

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22740189

研究課題名（和文） ナノ隔膜を用いた超薄型液体／固体水素標的の開発

研究課題名（英文） Development of ultrathin solid/liquid hydrogen target using nano-thin foil.

研究代表者

西村 美月（倉田美月）(NISHIMURA MIZUKI)

独立行政法人理化学研究所・櫻井R1物理研究室・リサーチアソシエイト

研究者番号：60392065

研究成果の概要（和文）：

ナノメンブレン社より厚み $200\mu\text{m}$ のナノ薄膜を入手し水素閉じ込めテストを行った。物理的強度が不十分という結果で実用には不可と判断した。次に、有機材料膜で最薄かつ物理的強度の高い薄膜として東レ製ミクトロン $3.6\mu\text{m}$ に着眼し、極低温下での耐压実験を行った。

有効厚み 3mm のテスト用セルを作成し、①常温大気圧下において少なくとも圧力差 1.73 気圧まで膨張変形をしながらも耐えられる。②液体水素臨界温度 18K 以下で液体水素を閉じ込めできる。ことを実証した。

詳しい形状変化についても詳細なデータを得る事ができ、厚さ $12\mu\text{m}$ のルミナー薄膜（ヤング率 4GPa ）と等価の物理強度であり実用に耐えられることを検証した。

研究成果の概要（英文）：

The ultrathin foil with a thickness of 200 nm provided by Nano Membrane was investigated. However, it was found not to be strong enough physically for confining hydrogen in the vacuum. A MICTRON foil (TORAY) with the thickness of $3.6\mu\text{ m}$ was tested, which was the thinnest nonmetallic foil commercially available. The micron window bulged out at the certain values of the inner pressure; however, it withstood pressure difference up to 2 atmosphere. Below the temperature of 18K , hydrogen at the pressure of 423 hPa was confined to the cell and fully liquefied successfully. The physical strength is almost equivalent to $12\mu\text{ m}$ luminor foil, whose young's modulus is 4GPa .

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 2,000,000 | 600,000 | 2,600,000 |
| 2011年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,300,000 | 990,000 | 4,290,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：原子核反応実験、質量欠損測定法、陽子標的

1. 研究開始当初の背景

不安定原子核の研究には陽子との散乱実験は非常に重要な手法である。通常は CH_2 膜を用いるが、重量比で 6/7 含まれる C からのバックグラウンドが問題である。

そこで、各国の原子核研究所にて固体/液体水素標的が開発されてきた。しかし、我々の要求する厚み ($1\text{mg}/\text{cm}^2$)、広い有効断面積 ($>30\text{mm}\Phi$) を満たす物は存在しない。

類似の技術としては例えば、カナダ・TRIUMF 研究所で開発された片面水素膜がある。低温にした金膜の片面に水素を吹き付けて膜状にしたもので、通常 2 面ある膜が片面だけという利点はあるが、吹き付けて固定できる水素の層が薄すぎて統計が稼げないという問題点がある。

またこれまでに RIBF での実験の為、膜なし固体水素ターゲット および液体水素ターゲットの開発が進められてきた経緯がある。固体水素ターゲットはクライオスタット中に設置した厚い膜で覆ったターゲットセルの中に低温の水素ガスを注入し、7 K まで冷却することでガスから凝固させる。固体化したところで両側の膜を取り外す。膜を取り除いた後セルフサポートできるようにある程度の厚みが必要となり、4 mm 以上を必要としている。これでは厚すぎて我々の測定には利用できない。

そこで、極薄の膜を隔壁として利用できるかどうかの研究の鍵となっている。

2. 研究の目的

水素標的の厚みを $100\mu\text{m}$ 程度にするには真空で水素を閉じ込める隔壁の厚みが問題となる。厚い隔壁では膜での反応がバックグラウンドを増やしてしまう。つまり超薄型の水素標的には極薄の膜を用いる必要がある。

そこで、我々は近年開発が著しいナノ薄膜に着目し、極低温での耐圧性と水素閉じ込め能力について検討を行い、超薄型の水素標的を開発することを目的とする。

そこで、これまでに蓄積してきたノウハウを継承しつつ新たな試みとして超薄型水素標的の開発を押し進める。取り除く必要がない薄いナノ薄膜を隔壁として利用すること

でバックグラウンドも少なく強度的にも耐えられる水素標的を実現する。ナノ薄膜は理研ベンチャー『ナノメンブレン』の協力を得られるよう交渉済みである。国武氏はこれまでに厚さ 25nm 以下、面積 $4\times 3\text{cm}^2$ という巨大ナノ膜の作製に成功しており、かつ圧力テストでも 1 気圧に耐えられる事を実験的に確かめている。

このナノメンブレンの高い技術を利用してナノオーダーの隔壁を用いて、本研究を推進する。この技術を低温にまで拡張し、超薄型水素標的を開発することを本研究の目的とする。

本課題研究の成果は RIBF で今後行われる実験に広く用いられる事が考えられ、重要な波及効果をもたらすと期待できる。

3. 研究の方法

理研ベンチャーであるナノメンブレン協力の元、生体内部の丈夫な生体膜を参考に人工的に合成したナノ薄膜を利用する。これまでの研究により 4cm 角程度の大きさで 1 気圧までの圧力に耐えられることが実証されているので、ここでは新たに液体ヘリウム温度の低温での物理特性がどのように変わるかを詳細に調べる必要がある。そこで様々な厚さ、面積のナノ薄膜に対して耐低温および耐圧テストを行う。これらは面積と厚みに依存すると考えられるため、これらのパラメータを変えながら 10K までの低温での物理特性を調べる。一連の測定データを元に最適なターゲットセルの構造を考案し、実験に利用できる形状を設計する。

4. 研究成果

超薄型の水素標的を作成するために最大の課題である隔壁の性能検証実験を行った。2010 年度、ナノ薄膜を理研ベンチャーであるナノメンブレンより厚み $200\mu\text{m}$ の薄膜の調達できた。顕微鏡写真を図 1 に示す。1 気圧まで耐えられたと言われていたが、製造過程ですべて手作業であり製法完全に確立していないため現段階では均一な膜に仕上げることが難しく、準備の段階で物理的強度が

不十分という結果で実用には不可と判断した。

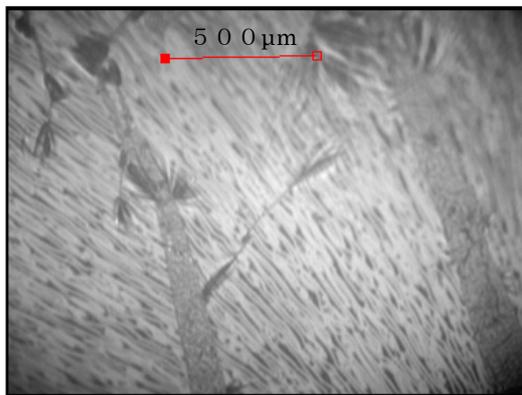


図 1：ナノ薄膜顕微鏡写真

そこで、市場で調達可能な有機材料膜で最薄かつ物理的強度の高い薄膜として東レ製ミクトロン 3.6 μm に着眼し、極低温下での耐圧実験を行った。

セルとして厚み 20mm の本体に 20mmΦ の窓枠の片面にミクトロン 3.6 μm を一方の面にハーバー膜 6 μm を低温用接着剤で接着し、本体に対してインジウム線をシールド剤とし固定した。有効厚み 3mm のテスト用セルを作成し次の実験を行った。

1. 常温大気圧下にてセル内部に窒素気体を封入し耐圧性を確認した。結果、少なくとも圧力差 1.73 気圧まで膨張変形をしながらも耐えられることが確認できた。
2. 次に液体水素臨界温度 18K 以下まで冷却し、水素の閉じ込めができるかの確認を行った。18K に到達した時点で 0.5 気圧の水素ガスを導入したところ、セル内部で液化を始め、5 分後にはセル体積約 10cm³ を液体水素で満たす事に成功した。
3. 液体水素で満たされた状態で膜の変形度を 2次元レーザー変位計で計測を行った。ミクトロン膜は透明な薄膜であるが、レーザーの反射光を CMOS 画像で選択的に計測することでミクトロン膜表面の形状と裏面のハーバー膜の形状

を同一セッティングで計測することが出来た。(図 2)

本膜は極低温で液体水素を閉じ込めることが出来る事を実証し、詳しい形状についても詳細なデータを得る事ができた。その結果、厚さ 1.2 μm のルミナー薄膜(ヤング率 4GPa)と等価の物理強度であり実用に耐えられることを検証した。(図 3)

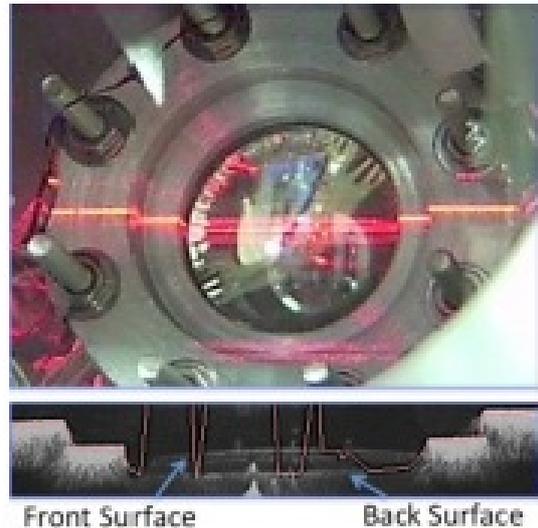


図 2：ミクトロン膜を用いて内部に液体水素を閉じ込めたセル。膜の形状を 2次元レーザー変位計で計測

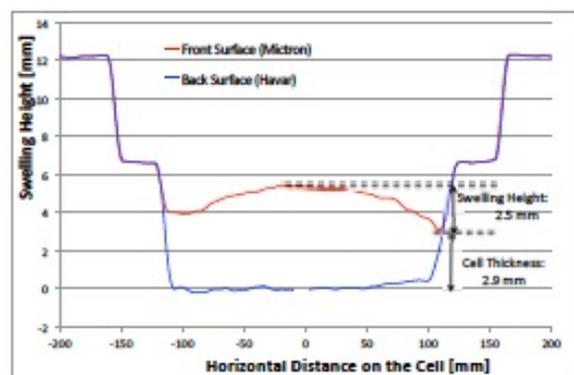


図 3：図 2 の計測結果

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 1 件)

① RIKEN Accel. Prog. Rep. 44 (2011)
p218-219

M. Kurata-Nishimura, Y. Kondo, N. Tanaka,
K. Takahashi, N. Kobayashi, A. Matta and
D. Beumel (査読あり)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 美月 (倉田美月) (NISHIMURA MIZUKI)
独立行政法人理化学研究所・櫻井 R I 物理研
究室・リサーチアソシエイト
研究者番号: 6 0 3 9 2 0 6 5