

放射線触媒による熱特性の改善

(第2報 半導体被膜材料表面のライデンフロスト温度)

Improvement of Thermal Characteristics by Radiation Catalyst

(2nd Report, Leidenfrost Temperature on Surface of Semiconductor-coated Material)

機学 *今井 康之 (東船大院) 伝正 賞雅 寛而 (東船大)
伝正 岡本 孝司 (東大) 機正 小川 矩弘 (東大)
伝正 三島 嘉一郎 (京大) 植松 進 (船研)

Yasuyuki IMAI¹, Tomoji TAKAMASA¹, Koji OKAMOTO²,
Norihiro OGAWA³, Kaichiro MISHIMA⁴ and Susumu UEMATSU⁵

¹Tokyo University of Mercantile Marine, 2-1-6, Etchujima, Koto-ku, Tokyo, 135-8533

²University of Tokyo, 2-22, Shirakata, Tokai-mura, Nakagun, Ibaraki, 319-1188

³University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8654

⁴Kyoto University, Noda, Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka, 590-0494

⁵Ship Research Institute, 6-38-1, Shinkawa, Mitaka-shi, Tokyo, 181-0004

An experimental study to investigate Leidenfrost temperature was performed by use of oxide semiconductor-coated materials under γ ray radiation environment. The purpose of the experiment was to clarify the thermal properties of the materials irradiated by γ ray, to improve the critical heat flux. Two ^{60}Co γ ray facilities in University of Tokyo and in Kyoto University were used in the experiment. Leidenfrost temperature or lifetime of water droplet on the heated material surface was measured by use of a lead-bismuth pot and a CCD video camera. The results revealed that Leidenfrost temperature on the surface of oxide-titanium increased about 20-50 after γ ray irradiation. This effect of radiation catalyst was lost after the end of the irradiation.

Key Words : Radiation catalyst, Semiconductor-coated material, Thermal characteristics, Leidenfrost temperature

1. 緒言

前報⁽¹⁾に引き続き、線による触媒反応を用いた沸騰熱伝達特性の向上を目的とし、 ^{60}Co 線照射による酸化チタンなどの半導体被膜材料におけるライデンフロスト温度の向上を確認する実験を行った。半導体被膜材料(表面酸化されたチタン、ジルカロイ 4、SUS304 及び銅)における線照射による濡れ性の変化、すなわち液滴接触角の変化を測定した前報では、線照射によりいずれの半導体被膜材料も接触角の減少、すなわち濡れ性の向上が行なわれることが示された。

ライデンフロスト温度については、限界熱流束 CHF との関連から多くの研究がなされている。しかしながら表面濡れ性(接触角)とライデンフロスト温度の関連を直接調べている研究はない。これは、表面物性のうち、濡れ性だけをコントロールする手段がない(熱伝導率や密度も同時に変化してしまう)ためである。表面濡れ性の指標となる表面粗さとライデンフロスト温度の関係については、いくつかの優れた報告がなされているが、ライデンフロスト温度が加熱面粗度に大きく影響される結果⁽²⁾とあまり影響されない⁽³⁾という異なる結果が示されており、見解の一致を見ていない。

2. 実験装置とライデンフロスト温度計測

試験片(チタン、ジルカロイ No.4; 30×30×3mm)の表面は、照射温度 4,000、照射時間 11 分のプラズマ照射によって安定した酸化被膜が形成されている。線照射は、東大及び京大の ^{60}Co 照射施設を用いて行われた。線照射室から取り出された直後の試験片は、設定温度に保持された熔融鉛ビスマスの上に置かれ、10 μl の純水を滴定される(図 1)。蒸発・運動により、液滴が試験片表面から飛び出すのを防ぐために試験片中心は約 0.5mm くらぼんでいる。予備実験の結果、8 分間の放置後、試験片表面温度は、鉛ビスマス温度とほぼ同じになることが確認されている。液滴の蒸発現象は、

CCD カメラにより撮影され、液滴消滅時間が計測される。

3. 線照射によるライデンフロスト温度の変化

図 2 に線照射前と照射後(積算照射量 250kGy)の液滴蒸発現象マップの一例を示す。図中記号、○は滴定すると安定した膜沸騰が生じライデンフロスト状態になっている; △は膜沸騰状態であるが不安定で、液滴が加熱面表面を運動する; □は滴定直後、液滴になって飛び散る; ×は液滴が膜沸騰を生ぜず完全に表面に付着してすぐに蒸発する状態を、それぞれ示している。図に示されるように、照射前は 240 で安定した膜沸騰状態すなわちライデンフロスト状態にな

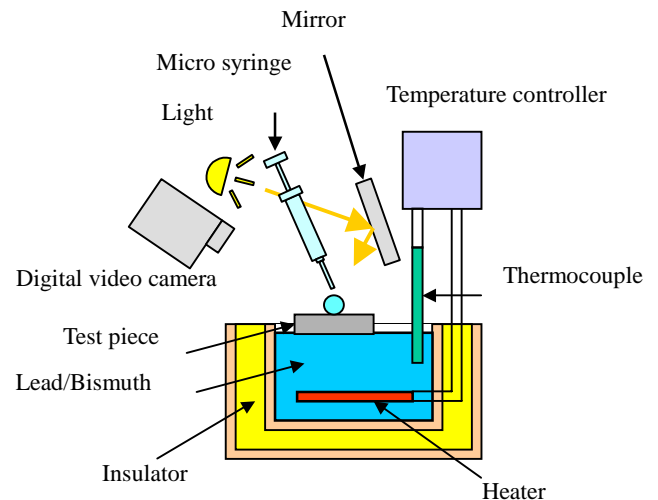


Fig. 1 Apparatus

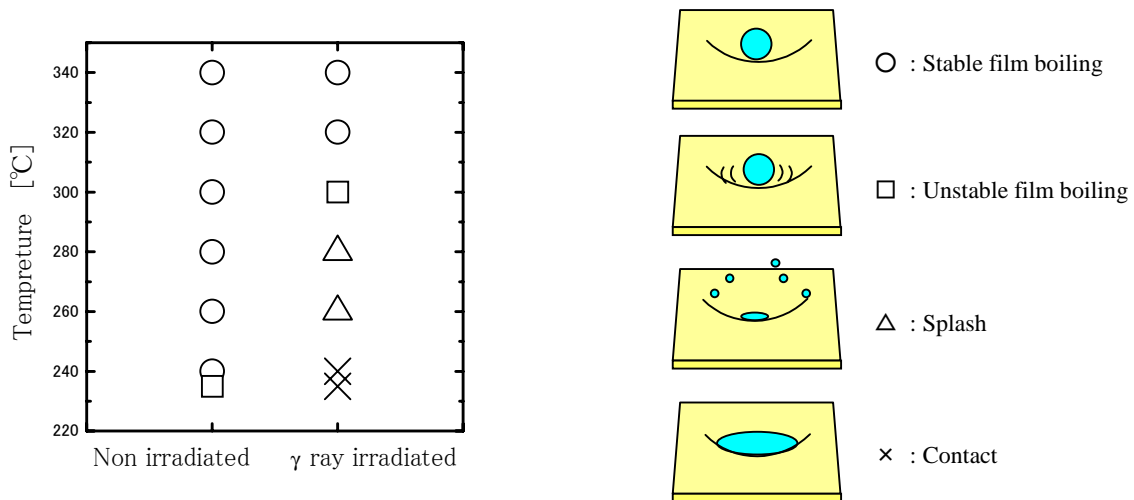


Figure 2 Phenomena map of Leidenfrost conditions (Titanium, Before and after 250kGy γ ray irradiated)

っているのに対し、積算照射線量 250kGy 照射では、300 近くまで完全接触、もしくは液滴が飛び散る状態になり、ライデンフロスト状態にならない。図 3 に表面温度 235 の時の照射前、照射後の液滴挙動を示す。照射前は液滴が完全な球状となって、ライデンフロスト状態に達しているのに対し、照射後は表面に完全に付着した状態になっていることがわかる。

図 4 に 線照射前と照射後(積算照射線量 1,600kGy)の液滴消滅時間を示す。照射前は試験片表面温度 280 前後から液滴消滅時間が長くなる、すなわち膜沸騰状態になるのに対し、照射後は 320 で長くなる。また照射前は 350 で安定した膜沸騰(液滴消滅時間 40 - 50 秒)になるのに対し、照射後は 370 前後で安定した膜沸騰になることがわかる。今回の実験全てのケースにおいて照射後約 3 週間暗所においた試験片は、線触媒効果がなくなり、照射前とほぼ同様のライデンフロスト温度になることが確認された。

このように半導体被膜材料への 線照射により、ライデンフロスト温度の向上が確認された。しかしながらライデンフロスト温度は表面状態に大きく影響されるために試験片の個体差によってばらつきが大きく、したがってライデンフロスト温度の向上も例えばチタンでは 20 から 50 にわたる。現象に与えるパラメータとしては 線強度、積算線量、酸化被膜の厚さなどがあるが、この実験値のばらつきのために、パラメータの影響はこの実験結果からは、はっきりしていない。さらにライデンフロスト温度の測定に際しては、照射中の測定がなされていないために、照射直後から測定するまでの時間によってどの程度の影響があるかもこれからの課題である。また第 1 報の結果を踏まえれば、線照射によって半導体被膜材料の液滴接触角は減少し、この実験結果ではライデンフロスト温度は向上しているので、「定性的に表面濡れ性はライデンフロスト温度に係る」ということができるだろう。しかしながらこの 2 つの熱的特性、表面濡れ性とライデンフロスト温度の定量的関係を明らかにするためには上述のばらつきを少なくするような実験がさらに必要である。

参考文献

- (1) 賞雅・他 6 名, 第 38 回伝熱シンポ講演論文集, (2001).
- (2) Bernardin, J. D., 他 2 名, Int. J. Heat Mass Transfer, 40-1(1997), pp.73-88.
- (3) Nagai, N., and Nishio, S., Exp. Ther. Fluid Sci., 12-3(1996), pp.373-379.

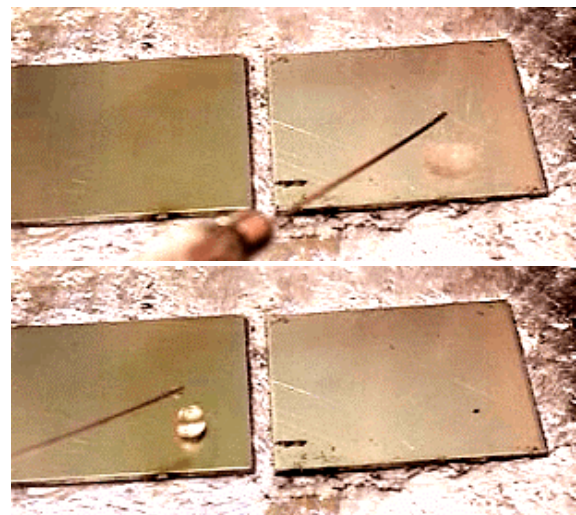


Figure 3 Leidenfrost conditions (Titanium, 235 °C, Right : 250kGy irradiated, Left : non irradiated)

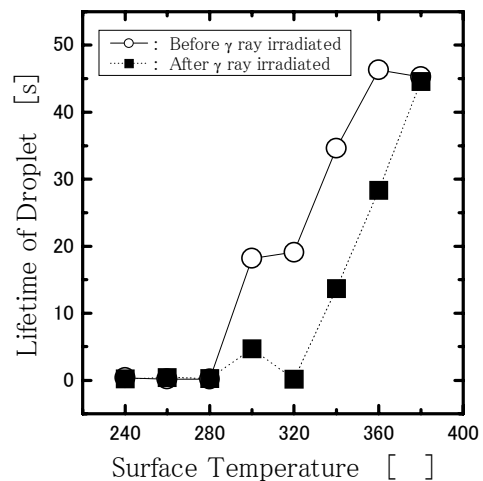


Figure 4 Lifetime of Droplet (Zircalloy NO. 4, Before and after 1,600kGy γ ray irradiated)