

## VIII-2 ガンマ6グループ

助教授 河辺隆也

大学院生 5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6A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 ( $>3\text{ nm}$ ) のみならず、非常に薄い領域 ( $<3\text{ nm}$ ) 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) 光梘子法による 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、光梘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 NB I 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) プラズマを用いた、産業用廃棄物処理装置の開発、
- (2) プラズマを用いて電池電極改良の研究
- (3) プラズマを用いた省エネ型放電管の研究
- (4) 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。

- (5) 高周波放電によるプラズマ光源開発
- (6) プラズマの民生用の装置開発
- (7) 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.成島哲也, 板倉明子, 河邊隆也, 北島正弘  
「プラズマ酸化過程における Si の表面応力の研究」  
真空 42, 293 (1999)
  
- 2.板倉明子, 成島哲也, 清水達夫, 北島正弘, 西岡泰城  
「水素化が及ぼすシリコン表面の光学パラメータの変化」  
真空 42, 331 (1999)
  
- 3.A.N.Itakura, T.Narushima, M.Kitajima  
「Surface stress in Silicon Oxide Layer」  
Trance. MRS-J 24, 75 (1999)

#### <講演>

1. 林 剛

「放電管を用いた緩和振動子の示す分岐現象」  
日本物理学会年会（1999年3月）

2. 板倉明子, 成島哲也, 北島正弘  
「シリコンのプラズマ酸化中の表面応力の測定」  
原子衝突研究協会第23回研究会(1998年8月, 慶応大学)
3. 成島哲也, 板倉明子, 北島正弘, 河邊隆也  
「バイアスを印加したプラズマ酸化過程における Si 表面応力の研究」  
日本物理学会 1998 年秋の分科会(1998 年 9 月, 琉球大学・沖縄国際大学)
4. 板倉明子, 成島哲也, 北島正弘, 河邊隆也  
「バイアスを印加したプラズマ酸化過程における Si 表面応力の研究 II」  
日本物理学会 1998 年秋の分科会(1998 年 9 月, 琉球大学・沖縄国際大学)
5. 板倉明子, 成島哲也, 清水達夫, 北島正弘, 西岡泰城  
「シリコン酸化表面の水素化に伴う偏光解析パラメータの変化」  
日本物理学会 1998 年秋の分科会(1998 年 9 月, 琉球大学・沖縄国際大学)
6. 成島哲也, 板倉明子, 河邊隆也, 北島正弘  
「Si の極薄酸化膜形成による微小表面応力の測定」  
日本表面科学会 第 18 回表面科学講演大会(1998 年 12 月, 早稲田大学)
7. 成島哲也, 板倉明子, 河邊隆也, 北島正弘  
「プラズマ酸化過程における表面応力の研究」  
日本真空協会 第 39 回 真空に関する連合講演会  
(1998 年 11 月, 大阪科学技術センター)
8. 板倉明子, 成島哲也, 清水達夫, 北島正弘, 西岡泰城  
「水素化が及ぼすシリコン表面の光学パラメータの変化」  
日本真空協会 第 39 回 真空に関する連合講演会  
(1998 年 11 月, 大阪科学技術センター)

9. 板倉明子, 成島哲也, 北島正弘  
「酸化過程におけるシリコン表面応力の研究」  
第10回日本MRS学術シンポジウム (1998年12月, 神奈川サイエンスパーク)
  
10. Akiko N. Itakura, Takayuki Kurashina, Tetsuya Narushima, Masahiro Kitajima  
「Surface Stress in Silicon Oxidelayer made by Plasma Oxidation with Applying Sample Bias」  
AVS 45th INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
(1998年11月, Baltimore, Maryland U.S.A.)
  
11. 成島哲也, 板倉明子, 河邊隆也, 北島正弘  
「酸化中のシリコン表面応力と基板表面粗さとの関連」  
応用物理学会 薄膜・表面物理分科会主催・シリコンテクノロジー研究会協賛 1998年度第6回特別研究会「極薄シリコン酸化膜の形成・評価・信頼性」(1999年1月, NTT御殿場研修センター)
  
12. 板倉明子, 成島哲也, 北島正弘  
「プラズマ酸化によるシリコン表面酸化層の微小応力の研究」  
応用物理学会 薄膜・表面物理分科会主催・シリコンテクノロジー研究会協賛 1998年度第6回特別研究会「極薄シリコン酸化膜の形成・評価・信頼性」(1999年1月, NTT御殿場研修センター)
  
13. 板倉明子, 成島哲也, 北島正弘  
「シリコン酸化表面の微小応力の測定」  
第22回表面科学研究会 -表面反応とダイナミクス-  
(1999年2月, 科学技術庁金属材料技術研究所)
  
14. A.N.Itakura, T.Narushima, M.Kitajima  
「Surface Stress of Silicon(100) during a Plasma Oxidation」  
First Vacuum and Surface Science Conference of Asia and Australia  
(1998年9月, Tokyo)

<学位論文指導>

1. 久保 敦：「水素の表面反応性散乱実験装置の試作」

大学院物理学研究科修士論文、1999年3月。

2. 緑川 寛：「ミラープラズマのシミュレーション」

大学院修士課程理工学研究科修士論文、1999年3月。