب فیزیکی ۶

۱-۲-۳-۱ مواد کربنی ۷

۱-۲-۳-۱-۱ فولرن‌ها ۸

۱-۲-۳-۱-۲ نانولوله‌های کربنی ۹

۱-۲-۳-۱-۳ کربن فعال ۱۶

۱-۲-۴ جذب شیمیایی ۱۸

۱-۲-۴-۱ ذخیره هیدروژن در فلزات ۲۲

۱-۲-۴-۲ آلیاژهای ذخیره‌کننده هیدروژن ۲۶
۱-۳ روش‌های آماده‌سازی آلیاژها ۳۰
۱-۳-۱ نقاط ذوب فلزات ۳۰
۱-۳-۲ روش اتمی‌کردن با سیال گازی ۳۱
۱-۳-۳ روش آلیاژسازی مکانیکی ۳۱
۱-۳-۴ رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی آلیاژها روی سطح الکترود ۳۲
۱-۴ روش‌های بررسی الکتروشیمیایی ۳۵
۱-۴-۱ روش ولتامتری چرخه‌ای ۳۵
۱-۴-۲ روش بیناب‌نگاری امپدانس ۳۷

فصل دوم، دستگاهها و عملیات آزمایشگاهی

۲-۱ بررسی فرایند ذخیره‌سازی هیدروژن در فلز پالادیم ۴۱
۲-۱-۱ تهیه فلز پالادیم با روش ترسیب الکتروشیمیایی ۴۱
- ترکیب حمام رسوب‌گذاری ۴۱
- تهیه الکترود ۴۱
- سل رسوب‌گذاری ۴۱
- رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی ۴۲

- مورفولوژی نمونه ۴۲
- اندازه‌گیری مقدار ماده رسوب داده شده ۴۲
- آزمون‌های الکتروشیمیایی ۴۲
۲-۲ بررسی فرایند ذخیره‌سازی هیدروژن در آلیاژ نیکل - پالادیم ۴۳
۲-۲-۱ تهیه آلیاژ نیکل – پالادیم با روش ترسیب الکتروشیمیایی ۴۳
- ترکیب حمام رسوب‌گذاری ۴۳
- تهیه الکترود ۴۴
- سل رسوب‌گذاری ۴۴
- رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی ۴۴
- مورفولوژی نمونه ۴۴
- اندازه‌گیری مقدار ماده رسوب داده شده ۴۵
- آزمون‌های الکتروشیمیایی ۴۵

فصل سوم، بررسی نتایج و تفسیر داده ها

۳-۱ ساخت و بررسی خواص ذخیره‌سازی هیدروژن در فلز پالادیم ۴۶
۳-۱-۱ ترسیب الکتروشیمیایی فیلم فلز پالادیم ۴۶
۳-۱-۲ مطالعات میکروسکوپ نیروی اتمی ۵۰
۳-۱-۳ مطالعات اسپکتروسکوپی جذب اتمی ۵۴
۳-۱-۴ مطالعات ولتامتری چرخه‌ای ۵۶

۳-۱-۵ مطالعات کرونوآمپرومتری ۶۵
۳-۱-۶ مطالعات امپدانس اسپکتروسکوپی ۷۰
۳-۲ ساخت و بررسی خواص ذخیره‌سازی هیدروژن در آلیاژ پالادیم - نیکل ۸۷
۳-۲-۱ ترسیب الکتروشیمیایی فیلم آلیاژ پالادیم - نیکل ۸۷
۳-۲-۲ مطالعات میکروسکوپ نیروی اتمی ۹۳
۳-۲-۳ مطالعات اسپکتروسکوپی جذب اتمی ۹۶
۳-۲-۴ مطالعات ولتامتری چرخه‌ای ۹۸
۳-۲-۵ مطالعات کرونوآمپرومتری ۱۰۶
۳-۲-۶ مطالعات امپدانس اسپکتروسکوپی ۱۰۸

فهرست شکل‌ها

فصل اول، بررسی منابع

عنوان ..... **صفحه**

شکل ۱-۱ دیاگرام فاز مولکول هیدروژن ۵

شکل ۱-۲ ساختار گرافیک و الماس ۸

شکل ۱-۳ ساختار فولرن ۹

شکل ۱-۴ ساختار نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره و چنددیواره ۱۰

شکل ۱-۵ جذب سطحی هیدروژن در نانولوله‌تک‌دیواره با پوشش‌های مختلف ۱۱

شکل ۱-۶ فشار جزئی هیدروژن و دوتریم به عنوان تابعی از دما ۱۲

شکل ۱-۷ درصد هیدروژن ذخیره‌شده تابعی از تعداد لایه‌ها و قطر لوله ۱۳

شکل ۱-۸ منحنی شارژ- دشارژ ۱۵

شکل ۱-۹ ولتاموگرام کربن فعال در محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۷

شکل ۱-۱۰ الگوی انتقال فاز روی سطح فلز ۲۴

شکل ۱-۱۱ دیاگرام PCT فشار هیدروژن بر حسب نسبت اتمی هیدروژن ۲۵

شکل ۱-۱۲ ولتاموگرام الکترود پالادیم در محلول هیدروکسید لیتیم ۳۶

شکل ۱-۱۳ نمودار نایکوئیست abs,ads و واکنش آزادسازی هیدروژن..... ۳۹

شکل ۱-۱۴ نمودار امپدانس الکترود MH در محلول‌های الکترولیت مختلف..... ۴۰

شکل ۱-۱۵ مدار معادل برای پاسخ فرکانس الکترود MH..... ۴۰

فصل سوم، بررسی و تفسیرنتایج

شکل ۳-۱ ولتاموگرام ترسیب فلز پالادیم ...با سرعت‌های روبش ۱۰۰،۱۵۰،۲۰۰ و ۲۵۰ میلی..... ۴۶

شکل ۳-۲ منحنی میزان بار ..(ترسیب پتانسیودینامیک، گالوانواستاتیک و پتانسیواستاتیک)..... ۴۷

شکل ۳-۳ منحنی ترسیب فلز پالادیم به روش گالوانواستاتیک..... ۴۸

شکل ۳-۴ منحنی ترسیب فلز پالادیم به روش پتانسیواستاتیک..... ۴۹

شکل ۳-۵ تصاویر دوبعدی و سه‌بعدی AFM ....به روش پتانسیودینامیک با سرعت روبش ۲۵۰..... ۵۰

شکل ۳-۶ تصاویر دوبعدی و سه‌بعدی AFM ....به روش پتانسیودینامیک با سرعت روبش ۱۵۰..... ۵۱

شکل ۳-۷ تصاویر دوبعدی و سه‌بعدی AFM ....به روش گالوانواستاتیک..... ۵۲

شکل ۳-۸ تصاویر دوبعدی و سه‌بعدی AFM ....به روش پتانسیواستاتیک..... ۵۳

شکل ۳-۹ منحنی کالیبراسیون جذب بر حسب غلظت محلول‌های استاندارد پالادیم..... ۵۴

شکل ۳-۱۰ ولتاموگرام چرخه‌ای فلز پالادیم ۵۶

شکل ۳-۱۱ ولتاموگرام چرخه‌ای فلز پالادیم در محلول ۰/۱ مولار..... ۵۷

شکل ۳-۱۲ ولتاموگرام چرخه‌ای فلز پالادیم...با سرعت‌های روبش مختلف..... ۵۸

شکل ۳-۱۳ ولتاموگرام چرخه‌ای فلز پالادیم(ترسیب شده با روش جریان ثابت) ۵۸

شکل ۳-۱۴ ولتاموگرام چرخه‌ای فلز پالادیم(ترسیب شده با روش پتانسیل ثابت)..... ۵۹

شکل ۳-۱۵ نمودار جریان بر حسب پتانسیل پیک واجذب هیدروژن..... ۶۰

شکل ۳-۱۶ انتگرال‌گیری از سطح زیر پیک نمودار جریان – پتانسیل..... ۶۱

شکل ۳-۱۷ منحنی کرونوآمپرومتری فلز پالادیم (ترسیب با سرعت روبش ۱۰۰)..... ۶۵

شکل ۳-۱۸ منحنی کرونوآمپرومتری فلز پالادیم (ترسیب با سرعت روبش ۱۵۰)..... ۶۶

شکل ۳-۱۹ منحنی کرونوآمپرومتری فلز پالادیم (ترسیب با سرعت روبش ۲۰۰)..... ۶۶

شکل ۳-۲۰ منحنی کرونوآمپرومتری فلز پالادیم (ترسیب با سرعت روبش ۲۵۰)..... ۶۷

شکل ۳-۲۱ منحنی کرونوآمپرومتری فلز پالادیم (ترسیب با روش گالوانواستاتیک) ۶۸

شکل ۳-۲۲ منحنی کرونوآمپرومتری فلز پالادیم (ترسیب با روش پتانسیواستاتیک)..... ۶۹

شکل ۳-۲۳ دیاگرام نایکوئیست و نمودارهای Bode الکترود پالادیم(...با سرعت روبش ۱۰۰)..... ۷۱

شکل ۳-۲۴ دیاگرام نایکوئیست و نمودارهای Bode الکترود پالادیم(...با سرعت روبش ۱۵۰)..... ۷۲

شکل ۳-۲۵ دیاگرام نایکوئیست و نمودارهای Bode الکترود پالادیم(... با سرعت روبش ۲۰۰) ۷۳

شکل ۳-۲۶ دیاگرام نایکوئیست و نمودارهای Bode الکترود پالادیم(... با سرعت روبش ۲۵۰)..... ۷۴

شکل ۳-۲۷ دیاگرام نایکوئیست و نمودارهای Bode الکترود پالادیم(... روش گالوانواستاتیک) ۷۵

شکل ۳-۲۸ دیاگرام نایکوئیست و نمودارهای Bode الکترود پالادیم(... روش پتانسیواستاتیک)..... ۷۶

شکل ۳-۲۹ مدار معادل برای فلز پالادیم در محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار ۸۱

شکل ۳-۳۰ رسوب‌گذاری آلیاژ روی فولاد زنگ نزن با سرعت‌های روبش ... آب‌کاری اول. ۸۷

شکل ۳-۳۱ منحنی میزان بار نشانده شده بر حسب زمان..... ۸۸

شکل ۳-۳۲ رسوب‌گذاری آلیاژ روی فولاد زنگ نزن با سرعت‌های.... در حمام آب‌کاری دوم ۸۹

شکل ۳-۳۳ منحنی میزان بار نشانده شده بر حسب زمان..... ۸۹

شکل ۳-۳۴ رسوب‌گذاری آلیاژ .. در حمام آب‌کاری سوم به روش پتانسیودینامیک..... ۹۰

شکل ۳-۳۵ رسوب‌گذاری آلیاژ... کاری سوم به روش گالوانواستاتیک و پتانسیواستاتیک..... ۹۰

شکل ۳-۳۶ منحنی میزان بار نشانده شده بر حسب زمان..... ۹۱

شکل ۳-۳۷ تصاویر دوبعدی و سه‌بعدی AFM..حمام آب‌کاری سوم..... ۹۳

شکل ۳-۳۸ تصاویر دوبعدی و سه‌بعدی AFM..حمام آب‌کاری دوم..... ۹۴

شکل ۳-۳۹ تصاویر دوبعدی و سه‌بعدی AFM..حمام آب‌کاری اول..... ۹۵

شکل ۳-۴۰ منحنی کالیبراسیون جذب ...محلول‌های استاندارد آلیاژ پالادیم - نیکل..... ۹۶

شکل ۳-۴۱ آزمایش ولتامتری چرخه‌ای ..با آلیاژ..با سرعت روبش ۱۰ میلی‌ولت بر ثانیه..... ۹۸

شکل ۳-۴۲ ولتاموگرام چرخه‌ای آلیاژ ...پتانسیودینامیک با سرعت روبش ۱۰۰ ..... ۱۰۰

شکل ۳-۴۳ ولتاموگرام چرخه‌ای آلیاژ در محلول یک دهم مولار..... ۱۰۰

شکل ۳-۴۴ ولتاموگرام چرخه‌ای آلیاژ در محلول ۰/۱ مولار هیدروکسید لیتیم..... ۱۰۳

شکل ۳-۴۵ منحنی کرونوآمپرومتری آلیاژ (ترسیب با سرعت روبش ۱۰۰و ۱۵۰ میلی..)..... ۱۰۶

شکل ۳-۴۶ منحنی کرونوآمپرومتری آلیاژ (ترسیب با روش گالوانواستاتیک و پتانسیواستاتیک)..... ۱۰۶

شکل ۳-۴۷ منحنی کرونوآمپرومتری آلیاژ (ترسیب با سرعت روبش ۱۰۰و ۱۵۰و ۲۰۰ ..... ۱۰۷

شکل ۳-۴۸ منحنی کرونوآمپرومتری آلیاژ (ترسیب با سرعت روبش ۱۰۰و ۱۵۰ ..در پتانسیل‌های ۱۰۸

شکل ۳-۴۹ دیاگرام نایکوئیست برای آلیاژ پالادیم – نیکل در محلول ۰/۱ مولار..... ۱۰۹

شکل ۳-۵۰ منحنی تغییرات امپدانس ظاهری بر حسب فرکانس برای آلیاژ..... ۱۱۰

شکل ۳-۵۱ منحنی تغییرات زاویه فاز بر حسب فرکانس برای آلیاژ... ..... ۱۱۱

شکل ۳-۵۲ منحنی تغییرات ظرفیت بر حسب فرکانس برای آلیاژ..... ۱۱۲

شکل ۳-۵۳ دیاگرام نایکوئیست و نمودارهای Bode الکترود آلیاژ.. با سرعت روبش ۱۰۰ ..... ۱۱۵

شکل ۳-۵۴ دیاگرام نایکوئیست و نمودارهای Bode الکترود آلیاژ.. با سرعت روبش ۱۵۰ ..... ۱۱۶

شکل ۳-۵۵ دیاگرام نایکوئیست و نمودارهای Bode الکترود آلیاژ... با سرعت روبش ۲۰۰ ..... ۱۱۷

شکل ۳-۵۶ دیاگرام نایکوئیست و ... Bode الکترود آلیاژ (با سرعت روبش ۱۰۰ ..... ۱۱۸

شکل ۳-۵۷ دیاگرام نایکوئیست و ... Bode الکترود آلیاژ (با سرعت روبش ۱۵۰ ..... ۱۱۹

فهرست جداول

فصل اول، بررسی منابع

عنوان ..... **صفحه**

جدول ۱-۱ لیست هیدریدها برای ذخیره‌سازی هیدروژن ۲۳

فصل سوم، بررسی و تفسیر نتایج

جدول ۳-۱ نتایج حاصل از دستگاه جذب اتمی فلز پالادیم ۵۵

جدول ۳-۲ ترسیب به روش پتانسیودینامیک با سرعت روبش ۱۰۰ میلی‌ولت بر ثانیه ۶۲

جدول ۳-۳ ترسیب به روش پتانسیودینامیک با سرعت روبش ۱۵۰ میلی‌ولت بر ثانیه ۶۲

جدول ۳-۴ ترسیب به روش پتانسیودینامیک با سرعت روبش ۲۰۰ میلی‌ولت بر ثانیه ۶۳

جدول ۳-۵ ترسیب به روش پتانسیودینامیک با سرعت روبش ۲۵۰ میلی‌ولت بر ثانیه..... ۶۳

جدول ۳-۶ ترسیب به روش پتانسیواستاتیک در ۰/۳۲- ولت..... ۶۴

جدول ۳-۷ ترسیب به روش گالوانواستاتیک در ۰/۰۰۱- آمپر بر سانتی‌مترمربع..... ۶۴

جدول ۳-۸ تعیین ظرفیت ویژه ...فلز پالادیم ترسیب شده با روش پتانسیواستاتیک..... ۷۹

جدول ۳-۹ تعیین ظرفیت ویژه ...فلز پالادیم ترسیب شده با روش گالوانواستاتیک..... ۷۹

جدول ۳-۱۰تعیین ظرفیت ویژه...فلز پالادیم ترسیب شده با...سرعت روبش ۱۵۰ ..... ۸۰

جدول ۳-۱۱ تعیین ظرفیت ویژه...فلز پالادیم ترسیب شده با...سرعت روبش ۲۰۰..... ۸۰

جدول ۳-۱۲ تعیین ظرفیت ویژه...فلز پالادیم ترسیب شده با...سرعت روبش ۲۵۰..... ۸۱

جدول ۳-۱۳ برخی از پارامترهای مدار معادل... فلز پالادیم... ترسیب به روش پتانسیواستاتیک ۸۳

جدول ۳-۱۴ برخی از پارامترهای مدار معادل... فلز پالادیم.. با سرعت روبش ۱۵۰ میلی‌ولت بر..... ۸۴

جدول ۳-۱۵ برخی از پارامترهای مدار معادل... فلز پالادیم.. با سرعت روبش ۲۰۰ میلی‌ولت بر ۸۵

جدول ۳-۱۶ برخی از پارامترهای مدار معادل... فلز پالادیم... با سرعت روبش ۲۵۰ میلی‌ولت بر..... ۸۶

جدول ۳-۱۷ نتایج حاصل از دستگاه جذب اتمی برای آلیاژ..... ۹۷

جدول ۳-۱۸ ترسیب آلیاژ به روش پتانسیودینامیک با سرعت روبش ۱۰۰ میلی‌ولت بر ثانیه..... ۱۰۱

جدول ۳-۱۹ ترسیب آلیاژ به روش پتانسیودینامیک با سرعت روبش ۱۵۰ میلی‌ولت بر ثانیه..... ۱۰۱

جدول ۳-۲۰ ترسیب آلیاژ به روش گالوانواستاتیک با جریان ۰/۰۰۱- آمپر..... ۱۰۲

جدول ۳-۲۱ ترسیب آلیاژ به روش پتانسیواستاتیک با پتانسیل ۰/۰۰۷- ولت. ۱۰۲

جدول ۳-۲۲ ترسیب ... در حمام آب‌کاری اول با سرعت روبش ۱۰۰ میلی‌ولت بر ثانیه. ۱۰۴

جدول ۳-۲۳ ترسیب ... در حمام آب‌کاری اول با سرعت روبش ۱۵۰ میلی ولت‌بر ثانیه..... ۱۰۴

جدول ۳-۲۴ ترسیب ... در حمام آب‌کاری اول با سرعت روبش ۲۰۰ میلی‌ولت بر ثانیه ۱۰۴

جدول ۳-۲۵ ترسیب ... در حمام آب‌کاری دوم با سرعت روبش ۱۰۰ میلی‌ولت بر ثانیه..... ۱۰۵

جدول ۳-۲۶ ترسیب ... در حمام آب‌کاری دوم با سرعت روبش ۱۵۰ میلی‌ولت بر ثانیه..... ۱۰۵

جدول ۳-۲۷ برخی از پارامترهای مدار معادل...آلیاژ... با سرعت روبش ۱۰۰ میلی ولت بر ثانیه..... ۱۱۳

جدول ۳-۲۸ برخی از پارامترهای مدار معادل...آلیاژ... با سرعت روبش ۱۵۰ میلی ولت بر ثانیه.. ..... ۱۱۳

جدول ۳-۲۹ برخی از پارامترهای مدار معادل...آلیاژ... با روش پتانسیوینامیک.. ..... ۱۱۴

فصل اول

بررسی منابع

بررسی منابع

۱-۱ شیمی هیدروژن

هیدروژن کلمه فرانسوی به معنی سازنده آب از واژه یونانی هادور[1] یعنی آب و ژنین[2] یعنی تولیدکننده گرفته شده و برای اولین بار در سال ۱۷۷۶ به وسیله هنری کاوندیش[3] به عنوان یک ماده مستقل شناخته شده است و آنتونی لاوازیه نام هیدروژن را برای این عنصر انتخاب کرد.

هیدروژن یا آبزا یک عنصر شیمیایی در جدول تناوبی است که با حرف H و عدد اتمی ۱ نشان داده شده است. هیدروژن عنصری بی‌رنگ، بی‌بو، غیرفلزی، یک‌ظرفیتی و گازی دواتمی، با خاصیت شعله‌وری فوق-العاده بالا است. هیدروژن سبک‌ترین و فراوان‌ترین عنصر در جهان بوده و در آب و نیز در تمامی ترکیبات آلی و موجودات زنده یافت می‌شود. ستارگان در توالی اصلی خود به وفور از هیدروژن در حالت پلاسمایی تشکیل شده‌اند. درون خورشید اتم‌های هیدروژن ترکیب می‌شوند و اتم‌های هلیوم را پدید می‌آورند این پدیده پرتوهای خورشیدی را تولید می‌کندکه انرژی آنها باعث برقراری حیات بر روی زمین است. هیدروژن گازی روی زمین وجود ندارد به دلیل اینکه این گاز سبک است و تمایل دارد از زمین دور شود. متعارف‌ترین منبع برای این عنصر در زمین آب است و منابع دیگر ذغال، سوخت‌فسیلی و گازهای طبیعی‌اند. هیدروژن از چندین راه مختلف به دست می‌آید، همانند عبور بخار از روی کربن داغ، تجزیه حرارتی هیدروکربنها، واکنش هیدروکسیدسدیم یا پتاسیم بر آلومینیم، الکترولیز آب و واکنش‌های جابه-جایی آن در اسید توسط فلزات خاص. دانشمندان حتی کشف کرده‌اند که برخی جلبک‌ها و باکتری‌ها

---

[1] Hodor
[2] Gennen
[3] Henry Cavendish

هیدروژن تولید می‌کنند. تولید هیدروژن بسیار پرهزینه است، اما فنون جدیدی برای این کار در حال توسعه است.

۱-۱-۱ اهمیت هیدروژن در پیل‌های سوختی

در یک سیستم ایده‌ال انرژی بر پایه هیدروژن با هدف تامین امنیت ارائه انرژی، حفظ محیط‌زیست و ارتقاء کارآیی سیستم انرژی، هیدروژن از الکتریسیته تولیدی از منابع تجدیدپذیر نظیر باد، خورشید، زمین‌گرمایی و نظایر آن تولید شده و پس از ذخیره‌سازی و انتقال به محل‌های مصرف در کاربردهای مختلف از جمله تجهیزات الکترونیکی کوچک، صنعت‌های حمل‌ونقل و صنایع نیروگاهی قابل بکارگیری است. با این رویکرد بسیاری بر این باورند که سوخت نهایی بشر هیدروژن بوده و بشر در آینده‌ای نه چندان دور عصر هیدروژن را تجربه خواهد نمود.

از جمله ویژگی‌هایی که هیدروژن را از سایر گزینه‌های مطرح سوختی متمایز می‌نماید، می‌توان به فراوانی، مصرف تقریباً منحصربه‌فرد، انتشار بسیار ناچیز آلاینده‌ها، برگشت‌پذیر بودن چرخه تولید آن وکاهش اثرات گلخانه‌ای اشاره نمود. سیستم انرژی هیدروژنی به دلیل استقلال از منابع اولیه انرژی، سیستمی دائمی، پایدار، فناناپذیر، فراگیر و تجدیدپذیر می‌باشد. پیش‌بینی می‌شود که در آینده‌ای نه چندان دور تولید و مصرف آن به عنوان حامل انرژی به سراسر اقتصاد جهانی سرایت نموده و اقتصاد هیدروژنی تثبیت شود. با این وجود نباید انتظار داشت که هیدروژن در بدو ورود از نظر قیمتی بتواند با سایر حامل‌های انرژی رقابت نماید. در آینده پیل‌های سوختی و هیدروژن می‌توانند نقش محوری و کنترل‌کنندگی در آلودگی شهرها داشته باشند. عمل تبدیل انرژی شیمیایی موجود در هیدروژن به انرژی الکتریکی توسط پیل سوختی انجام می‌پذیرد. در واقع اهمیت فناوری پیل سوختی در یک سیستم انرژی بر پایه هیدروژن به گونه‌ای است که بسیاری آن را به لوکوموتیو قطار توسعه عصر هیدروژن تشبیه نموده‌اند. علاوه بر فناوری پیل سوختی به عنوان مصرف‌کننده هیدروژن در عصر هیدروژن، فناوری‌های

تولید، ذخیره‌سازی، عرضه و انتقال هیدروژن نیز از اجزاء اصلی ساختار انرژی این عصر خواهند بود[۳-۱] .پیل‌های سوختی فن‌آوری جدیدی برای تولید انرژی هستند که بدون ایجاد آلودگی زیست‌محیطی و صوتی از ترکیب مستقیم بین سوخت و اکسیدکننده، انرژی الکتریکی با بازده بالا تولید می‌کنند. پیل های سوختی حاوی هیدروژن و یک اکسیدکننده با استفاده از فرایندهای الکتروشیمیایی دمای پایین تولید الکتریسیته می‌کنند و قابلیت استفاده در سیستم‌های قابل حمل با نشر پایین CO_2 را دارند.

امروزه خیلی از کشورها بطور وسیع در حال تحقیق بر روی پیل‌های سوختی و تکنولوژی آن هستند ولی سه مانع برای جایگزینی سوخت‌های کربنی یا سوخت‌های هیدروژنی وجود دارد: ۱) قیمت بالای تولید و حمل هیدروژن باید کاهش یابد. ۲) منابع ذخیره هیدروژن در سیستم‌های نقلیه و ثابت باید توسعه یابد. ۳) قیمت پیل‌های سوختی هیدروژن و سیستم مربوطه باید کاهش یابد[۲].

تجهیزات و شرایط بهینه عملکرد برای پیل سوختی شامل خلوص سوخت، مقدار هوا و سوخت ورودی به سری پیل سوختی، رطوبت گازها، مدیریت آب، کنترل دما و نهایتاً فشار گازها در سیستم و سری پیل سوختی است.

متناسب با نوع پیل سوختی وکاربرد آن، این سیستم‌ها ساده و یا پیچیده می‌باشند، به عنوان نمونه در پیل‌های سوختی نیروگاهی، بخش مبدل سوخت که سوخت‌های فسیلی، بیومس ویا ... را تبدیل به هیدروژن خالص می‌نماید، بخش پیچیده و اصلی سیستم سوخت‌رسانی را تشکیل می‌دهد.

پیل‌های سوختی بر اساس نوع الکترولیت، دمای عمل، نوع سوخت و محدوده کاربرد به انواع زیر تقسیم بندی می‌شوند:

۱) پیل سوختی الکترولیت پلیمر یا غشاء مبادله‌کننده پروتون PEMFC [1]

[1] Poroton exchange membrane fuel cell

۲) پیل سوختی قلیایی AFC [1]

۳) پیل سوختی اسید فسفریک PAFC [2]

۴) پیل سوختی اکسیدجامد SOFC [3]

۵) پیل سوختی متانول مستقیم DMFCs

۱-۲ روش‌های ذخیره‌سازی هیدروژن

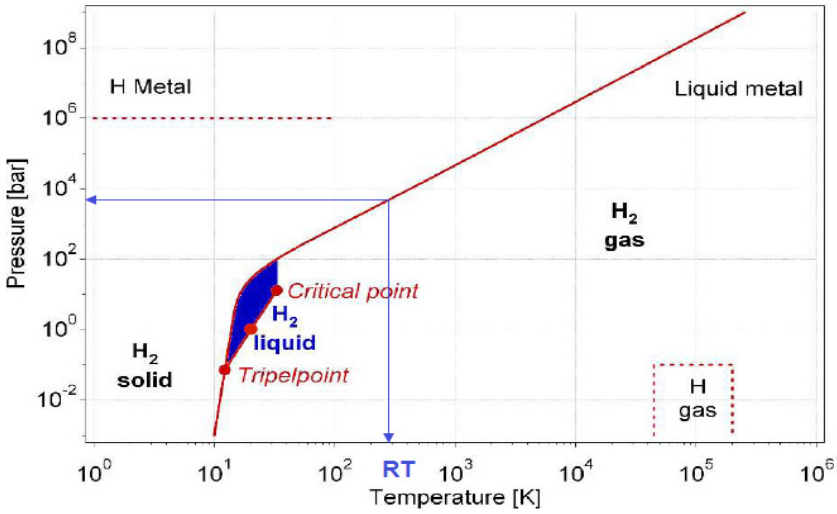
متراکم‌سازی[4]، مایع‌شدن[5]، جذب‌فیزیکی[6] و جذب‌شیمیایی[7] روش‌های ذخیره‌سازی هیدروژن هستند. هیدروژن دارای ایزوتوپ‌های هیدروژن، دوتریم و تریتیم است.

ایزوتوپ‌های هیدروژن مولکول‌های کوالانسی (T_2, D_2, H_2) را تشکیل می‌دهند. هیدروژن بر خلاف دیگر عناصر رفتار دوگانه دارد. به صورت یک آنیون (H^-) یا کاتیون (H^+) در ترکیبات یونی، پیوند کوالانسی با کربن تشکیل می‌دهد و یا حتی همانند یک فلز برای تشکیل آلیاژها یا ترکیبات بین فلزی در دمای ۲۹۸/۱۵ کلوین رفتار می‌کند[۴]. دیاگرام فاز مولکول H_2 در شکل۱-۱ نشان داده شده است. هیدروژن در دمای پایین۲۶۲- درجه سانتی‌گراد به صورت جامد است، در دمای بالاتر صفر درجه سانتی گراد و فشار یک بار، به حالت گاز است. هیدروژن بین نقاط سه‌گانه و بحرانی در دمای ۲۵۳- درجه سانتی‌گراد، به صورت مایع است[۵].

۱-۲-۱ متراکم‌سازی

[1] Alkaline fuel cell
[2] Phosphoric acid fuel cell
[3] Solid Oxide fuel cell
[4] Compression
[5] Liquefaction
[6] Physisorption
[7] Chemisorption

رایج‌ترین سیستم ذخیره‌سازی هیدروژن سیلندرهای گاز فشار بالا با حداکثر فشار ۲۰مگا پاسکال هستند. اگر چه این قبیل سیلندرهای صنعتی به طور تجاری در دسترس نیستند. صنعت برای ساخت سیلندرها با تحمل فشار ۷۰ مگا پاسکال، وزن ۱۱۰ کیلوگرم و دانسیته حجمی ۳۰ کیلوگرم برسانتی‌متر مکعب یکسری برنامه‌ها طراحی کرده است. سیلندرهای مرکب با وزن پایین در فشارهای بالای ۸۰ مگا پاسکال مقاوم هستند. سیلندرها باید استحکام کششی بالا و دانسیته پایین داشته باشند، با هیدروژن واکنش نداده و هیدروژن از آن‌ها نشر نکند. اکثر سیلندرهای فشار بالا از جنس فولاد ضدزنگ، مس یا آلیاژهای با قدرت بالا مانند تیتانیم هستند. اتوبوس‌های هیدروژنی که در لندن به کارگرفته شده‌اند از سیلندرهای فولادی با فشار ۱۵۰ بار استفاده می‌کنند.



شکل ۱-۱ دیاگرام فاز مولکول هیدروژن[۴]

قیمت بالای متراکم‌سازی و سیلندر مانع از این می‌شود که این روش به طور تجاری قابل قبول باشد. هیدروژن با استفاده از دستگاه‌هایی که به صورت مکانیکی عمل می‌کنند فشرده می‌شود. کار تئوری لازم برای فشرده کردن ایزوترمال هیدروژن با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta G = R.T \, Ln \, (P/P^{\circ}) \qquad (۱-۱)$$