

Ⅵ-2 ガンマ6グループ

助教授 河辺隆也

大学院生 9名

【1】プラズマ型中性子源の概念設計研究

昨年よりも増して次期ミラー型核融合実験装置の候補の一つとして「ミラー型プラズマ中性子源」がここへ来て脚光を浴びるようになった。これは、トカマク型閉じこめ装置によりDT核融合の臨界達成がここ1~2年の内に実現する見通しがついてきた為で、実験炉計画とともに核融合炉材料照射研究計画を進める必要が認識されるようになった。ミラー型中性子源の概念設計研究は日本では10年前より我々のグループを中心にして米国、ロシアとも引き続いて共同研究を進めてきた。本年度もスロッシングイオン分布を中心に研究を進めている。

また、この中性子源が建設された時点では、核融合炉材料の照射試験ばかりではなく、星の中で行われているような元素の生成過程を実験することも検討している。

(1) ミラー型プラズマ中性子源に置けるスロッシングイオン分布の研究

本年度は電子温度依存性を中心にしてプラズマ型中性子源FEFにスロッシングイオンを加えたときの核融合反応による中性子発生増倍効果、および軸方向分布について、Fokker-Planck方程式を用いたシミュレーションを行い、スロッシングイオン生成の最適値を求めた。

(2) GDTのスロッシング・イオン分布実験との対応

本年度は新たに衝突が非常に多いプラズマに対するシミュレーションコードを開発した。そして、ロシア・ノボシビルスク市の原子核物理学研究所との共同研究を行った。そこで実験が進められているガスダイナミックトラップ(GDT)結果に対して我々のシミュレーション結果とを比較し、良い一致を見た。

(3) パラメトリックスタディ

以上の物理的な考察に基づいてミラー型中性子源(FEF-II)の物理設計パラメータを求める作業をはじめた。

【2】ミラー型磁場中のプラズマの基礎研究

(1) 水平入射プラズマの閉じこめと不安定性

イオン・サイクロトロン周波数領域(ICRF)の高周波をミラー磁場軸方向から入射され閉じ込められたプラズマに対する影響を解明した。

【3】プラズマと固体表面との相互作用実験

プラズマが固体表面に照射されたときに起こる物理現象の解明は固体表面の物理学を明らかにすると言う物理学上の重要性ばかりではなく、現代のハイテクの各分野(核融合、超高真空、半導体製造、新機能性固体表面改質等)で非常に重要な課題である。私のグループではこの課題に以前より取り組んでおり、ここにきて金属材料技術研究所との共同研

究を進めている。

(1) プラズマ放電洗浄の研究

グローモードプラズマ源を用いたグロー放電洗浄（特許）によりプラズマ電位を下げまた放電維持ガス圧力を下げることが達成した。

a) 水素プラズマの固体表面へのトラッピングの研究

グローモードプラズマ源を用いたグロー放電洗浄時の水素プラズマが真空容器壁内にトラップされる現象を物理的に解明した。

b) 超高真空領域の放電洗浄の研究

文部省科研費により新たに超高真空領域の放電洗浄装置を製作した。来年度より実験を開始する。

(2) グラファイトへのプラズマ照射の実験研究

グラファイトは核融合炉材料として重要であるが、その表面へのプラズマ照射効果を明らかにすることが要請されている。我々は金属材料技術研究所との共同研究によりリアルタイムのエリプソメーター測定により屈折率の時間的変化を解明した。

(3) シリコン表面に於けるプラズマ酸化

シリコンの表面へのプラズマ酸化を解明する為に我々は金属材料技術研究所との共同研究によりリアルタイムのエリプソメーター測定により格子の乱れの熱緩和現象を解明した。

【4】カオス現象の研究

プラズマ放電特性におけるカオスを研究し、従来ではみられないタイプのカオスを観測した。

<論文>

1. E. Asari, M. Kitajima, K. G. Nakamura, and T. Kawabe: "Thermal relaxation of ion-irradiation damage in graphite", Phys. Rev. B. **47**, 11143 (1993).
2. H. Kuroki, M. Kitajima, T. Kawabe: "Real-time ellipsometric observation of refractive index change under ultra thin oxide film growth", Solid State Communication, **88**, No. 10, pp 785-788 (1993).
3. H. Kuroki, K. G. Nakamura, M. Kitajima, and T. Kawabe: "Silicon wafer orientation dependence in the initial plasma oxidation processes", Solid State Communication, **88**, No. 6, pp 487-489 (1993).
4. T. Kawabe, H. Yamaguchi, N. Mizuno, and S. Hirayama: "Conceptual Design Studies of Fusion Plasma Neutron Source based on Mirror Confinement, FEF-I and II" Proceeding of International Conference on Open System for Fusion, Novosibirsk, June 14-18, 1993

5. N. Mizuno, H. Yamaguchi, T. Kawabe, A. A. Ivanov and Yu. A. Tsidulko, :
"Fokker-Planck Simulation of sloshing Ions in GDT", Proceeding of
International Conference on Open System for Fusion, Novosibirsk, June 14-18,
1993.
6. 浅利栄治、北島正弘、中村一隆、河辺隆也:「照射によるグラファイト格子乱れの熱緩和」, 表面科学、第14巻、第5号、301-306頁、1993年.
7. T. Kawabe: "Industrial Applications of Plasma and Fusion Technologies in Japan", Journal of Fusion Energy, Vol. 12, No. 4, pp411-413, 1993.
8. E. Asari, I. Kamioka, K. G. Nakamura, T. Kawabe, W. A. Lewis, and M. Kitajima:
"Lattice disordering in graphite under rare-gas ion irradiation studied by Raman spectroscopy", Physical Review B vol. 49, No. 2, 1011-1015 (1994).
9. E. Asari, I. Kamioka, W. A. Lewis, T. Kawabe, K. G. Nakamura and M. Kitajima:
"Ion mass effect on lattice disordering rate of graphite under low energy ion irradiation" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 91 (1994) 545-548.
10. 平山省一、河辺隆也:「核分裂炉から見た核融合炉開発」, 原子力学会誌、第36巻、第6号、507~513頁(1994).

<著書>

- 小沼通二、河辺隆也:「現代物理学、第6章 プラズマの物理」, 放送大学教育振興会、1993.

<学位論文>

- 額賀 淳:「プラズマと固体との相互作用 -固体表面におけるガストラッピング機構」
大学院博士課程物理学研究科修士論文、1994年3月。

<講演>-国際会議-

1. T. Kawabe, H. Yamaguchi, N. Mizuno, and S. Hirayama: "Conceptual Design Studies of Fusion Plasma Neutron Source based on Mirror Confinement, FEF-I and II" International conference on Open system for Fusion, 1993年6月17日, Budker Institute of Nuclear Physics.
2. N. Mizuno, H. Yamaguchi, T. Kawabe, A. A. Ivanov and Yu. A. Tsidulko: "Fokker-Planck Simulation of sloshing Ions in GDT", International conference on Open

system for Fusion, 1993年6月17日, Budker Institute of Nuclear Physics.

3. T. Kawabe: "Characteristics of Mirror-Based Neutron Source -FEF-", IEA Workshop on Intense Neutron Sources for Fusion Material Development, July 13, 1993, Moscow, Russia.
4. N. Mizuno, H. Yamaguchi, T. Kawabe, "Sloshing Ion Distribution in GDT and FEF", 20th European Conference on Nuclear Fusion and Plasma Physics, August 1, 1993, Lisbon, Portugal.
5. E. Asari, I. Kamioka, w. A. Lewis, T. Kawabe, K. G. Nakamura, M. Kitajima: "Ion mass effect on lattice disordering rate of graphite under low energy ion irradiation", International Conference on Radiation effects in insulators September 6-10, 1993, Nagoya.
6. T. Kawabe: "Conceptual Design Study of Mirror Based Neutron Source FEF", US-Japan Workshop on Fusion Research, Septemeber 29-30, 1993, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, USA.
7. N. Mizuno, H. Yamaguchi, and T. Kawabe: "Sloshing Ion Distribution in Mirrors", US-Japan Workshop on Fusion Research, Septemeber 29-30, 1993, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, USA.
8. H. Yamaguchi, T. Kawabe, N. Mizuno: "Parametric Study of Mirror Based Neutron Source FEF", US-Japan Workshop on Fusion Research, Septemeber 29-30, 1993, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, USA.
9. M. kitajima, E. Asari, and K. G. Nakamura: "Real time observation of thermal relaxation damage in graphite under ion irradiation", International Conference on Fusion Reactor Materials, September 25-29, Italy.
10. T. Kawabe: "Industrial Applications of Plasma and Fusion Technologies in Japan", Annual Meeting and Symposium of Fusion Power Associates, Ork Ridge, Tenn, USA. October 1-2, 1993.
11. M. Kitajima, K. G. Nakamura, H. Kuroki, and T. Kawabe: "Real-time observation of ultra thin silicon film oxide growth by rapid ellipsometry", 40th American Vacuum Society meeting, Nov. 1993, Orlando.

<講演>-国内学会-

1. 上岡功、浅利栄治、中村一隆、河辺隆也、北島正弘：「希ガスイオン照射によるグラファイト結晶乱れ速度のイオン質量依存性」、日本物理学会1993年秋季大会、1993年10月。
2. 黒木博、中村一隆、北島正弘、河辺隆也：「高速偏光解析によるSi表面酸化超薄膜成長速度の基板結晶方向依存」、日本物理学会1993年秋季大会、1993年10月。
3. 中村一隆、黒木博、北島正弘：「Si表面酸化で生成したSiO分子の多光子イオン化検出」、第13回表面科学会講演大会、1993年12月。
4. 浅利栄治、中村一隆、河辺隆也、北島正弘：「重水素イオン照射グラファイトの熱緩和」 表面科学会、早稲田大学、1993年11月。
5. 通沢健一、山口広行、河辺隆也、水野伸夫、平山省一：『ミラー型中性子源FEF-IIのパラメトリックスタディーVI』, プラズマ核融合学会(予稿集113p)、1994年3月。
6. 平山省一、河辺隆也：『核融合炉開発におけるプラズマ中性子源の役割 -核分裂炉開発の歴史と比較して-』, プラズマ核融合学会(予稿集105p)、1994年3月。
7. 水野伸夫、山口広行、通沢健一、河辺隆也、平山省一：『ミラー型核融合プラズマ中性子源のFokker-Planck シミュレーションII -スロッシング・イオン分布の形成-』, 日本物理学会, 1994年3月。
8. 黒木博、中村一隆、河辺隆也、北島正弘, 『生成脱離SiO分子の多光子イオン化検出によるSi表面酸化の研究』, 日本物理学会, 1994年3月。
9. 北島正弘、黒木博、中村一隆、「Si表面酸化反応で生成したSiOの回転状態分布の測定」、応用物理学会、1994年3月。
10. 浅利栄治、中村一隆、北島正弘：「重水素照射下でのグラファイトの熱緩和現象の観察」 原子力学会、筑波大学 1994年3月。