高耐圧透視型クライオスタット

石原 信弘* 石井 孝明**

*広島大学理学部物理学教室 広島市東千田町 1-1-89

**東京農工大学工学部応用物理学教室 東京都小金井市中町 2-24-16

(1972年7月10日受理)

“High Pressure See-through Cryogenic Chamber for Bubble Formation Study”

by Nobuhiro ISHIIHARA* and Takaaki ISHII**

*Department of Faculty of Science, Hiroshima Univ.
1-1-89 Higashisenda-cho, Hiroshima-shi**Department of Applied Physics, Faculty of Technology,
Tokyo Univ. of Agriculture and Technology
2-24-16 Naka-machi, Higashikoganei-shi, Tokyo

(Received July 10, 1972)

1. まえがき

液体水素超音波泡箱¹⁾の開発を目的としたクライオスタットを製作したので、ここに紹介する。このクライオスタットに要求される性能は、水素の臨界圧 (13 atm) まで耐えること、発生した泡の鮮明な写真を撮影できることの二点である。これらの要求を満たすのに最も必要なのは、圧力に耐える十分な厚さと、光学的に優秀な性能を持つ、のぞき窓である。幸い後述するような光学ガラスが手元にあったので、それを使用して満足のいくクライオスタットを、製作することができた。われわれのもう一つの問題点は、入手可能な20lほどの少量の液体水素を、有効に本体内に溜めることであったが、液体窒素で予冷した後、液体水素を直接本体内に充填することにより、この点も解決することができた。

2. クライオスタット本体

クライオスタット本体の重量は、窓ガラスも含めて、約 15 kg で、容量は約 1.1 l である。その概念図を図1に示す。

本体は、後述する真空槽の上蓋 (トッププレート) と一体になっており、必要に応じて真空槽から引出することができる。(図2参照)

本体の材質は、窓ガラスを除いて、全てステンレススチール (SUS 27) である。窓ガラスは、BK 7 といわれる光学ガラスで、直径 13 cm、厚さ 4 cm の円板状である。クライオスタットの耐圧は、事実上窓ガラスの歪強度によって決定されるので、十分な安全率が必要となる。水素の臨界温度 33.2°K における BK 7 の破壊強度は約 $700 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ である。一方、臨界圧 13 atm で、このガラスにかかる最大歪力は、約 $27 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ と計算されるから、安全率は約 26 となり、強度的には十分である。低温部でのメタルとメタル、またはガラスとメタルの接合部は、直径 2mm または 3mm のインジウムをパッキンとして使用し、二重にシールされている。二重シールの間には細い溝があって真空に引かれる。メタルとガラスの接合部では、それぞれの収縮率の違いが懸念された。常温から水素温度に冷却するとき、窓ガラスの直径方向の収縮は約 0.06 mm で、SUS 27 のそれは約 0.3 mm であるから、シール部分では約 0.12 mm のずれが生じることになる。この程度のずれは、インジウム内部のずれによって十分補えると思われたので、特別の措置はとらなかった。

3. 真空槽と熱輻射シールド

クライオスタットは真空槽に入れられ、外部と熱絶

図 1 クライオスタット概念図

縁される。真空槽は、厚さ 1.5 cm の鉄板を電気溶接して作られ、内側は熱の輻射損失を防ぐためクロムメッキされている。また、クライオスタット内を照明し、写真撮影が可能のように、本体の窓と同じ位置に窓ガラスが取付けられている。これに使用されたガラスは、本体に使用したものと同じである。真空槽の上蓋であるトッププレートは材質は SUS 27 で、縦 30 cm、横 80 cm、厚さ 2.5 cm である。これには、本体を支持するシリンダー（直径 8 cm、長さ 49.7 cm、厚さ 0.15 cm）がアルゴン溶接され、さらに本体まわりの配管の出入口、電気端子が全て導かれている。真空槽内は常に $\sim 10^{-5}$ torr に保たねばならない。真空が劣化すると、熱損失が増すばかりでなく、窓ガラスに霜が付着して写真撮影が不可能となる。輻射損失を防ぐには、多層真空断熱法を採用した。すなわち、アルミニウムを四重に蒸着した厚さ約 $12\mu\text{m}$ のポリエステルを、約 40 層、本体、低温配管部に巻いて使用した。

4. 予冷系統と液体水素供給系統

このクライオスタットには厚い窓ガラスが取付けられているので、急激な冷却はできない。そこで、液体窒素で徐々に予冷し、その後、液体水素を少量ずつ入れていく方法をとった。そのための予冷系と水素供給系の系統図を図 3 に示す。

予冷系統の本体部には、銅パイプ ($6\text{mm}\phi \times 1\text{mm}$) が巻かれ、半田付けされ、本体との熱交換がなされる。本体部以外の配管は、熱の伝導損失を防ぐため SUS 27 のパイプでなされている。液体水素供給系統の配管は、少部分の接合部を除いて、全て SUS 27 のパイプである。低温弁 (H-1) は、液体水素の供給量を調節するためと、本体の内圧を上げる際、外部供給系との連絡を絶つために必要である。この弁の材質も SUS 27 であり、配管部との接合にはインジウムパッキングが用いられた。予冷、供給系共、出入口はトッププレート上にある。トッププレートと真空槽のシールには、ゴムパッキングが使用されてあるうえ、絶縁材としてガラスを

使用した電気端子も取付けられているので、トッププレートが冷え込んではならない。このため、低温部とトッププレートとは、最低 30 cm 以上のステンレスパイプ（厚さ 1.5 mm 以下）を介して連結されるよう

図 2 クライオスタット外観

二重管になっている。この二重管の部分には、圧力連成計も取付けられていて、本体や配管の真空引き、ガス置換、液体のトランスファなどの様子を素早く知ることができる。言うまでもなく、実験室内に水素が漏れることは許されないのので、外部配管は全て銅パイプでなされ、放出口は屋外へ導かれた。

5. 装置の冷却と結果

冷却は、まず液体窒素で予冷することから始まる。その際、本体には水素ガスで置換し、常に加圧状態にしておく。このことは、冷却によって本体内部が減圧され、空気を吸込むことを防ぐために必要である。予冷系統、本体各部の温度は、銅-コンスタンタン熱電対温度計で記録される。（図 3 参照）効率よく冷却するためには、温度計の描くカーブを見ながら、N-1 のバルブで液体窒素の流量を調節する。常温から液体窒素温度まで冷却するのに要する時間は、約 12 時間であり、これに要する液体窒素は、約 100 l である。本体の温度が約 90°K になったとき、本体内部に液体水素を徐々に供給し、水素による直接冷却を始める。この時の流量調節は、低温弁（H-1）によって行なう。本体が完全に窒素温度になったとき、液体窒素の供給を止め、予冷系統を真空に引く。その後も液体水素による冷却を約 2 時間続けることにより、完全に液体水素温度まで下げることができる。この間に要する液体水素は約 11 l である。その後は液体水素を一度に供給し

図 3 予冷系統と液体水素供給系統図

図4 本体冷却曲線

てよい。常温から液体水素温度までの、本体の代表的な温度変化を図4に示す。

液体水素が本体に入った後の静的熱損失は、約 6 watt であった。これは、20.2°K, 1 atm のもとで、液体水素の消費量約 700 ml・hr⁻¹ に相当する。耐圧テストは、これより以前、液体窒素を用いて 16 atm まで行なわれたが、真空槽内の真空度は 1×10^{-5} torr で安定し、異常は認められなかった。今回のテストでは 14l の液体水素を使用して、超音波泡箱の予備実験を約 2.5 時間行なうことができた。

6. あとがき

われわれは、液体水素中の超音波場で、荷電粒子による泡の発生の素過程を調べ、最終的には、超音波泡

箱として実用化することを目指し、現在データをとつつある。また、水素温度で光学的測定を行なうような実験、たとえば、水やフロンで観測された、泡発生のレーザーによる影響²⁾、音響ルミネッセンス³⁾ などについても、このクライオスタットを用いて実験する予定である。

製作、実験にあたっては、高エネルギー研究所の平林助教授、田井野技官、東京大学原子核研究所工作室の方々および東京大学低温センターの方々の御協力をいただいたので、ここに厚くお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) A. H. Rogers and R. C. A. Brown; CERN, NPA/Int. 67-9
R. C. A. Brown, H. J. Hilke and A. H. Rogers; Nature, No. 220 (1968), 1177
R. C. A. Brown, G. Harigel and H. J. Hilke; Nuc. Inst. Meth. 82 (1970), 327
V. A. Akulich, L. R. Garrilov, V. G. Grebinnik, V. A. Jukov, G. Libman, A. P. Marich, Yu. J. Rudin, L. D. Rosenberg and G. J. Selivanov; Bubble Chambers, Dubna 13-4466 (1969), 164
H. J. Hilke; CERN/D. Ph. /USBC/70-3 (1970)
平林洋美：応用物理，第40巻 第4号 (1971)，422
R. C. A. Brown, G. Harigel, H. J. Hilke and P. D. Jarman; Proc. Int. Conf. on B.C. Tech.
- 2) G. A. Askaryan, A. M. Prokhorov, G. F. Chanturiya and G. P. Shipulo; Sov. Phys. JETP 17 (1963), 1463
R. C. Stamberg and D. E. Gillespie; J. Appl. Phys. 37 (1966), 459
- 3) P. D. Jarman and K. J. Taylor; J. Acoust. Soc. Am. 39 (1966), 584