

Development of Li Beam with NEOMAFIOS at RCNP

Tetsuhiko Yorita¹, Kichiji Hatanaka, Mitsuhiro Fukuda, Mitsuru Kibayashi
Research Center for Nuclear Physics, Osaka University
10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, Japan 567-0047

Abstract

NEOMAFIOS[1] is the 10 GHz ECR ion source for light and medium mass ions. Li ion, one of those ions, was produced by a LiF rod sputtering method with helium support gas and more intense and stable beam was required for some experiments. For that purpose, a Li oven system has been developed and we obtained about one order intense Li ions in comparison with LiF sputtering method. Li atoms are evaporated from pure metal and introduced into the ECR plasma chamber. For a long term stability of Li beam, installation of a Ta hot liner to avoid Li condensation on the ECR plasma chamber wall and optimization of the material of Li oven head also has been done. Finally very stable Li ion production has been achieved. Currently about 10-30 euA ${}^7\text{Li}^{2+}$ beam with about 3.5 days lifetime is produced with conditions of 400deg.C oven temperature, helium support gas and 2 mm Φ hole on the face of oven head.

RCNPにおけるNEOMAFIOSを使用したLiビームの開発

1. はじめに

大阪大学核物理研究センター (RCNP) のサイクロトロン施設では、中軽量イオンビームの生成に 10 GHz ECRイオン源であるNEOMAFIOS^[1]が使用されている。Liイオンビームもその一つであり、これまでNEOMAFIOSのガス導入管よりLiF結晶を挿入し、プラズマによって結晶をスパッタさせることによって供給されてきたが、実験利用者の要望として、統計精度の向上と系統誤差の縮小のため、より高いビーム強度と安定性が望まれていた。このためLi金属蒸気生成によるLiビームの開発が行われた。

2. Liマイクロオープン装置の構成

強度増加のため、Li金属蒸気を発生させるLiマイクロオープン装置をDECRI-14-2, Dubna^[2]の例を参考に製作した。図1にこのオープン装置の概要を示

す。このオープン装置はNEOMAFIOS本体の改造をせずに済むよう、ガス導入管から挿入可能な直径10mm以下の筒状となっている。構造としては、プラズマチェンバー側下流端にLi蒸気を放出する窓を持つLi金属容器であるオープンヘッドを、上流側からヒーターで熱するようになっており、熱せられた容器内のLiが蒸気となってプラズマチェンバー内に導入される仕組みとなっている。オープンヘッドの容量はおよそ1ccである。ヘッドの材質は当初Cuが使われ、後に後述の通りSUS製に変更された。ヒーターは下流端にボルト構造をもつSUS製の円筒内に熱伝対付きカートリッジヒーターを装着したもので、オープンヘッド側あるのタップ穴に装着される。ヒーター温度は温調器により $\pm 3^\circ\text{C}$ 程度に制御される。オープンヘッドはヒーター近傍に設置されているホットベール製インシュレータによりNEOMAFIOSガス導入管に直接接触しないようになっており、輻射熱以

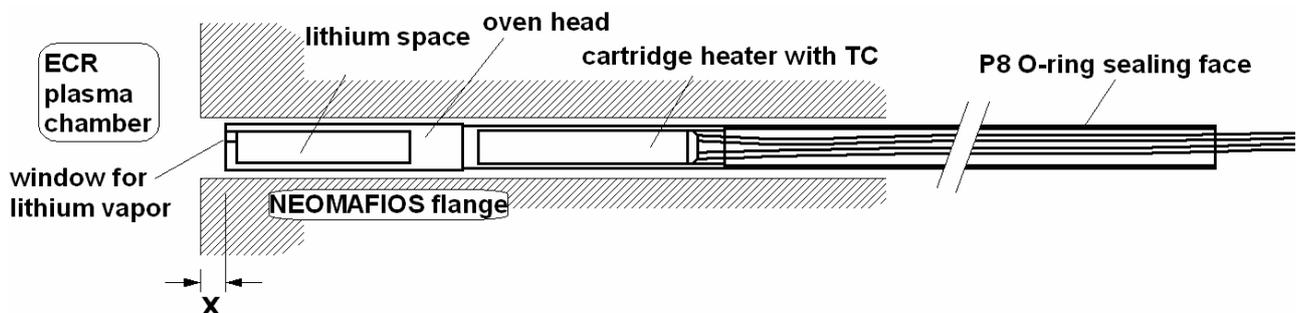


図1: Liマイクロオープンシステム: Li蒸気を放出する窓を持つLi金属容器のオープンヘッドを上流側から熱伝対付きカートリッジヒーターで熱する。オープンヘッドの容量はおよそ1cc。ヒーター温度は温調器により制御される。オープン全体はホットベール製インシュレータによりNEOMAFIOSガス導入管に直接接触しないようになっている。

¹ E-mail: yorita@rcnp.osaka-u.ac.jp

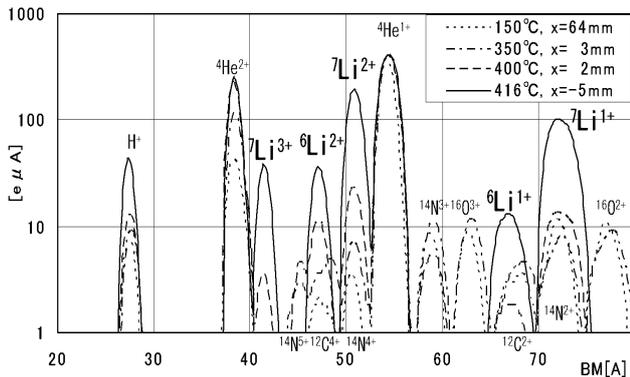


図2：Liイオンスペクトル：サポートガスはHe、引出電圧は15kVである。温度はカートリッジヒーターの温度で、xは図1で示したオープンの位置xに対応する。使用したオープンヘッドの蒸気穴径は2mmΦ。

外の熱接触が無いようになっている。オープンの設置位置は可変である。

3. イオン生成試験

製作されたマイクロオープン装置によるLiイオンビーム生成試験を行った。図1に生成試験で得られたイオンスペクトルを示す。ここで、サポートガスはHeを使用、引出電圧は15kVである。ヒーター温度とオープンヘッド位置を変化させながらイオン生成の様子を見たところ、ヒーター温度400°C以上、ヘッド先端位置がプラズマチェンバーに数mm入ったところ、という条件において大強度のLiイオンが得られた。このときの電流値は表1にまとめたとおりで、旧来のLiFスパッタ方式に比べ約1桁のビーム増強が実現した。また、このとき、OやNといったバックグラウンドがLiと反応することで除去される様子が見て取れる。400°C以上の温度のときのLi蒸気圧は表2にしめすとおり 10^{-2} Paのオーダーであり、これはプラズマチェンバーの引出電極下流側の運転時真空度の 10^{-5} Paのオーダーに比して3桁程度高いとなっている。このとき更に温度を上げて更なるビーム増強を狙ったが、オープン温度がプラズマにより上昇し、プラズマが制御不能となりうまく

	+1	+2	+3
⁷ Li (LiF rod)	10	16	2.5
⁷ Li (Li metal with oven)	102	193	42

表1：⁷Li イオンビーム強度 (eμA)：下段がLiオープンを使用し、ヒーター温度を416°C、オープン位置x=-5mmとしたときの値。上段はLiF結晶をスパッタさせる方式の場合^[1]。

temp.(°C)	vapor pressure(Pa)
150	1.1×10^{-9}
350	1.5×10^{-3}
400	1.4×10^{-2}
416	2.6×10^{-2}
450	9.3×10^{-2}

表2：Li蒸気圧の温度相関^[3]

いかなかった。

このようにマイクロオープン装置の導入により、LiFスパッタ方式に比べ大電流が得られるようになった。

4. ビームの長期安定化

4.1 Taホットライナーの導入

次にLiビームの長期安定性を調べる試験を行った。その結果、数分から数十分といった間隔で定期的にビーム電流が暴走するという現象が見られた。この現象について、NEOMAFIOSのプラズマチェンバー壁面は冷却水により冷却されているが、この壁面へのLi金属蒸気の吸着・蓄積し、プラズマ条件の微妙な変化によりスパッタされてイオン生成に寄与することで起こるということがまず考えられた。

この現象を避けビームの安定化を図るため、CNS HyperECR^[4]の例を参考にチェンバー筒内にTaのホットライナーを導入した。ホットライナーは図3に示すとおりTaの薄板を円筒形に加工したもので、プラズマチェンバー内壁より数mm浮かせて設置してある。これによりプラズマに対してチェンバー壁が断熱された格好となり、Liの吸着が低減すると期

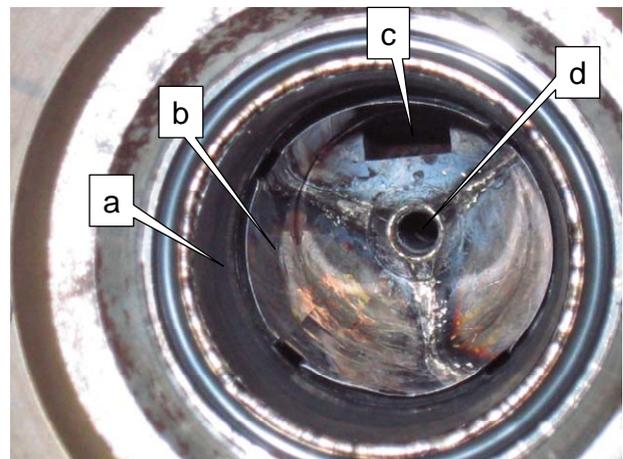


図3：Ta ホットライナー装着の様子： a) プラズマチェンバー b)ホットライナー c)RF導入口 d)ガス導入口

待された。

実際、このライナー導入の結果、Liビームの暴走の頻度が低減した。

4.1 Liオープンヘッドの素材の見直し

Liオープンヘッドは当初、ヒーターの温度を効率よく伝えられるよう、Cuで製作した。しかし、その熱伝導率の良さによって、容易にプラズマによる温度変化を受けることとなり、これもビームの不安定要因の一つとなっている。また、CuとLiの化学変化やCuの熱変形などといった不安定要因もあるため、オープンヘッドの素材をCuからSUSへと変更した。

このSUS製ヘッド導入の結果、Liビームの暴走はほぼ皆無となり、Liビーム生成の長期安定性が実現した。

5. まとめ

NEOMAFIOSによって生成されるLiビームの更なる大強度化と高安定性を目指して、Li蒸気発生用のLiマイクロオープン装置を開発した。ビーム生成試験の結果、旧来のLiF結晶をスパッタさせる方式に対し約1桁強度の高いビーム生成が実現した。また、プラズマチェンバー内へのTaホットライナーの導入やSUS製オープンヘッドの導入の結果、長期にわたる安定なLiビーム生成が実現した。

現在10~30 e μ Aの⁷Li²⁺ビームが、ヒーター温度400°C、Heサポートガス及びオープンヘッドのLi蒸気穴が2mm Φ という条件下で約3.5日間に渡って得られており、また蒸気穴 3mm Φ の場合は 50~100 e μ Aのビームが約2.5日間に渡り得られている。

参考文献

- [1] M. Tanaka et al., RCNP Annual Report 1991 p215
K. Takahisa et al., RCNP Annual Report 1994 p190
H. Takahisa et al., RCNP Annual Report 1996 p172
H. Tamura et al., RCNP Annual Report 1997 p289
- [2] A. Efremov, et al., Review of Scientific Instruments 69 (1998) 662
- [3] C.B. Alcock, Handbook of chemistry and physics, 73rd Edition, p.5-80
- [4] Y. Ohshiro, private communication