レーザー・レター 2

レーザー核融合ターゲット用
TaCHO プッシャーコーティング

乗 松 孝 好*・辻 本 明*・山中千代衛*

(1980年6月17日 受理)

TaCHO Pusher Coating for Laser Fusion Target

Takayoshi NORIMATSU*, Akira TSUJIMOTO* and Chiyoe YAMANAKA*

(Received June 17, 1980)

A new coating technique of TaCHO pusher on a glass microballoon has been developed by the combination of plasma polymerization and physical vapor deposition. Doping rate of Ta was varied upto 25%. Uniformity of the density of doped Ta was better than 97%. Plastic coatings which contained high Z atoms such as Pb or Au were also possible by the same technique.

1. はじめに

レーザー核融合で高密度圧縮を実現するためには高速電子による燃料のプリヒートを抑制し、燃料を低温に保ったまま圧縮する必要がある。このため初期には燃料の周囲に熱伝導が悪く質量の大きい高Z物質をコーティングし、さらに外側に熱伝導の良い低Z物質をコーティングして温度の不均一をなくし高密度に圧縮することが提案された。¹⁾しかしながら2つのコーティング層は密度差が大きいため圧縮の過程でその境界面に流体力学的不安定性を生じる恐れがある。安定に圧縮できるものとしてTaCHO プッシャーコーティングが提案された。²⁾TaCHOは原子番号の低い基材の中に数%の原子番号の大きい物質(Ta)を含ませたものである。高速電子の侵入深さは Z^2 に比例し³⁾密度は Z に比例する。したがってTaCHOは密度は基材とほぼ同じでありな

がら、有効に高速電子の侵入を抑制することができ、高利得ターゲットには不可欠なものとして注目を引いた。しかしながら具体的なコーティング法は発表されないまま現在に至っている。

プラズマ重合法により低沸点のテトラエチル鉛を用い、金属を含むプラスチックをコーティングする方法は、J. Goodman などによりコンデンサー用薄膜の誘電率を高める目的で開発された。⁴⁾筆者らはこの方法に改良を加え、プラズマ重合法と蒸着法を組み合わせ、レーザー核融合用ターゲットに応用し、 Z^2 が大きく Z が小さいコーティングを行なった。筆者らの方法は金属のみの場合でも可能である。

現段階で高利得ターゲットとして望まれる条件は、1) 高Z物質の混合率が数%以上で可変であること。2) 10 μ m以上の厚さにまでコーティングできること。3) 均一性は98%以上で

* 大阪大学レーザー核融合研究センター (〒565 吹田市山田上)

* Institute of Laser Engineering, Osaka University (Yamada-kami, Suita, 565, Japan)

あること。4) コーティング膜表面の凹凸は $200 \text{ \AA}$ 以下であること⁵⁾ などである。実験結果は表面の凹凸を除きほぼ要求を満すものであった。

2. 実験装置と方法

プラズマ重合は低圧のモノマーガス中で放電を行ない、イオン、電子などの衝突によりモノマーを活性化し、高分子を形成するものである。^{6,7)} 高分子を形成する過程で雰囲気中のモノマー以外の分子を炭素チェーンの一部又はその隙間に取り込むので、本来高分子を形成しない物質でも化合物又は混合物としてコーティング可能である。実験装置の概略を Fig. 1 に示す。モノマーガス（本実験の場合エチレン）および放電安定用のアルゴンガスは調圧器・フローメータ・ニードルバルブを通して反応チャンバー内に導かれる。排気系はメカニカルブースターポンプとロータリーポンプで構成され、バルブコントロールにより標準状態で最大 100 cc/分 のガス流入に対してチャンバー内圧を 3 Torr にする能力がある。圧力はピラニゲージと水銀マノメータで測定した。

高Z物質としてTa, Pb, Anを選び加熱して蒸

気を作りコーティングした。融点の高いタンタルはアルコレートを利用し、Pb, Au は直接加熱した。タンタルアルコレート（液体）の場合は水銀温度計で、Pb, Au の場合は光高温計で温度を測定し、蒸気発生量の目安とした。

アルコレートの一種であるタンタリウムペントタクトキシド ($\text{Ta}(\text{OC}_4\text{H}_9)_5$) を高Z源として用いた場合のコーティング手順は次の通りである。試料としてささえの付いたガラスマイクロバルーンターゲット⁸⁾を高Z源上方に固定した。アルコレート容器の中にはキャピラリーを入れ突沸による試料の汚染を防いだ。突沸は室温では 1 Torr 150°C では 0.3 Torr 付近で発生した。エチレンガスとアルゴンガスの分圧をそれぞれ 0.08 Torr に設定後アルコレートを 160°C まで加熱し、放電を始めた。放電後は速やかに 195°C ($\text{Ta}(\text{OC}_2\text{H}_5)_5$ の場合は 145°C) まで加熱し定常運転にはいった。コーティング終了後はエチレンを止め、アルコレートの温度が十分下ってから放電を停止した。これはアルコレートの蒸気が多い間に放電を止めると、停止と同時にアルコレートの霧が発生し、ターゲットに付着して均一性を損うからである。

3. 実験結果

3.1 混合量の測定

混合量の測定はX線アナライザーを用いてカーボンファイバー上にコーティングした試料で行なった。これは高Z源としてタンタルアルコレートを用いた場合ガラス中のSiのK線とTaのM線が重複するためである。Fig. 2 はX線アナライザーの出力で、横軸はX線エネルギー、縦軸はフォトン数である。破線は金属タンタルからのスペクトルで、棒線は同じ電子ビーム条件下でのコーティング膜からのスペクトルである。この例では重量比で21%のタンタルが含まれていることがわかる。

Fig. 3 は蒸発源から試料までの距離とTaの混合量との関係を示す。Taの混合量は距離に対して指数的に減少していることから、タンタルアルコレートは拡散により飛来していることが

Fig. 1. Schematic diagram of TaCHO pusher coater.

○ X RAY SPECTRUM FROM Ta
 ▲ X RAY SPECTRUM FROM TaCHO

Fig. 2. X ray spectra from TaCHO pusher.

Fig. 3. Content of Ta in TaCHO layer on target vs. distance between source and target.

Fig. 4. X ray photograph of double layered target.

わかる。最大混合量はタンタルアルコレートの凝結、コーティング膜のクラックの発生などで、きまり、 $\text{Ta}(\text{OC}_2\text{H}_5)_5$ を用いた場合25%であった。

高Z物質としてPb, Auなどを用いた場合も混合量と距離の関係は同様であった。混合量はPbの場合、蒸発源の温度500℃距離4cmで13%であった。

3.2 厚さと混合量の均一性

厚さの均一性はガラスマイクロバルーンにコーティング後X線コンタクトグラフで撮影して調べた。混合量の均一性はさらにマイクロデンスイトレーサーで各部のX線吸収量を評価して調べた。Fig. 4は直径130 μm のガラスマイクロバルーン上にTaCHOを6 μm コーティングし、さらにポリエチレンを8 μm コーティングした多層ターゲットのX線写真である。図中蒸発源は右方にある。厚さの均一性は95%であり、これはプラズマ重合合法本来の均一性と同様である。高Z源に向かった側と反対側での混合量の差は3%以下であった。本実験条件では高Z分子は数10 μm 平均自由行程をもつ熱運動を伴って拡散するため蒸発源側だけに局在することはない。

3.3 表面状態

表面状態は走査型電子顕微鏡で観察した。一例としてガラスパイプ上にコーティングした場合をFig. 5に示す。一番内側の層はPbを13%含み第2層は10%、第3層はポリエチレンだけである。最外層のコーティング表面は高さ2~3 μm 、底辺5~8 μm の円丘が集めた状態になっている。これはプラズマ重合合法だけの場合と同様であり、表面の凹凸はコーティング膜厚に比例する傾向がある。

4. 結論

プラズマ重合合法と蒸着法を組合せることによって高利得ターゲットに必要なTaCHOプッシャーコーティングを行なった。高Z物質の混合量は最大25%まで可能で、この範囲内でプラズマ

Fig. 5. Cross section of Pb doped polyethylene layers on glass capillary.

重合法本来の特徴を損なうことなくコーティングできた。コーティング膜厚および高Z物質の分布も均一なものであった。表面は $2\mu\text{m}$ 程度の凹凸があり1/100にまで改良しなければならない。このためには基板の表面処理やコーティング条件の検討を行なうとともに、コーティング膜表面の研磨などで対処する必要がある。

参 考 文 献

- 1) R. J. Fries, E. H. Farnum: Los Alamos Scientific Laboratory Repts. LA-5703-SR (1975)
- 2) LLL Laser Program Annual. Repts. UCRL-50021-76 (1976) p.4-45
- 3) 矢部: 私信
- 4) J. Goodman: USA Patent No 3239368
- 5) LLL Laser Program Annual Repts. UCRL-50021-76 (1976) Section 4
- 6) T. Williams and M. W. Hays: Nature, 209 (1969) 769
- 7) Kobayashi, H. Bell; et al: J. Appl. Polym. Sci. 17 (1973) 885
- 8) T. Norimatsu, K. Hashizume, A. Tsujimoto, T. Sasaki, T. Yamanaka, C. Yamanaka: Japan. J. Appl. Phys. 17 (1978) 1657