

## VIII-2. ガンマ6グループ

助教授 河辺隆也

大学院生 12名

共同研究者 北島正弘（金属材料技術研究所）

水野伸夫（日本大学文理学部物理学教室）

### 【1】非平衡プラズマの基礎物理現象の研究

#### （1）放電プラズマ中のカオス現象

グロー放電では負性抵抗があり非線形現象が起こりやすい。このグロー放電で生成されたプラズマ中に振動がある。この振動を放電条件を選び、カオス現象が起こることを示し、そのカオスへの遷移過程や、条件を解明した。

#### （2）不安定性の振幅変調の計算機シミュレーションモデル

ミラー形の磁場に閉じこめられたプラズマにはいわゆるロスコーンがあり、非平衡である。そのため不安定性が起こるが、もっとも起こりやすいのがドリフトサイクロトロンロスコーン (DCLC) モードである。この不安定性の振幅変調現象が実験にて報告されているが、その物理的機構を解明するために、緩和振動のモデルをたて、計算機シミュレーションを行い、実験の特徴を表す事を明らかにした。

#### （3）不安定性の安定化の実験

前に述べたDCLCモードの実験をガンマ6 A装置を用いて行い、不安定性を観測するとともに、高周波電場による安定化の実験を行っている。また新たにDCバイアスによる安定化の実験も行っている。

### 【2】プラズマと固体との相互作用

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い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、など）で非常に重要な課題である。このグループではこれらの課題に以前から取り組んできて、金属材料研究所との共同研究も進んでいる。

#### （1）プラズマの放電洗浄効果の解明

グローモードプラズマ源を補助プラズマ源とした放電洗浄法は特許になったが、その研究の進展として今年度は、水素、重水素、不活性ガスを用いた放電洗浄効果を実験データを取り比較して、洗浄効果の物理的、化学的效果を分離して解明した。

## (2) シリコン表面のプラズマ酸化

偏光解析の実時間測定によりシリコン表面のプラズマ酸化初期の試料バイアス効果を速度論的に議論した。酸化膜が厚いとき ( $>3$  nm) のみならず、非常に薄い領域 ( $<3$  nm) でもバイアス依存性があることを初めて観測した。

## (3) 酸素分子線のゲルマニウムでの反応線散乱

高温 Ge 表面と酸素分子線の反応の動力学を共鳴多光子イオン化を用いて議論した。それにより、脱離する GeO の振動温度は表面温度と熱平衡になっていることを解明した。

## (4) 光楯子法による Si のプラズマプロセス中の表面応力の測定

固体の表面応力は、表面状態 (分子の吸着、薄膜の有無など) によって変わる。本研究では、光楯子法を用いてプラズマと固体表面の相互作用により生じる表面応力変化の測定を行った。試料は Si のカンチレバーを使用し、アルゴンプラズマの照射によって生じるたわみの量を測定した。これから、対応する表面応力変化を算出した。同様に、酸素プラズマによる酸化についても表面応力を測定した。

## 【3】プラズマ形中性子源の概念設計研究

昨年に続いて次期ミラー形核融合実験装置のひとつとして「ミラー形プラズマ中性子源」がますます重要性の点で認識されるようになってきた。これは、トカマク型閉じこめ方式により DT 核融合の臨界条件達成がここ数年以内に実現する見通しが立ってきたため、実験炉計画と共に核融合炉材料の照射研究開発計画を進める必要が認識されてきたためである。

ミラー型磁場閉じこめによる核融合プラズマ型中性子源の概念設計の研究は世界的に先駆け我々が 1980 年の初頭より推進してきた。プラズマモデルを実現性の高いものにするためにコンピューターコードを開発し、中性子源プラズマのパラメーターを求めることを中心に行っている。

### (1) FEF-II パラメーターサーベイ

改良型プラズマ計算機モデルにより、ミラーに閉じこめられたプラズマと NBI の斜め入射により生成された高速イオンの振る舞いを解明し、中性子フラックス、プラズマパラメーターの最適化を図った。また、アルファ粒子の振る舞いも明らかにした。

### (2) クーロン近接衝突の計算機コード

プラズマ・核融合研究で一般的に用いられている Fokker-Planck 方程式を用いるシミュレーションモデルでは小角散乱しか扱っていない。そこで、近接衝突による大角散乱を扱うために、計算機シミュレーションコードの開発を推進している。

#### 【4】 プラズマ応用研究

このグループではかなり前からプラズマ応用の研究を進めており、前に述べたように放電洗浄では既に特許を取っている。このほかにプラズマを光源への応用や、機械工業へ応用、さらにはバイオコンピューターへの応用などを始めた。

- (1) プラズマを用いて電池電極改良の研究
- (2) プラズマを用いた省エネ型放電管の研究
- (3) プラズマを用いた機械工業用装置開発の研究

これは岐阜県の補助金によるもので、プラズマを用いた機械工作用の装置開発である。

- (4) 高周波放電によるプラズマ光源開発
- (5) プラズマの民生用の装置開発
- (6) バイオコンピューターへの研究としての、アミノ酸薄膜のプラズマによる生成の実験研究などを進めている。

#### <論文>

##### 1. H.Yamaguchi

"Amplitude Oscillation of an Instability in the Presence of a Damping Mechanism"

J.Phys.Soc.Jan.65 (1996)3115

##### 2. I. Kamioka, K.G.Nakamura, T. Kawabe and M.Kitajima

"Initial Plasma Oxidation Kinetics of Silicon : DC bias Effects"

Thin Solid Films, 281-282, pp. 98-101 (1996).

#### <国際会議発表>

##### 1. T. Hayashi and T. Kawabe,

"Chaotic Phenomena in DC Glow Discharge Plasma"

ICPP96

##### 2. H. Yamaguchi, T.Kawabe and N.Mizuno

"Amplitude Oscillation of DCLC Mode"

ICPP96

##### 3. N. Mizuno, S.Muramatsu, K.Tohrisawa and T.Kawabe

"Property of fast ions in mirror based volumetric neutron source FEF-II",

ICPP96

4. T. Kawabe  
 "World Stability and Technology Transfer"  
 Plenary paper in International Symposium on Cooperation in  
 Plasma Science and Technologies, Sept. 16-18, 1996, Tokyo, Japan.
5. T. Kawabe and A. Kagatsume  
 "Plasma Physics for Plasma Applications, --Discharge Cleaning --"  
 Korea-Japan Symposium on Plasma Processes, Oct 10-12, 1996,  
 Soel, Korea
6. T. Kawabe  
 "Environmental Plasma Technologies"  
 invited paper at International Conference on Dusty Plasma"  
 Oct. 20-24, 1996, Goa, India.
7. T. Kawabe  
 "Development of Mirror Based VNS Design Study in Japan and  
 Internationa Net Work"  
 Japan-US Workshop on VNS, Nov. 18-19, 1996, Livermore, USA.
8. Mizuno, K. Tohrisawa, S. Muramatu, H. Yamaguchi, T. Kawabe  
 "Parametric Study of Plasmas in FEF-II, Mirror based volmetric  
 neutron source"  
 Japan-US. Workshop on VNS, Livermore, USA, Nov. 18-19, 1996.
9. M. Kitajima, I. Kamioka, T. Kurashina, and K.G. Nakamura  
 "Initial Plasma Oxidation of Silicon Studied by Real-time  
 Ellipsometry"  
 SPIE (1996).
10. M. Kitajima, R. Bastasz, T. Kurashina, and I. Kamioka  
 "Threshold Ion Energy for the Erosion of Tungsten by a Neon  
 Plasma"  
 ICCP96
11. M. Kitajima, I. Kamioka, K.G. Nakamura  
 "Initial plasma oxidation of silicon studied by real-time  
 ellipsometry"  
 International Symposium on Polarization Analysis and Applications  
 to Device Technology, Yokohama, 12-14 June, 1996.
12. M. Kitajima, R. Bastasz, T. Kurashina, and I. Kamioka  
 "Threshold Ion Energy for the Erosion of Tungsten by a Neon  
 Plasma"

International Conference on Plasma Physics, Nagoya, 9-13  
September, 1996.

13. I. Kamioka, M. Kitajima, T. Kawabe, and K.G. Nakamura  
"Resonance enhanced multiphonon ionization detection of GeO  
desorbing in reactive scattering of O<sub>2</sub> with Ge(100) surface"  
American Vacuum Society 43rd National Symposium, Philadelphia,  
14-18 October, 1996.
14. R. Bastasz, M. Kitajima, T. Kurashina, and I. Kamioka  
"Ellipsometry Study of the Threshold Energy for Plasma Erosion:  
Neon on Tungsten"  
American Vacuum Society 43rd National Symposium, Philadelphia,  
14-18 October, 1996.
15. K.G. Nakamura, I. Kamioka, and M. Kitajima  
"Pulse molecular beam reactive scattering of O<sub>2</sub> on semiconductor  
surfaces studied with resonance enhanced multiphoton ionization"  
2nd International Symposium on Control of Semiconductor  
Interfaces, Karuizawa, 28 October - 1 November, 1996.

<国内学会発表>

1. 山口広行、河辺隆也、水野伸夫  
「DCLC モードの励起減衰シミュレーション」  
日本物理学会第 51 回年回、1996 年 4 月 1 日
2. 林剛、河辺隆也  
「直流グロー放電中に励起される不規則振動の研究」  
日本物理学会第 51 回年回、1996 年 4 月 1 日
3. 林剛、河辺隆也  
「グロー放電で観測される不規則振動現象Ⅱ」  
日本物理学会第 52 回年回、1997 年 3 月 27 日
4. 上岡功、北島正弘、河辺隆也、中村一隆  
「酸素分子線の Ge(100)表面での反応性散乱の REMPI 測定」  
第 1 2 回化学反応討論会、姫路工大、平成 8 年 5 月 29 日 - 31 日
5. 上岡功、北島正弘、河辺隆也、中村一隆  
「高温 Ge(100)表面の O<sub>2</sub> 分子線散乱による反応生成物 GeO の共鳴多光子イオン化」  
日本物理学会 1996 年秋の分科会、山口大、平成 8 年 10 月 1 日 - 4 日
6. 倉品貴之、上岡功、中村一隆、河辺隆也、北島正弘

4.7. Kato 「光梲子法による Si のプラズマプロセス中の表面応力の測定」

第 44 回応用物理学会、日本大学、平成 9 年 3 月 28 日 - 31 日

<著書>

1. 小沼達二、河辺隆也

「現代物理学、第 6 章 プラズマの物理」(改訂版)

放送大学教育振興会、1996 年。

<学位論文>

1. 三島正規：「グローモードプラズマ源を用いた放電洗浄機構」

大学院修士課程理工学研究科修士論文、1997 年 3 月。

<国内発表>

9. M. Katagiri, T. Kuroki, M. Kikuchi, and M. Kikuchi, "Study on the discharge cleaning mechanism of a glow mode plasma source," *Proc. 33rd Int. Symp. Rarefied Gas Dyn.*, 1997, pp. 100-101.

10. M. Katagiri, T. Kuroki, M. Kikuchi, and M. Kikuchi, "Study on the discharge cleaning mechanism of a glow mode plasma source," *Proc. 33rd Int. Symp. Rarefied Gas Dyn.*, 1997, pp. 100-101.

11. M. Katagiri, T. Kuroki, M. Kikuchi, and M. Kikuchi, "Study on the discharge cleaning mechanism of a glow mode plasma source," *Proc. 33rd Int. Symp. Rarefied Gas Dyn.*, 1997, pp. 100-101.

12. M. Katagiri, T. Kuroki, M. Kikuchi, and M. Kikuchi, "Study on the discharge cleaning mechanism of a glow mode plasma source," *Proc. 33rd Int. Symp. Rarefied Gas Dyn.*, 1997, pp. 100-101.

13. M. Katagiri, T. Kuroki, M. Kikuchi, and M. Kikuchi, "Study on the discharge cleaning mechanism of a glow mode plasma source," *Proc. 33rd Int. Symp. Rarefied Gas Dyn.*, 1997, pp. 100-101.

14. M. Katagiri, T. Kuroki, M. Kikuchi, and M. Kikuchi, "Study on the discharge cleaning mechanism of a glow mode plasma source," *Proc. 33rd Int. Symp. Rarefied Gas Dyn.*, 1997, pp. 100-101.

15. M. Katagiri, T. Kuroki, M. Kikuchi, and M. Kikuchi, "Study on the discharge cleaning mechanism of a glow mode plasma source," *Proc. 33rd Int. Symp. Rarefied Gas Dyn.*, 1997, pp. 100-101.

16. M. Katagiri, T. Kuroki, M. Kikuchi, and M. Kikuchi, "Study on the discharge cleaning mechanism of a glow mode plasma source," *Proc. 33rd Int. Symp. Rarefied Gas Dyn.*, 1997, pp. 100-101.

17. M. Katagiri, T. Kuroki, M. Kikuchi, and M. Kikuchi, "Study on the discharge cleaning mechanism of a glow mode plasma source," *Proc. 33rd Int. Symp. Rarefied Gas Dyn.*, 1997, pp. 100-101.