

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

テーマ「放電管を用いた緩和振動子の示す分岐現象」

負性抵抗特性を持つ冷陰極放電管とキャパシタの並列結合は緩和振動子を形成する。この振動子を用いた放電回路の数値シミュレーションを行った。

放電管内の現象を一次元流体方程式で近似し、その境界条件として回路方程式を用いた。その結果、回路に強制振動項が存在しないにも関わらず、カオスを含む振動現象及び分岐現象が現れる事を初めて明らかにした。

【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) 金属材料技術研究所との共同研究

金属材料技術研究所第 2 グループとの共同研究では矩形基板のそりを 1 オングストローム(1億分の1センチ)という極めて高精度に検出できる光てこ法という測定系を用いて、プラズマ酸化、欠陥生成・緩和、表面・界面電子状態の変化、結合構造の変化、吸着・脱離過程などによりシリコンの表面や界面に誘起する微小な表面応力を実時間で測定している。これまで行ってきた研究内容と成果は以下の通りである。

(a) 超高真空装置内で酸素ガスの低温低密度プラズマを利用しシリコンの表面に数ナノメートル(1000 万分の1センチメートル)程度までの極薄の酸化膜を室温で形成しつつ、表面応力の実時間測定を行った。その結果、Si(100)表面酸化時には再構成表面特有のダイマー構造に起因するユニークな応力の変動を捕らえることができた。

(b) これまでの表面応力の研究は、ほとんどがきれいに原子が配列した結晶やその上への膜成長に起因したものを中心に行われてきた。今回、我々は、低エネルギーのイオン衝撃によって人為的に表面付近に結晶の乱れた層(1ナノメートル以下)を導入し、この時に誘起する応力とその後の乱れた表面へのプラズマ酸化中における応力変動の定量的な測定を行った。その結果、酸化中における応力変動はきれいに原子が配列した表面と乱れた表面では劇的に変化することが分かった。また、これは陽極中で電子を照射しながら酸化を行うことにより結晶の乱れによって誘起した応力が酸化の極初期において完全に緩和することを初めて示した実験結果であり、酸化と同時に電子を照射することによる表面構造の制御する可能性も示唆している。

(c) シリコン製の基板の片面に金をコーティングし、金上に自己集合単層膜を作ることが知られているアルカンチオールを吸着するとアルキル鎖間の斥力によって基板上に圧縮応力を形成することが報告されている(R. Berger, et al.: SCIENCE, 276(1997) 2021)。我々は、このアルカンチオールが一層吸着した表面をアルゴンや酸素のプラズマで叩くことによりその脱離中の応力変動の測定をした。その結果、吸着による圧縮応力が緩和していく様子を観測することができた。また、オージェ電子分光法によりこの脱離時にアルキル鎖が切れて脱離していくことも分かった。

【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を求めることを中心に行っている。

今年度は全パラメーターを含んだシミュレーションモデルを確立し、それにより、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。

【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ている。

(1) プラズマを用いた特定フロン分解の研究

特定フロン CFC は地球温暖化とオゾン層破壊の2つの地球環境問題を引き起こしているため、既に生産禁止になったものの、既に生成され利用されている分を回収し、破壊分解しなければならない。フロンは安定なため、破壊が難しいが、高温プラズマを用い、しかも化学的な触媒を用いることにより、他の安定な物質に転換できる。

次年度には NEDO を通した政府補正予算で地域コンソーシアムとして、プロジェクトがスタートし、我々が統括責任者となった。

(2) プラズマを用いた、産業用廃棄物処理装置の開発

廃棄物を燃焼処理すると、ダイオキシンが発生し、住民に大きな被害が及ぼされることが、報告されている。われわれは、プラズマを用いて、高温分解処理することにより、ダイオキシンが発生しない処理法を確立すべく、各種の実験と、理論的検討を進めている。

本年は科学技術財団からの研究補助金により産業廃棄物処理の予備実験を進めている。

(3) プラズマを用いて電池電極改良の研究

(4) プラズマを用いた省エネ型放電管の研究

(5) 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。

(6) 高周波放電によるプラズマ光源開発

(7) プラズマの民生用の装置開発

(8) 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. N.Mizuno, H.Midorikawa and T.Kawabe

"Plasma Conditions of Mirror Based Volumetric Neutron Source (FEF-II)"

Proc. 26th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Maastricht, 14-18 June 1999

ECA Vol.23J (1999) pp.464-472

2. Takeshi Hayashi

"Mixed mode oscillation and chaos in a glow discharge"

Physical Review Letters, Vol.84, page 3334 (2000)

3. 板倉明子, 成島哲也, 倉品隆之, 北島正弘, 寺石和夫, 山田有場, 宮本明

「シリコン酸化膜成長過程の表面応力変動」

真空 42, 55 (1999)

4. Tetsuya Narushima, Takayuki Kurashina, Akiko. N. Itakura,
Takaya Kawabe, Masahiro. Kitajima
「Effects of Surface Disorder on the Surface Stress of Si(100) during
Oxidation」
Appl. Surf. Sci., (2000), in press
5. A. N. Itakura, T. Narushima, M. Kitajima, K. Teraishi, A. Yamada, A.
Miyamoto
「Surface Stress in Thin Silicon Oxide Layer Made by Plasma Oxidation
with Sample Bias」
Appl. Surf. Sci., (2000), in press
6. M.Kitajima, T.Kurashina, T.Narushima, A.N.Itakura, A.Yamad, K.Teraishi
A.Miyamoto
「Anomalous surface stress during the ultrathin oxide growth on Si」
NATURE, submitted
7. 板倉明子, 成島哲也, 北島正弘, R. Berger, Ch. Gerber, J.K. Gimzewski
「ドデカンチオールの特離に伴う微少応力の変動」
真空 43, 255 (2000)

<学会等講演>

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. A. N. Itakura, T. Narushima, M. Kitajima
「Surface Stress of Silicon(100) during Plasma Oxidation」
First Vacuum and Surface Sciences Conference of Asia and Australia
(VASSCAA-1)
(1999年9月, Tokyo International Exhibition Center, JAPAN)
3. Masahiro. Kitajima, Tetsuya Narushima, Akiko. N. Itakura
「Stress Measurements of the Silicon Surface during Oxidation」
18th European Conference on Surface Science(ECOSS-18)

(1999 年 9 月, Vienna, AUSTRIA)

4. A. N. Itakura, T. Narushima, M. Kitajima, K. Teraishi, A. Yamada, A. Miyamoto
「Surface Stress in Thin Silicon Oxide Layer Made by Plasma Oxidation with Sample Bias」
Third International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces(ISCSI-III)
(1999 年 10 月, Karuizawa, Nagano, JAPAN)
5. Tetsuya Narushima, Akiko. N. Itakura, Takaya. Kawabe, Masahiro. Kitajima
「Effects of Surface Disorder on the Surface Stress of Si(100) during Oxidation」
Third International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces(ISCSI-III)
(1999 年 10 月, Karuizawa, Nagano, JAPAN)
6. A. N. Itakura, T. Narushima, M. Kitajima, R. Berger, Ch. Gerber, J.K. Gimzewski
「Desorption Induced Change in Surface Stress of Self-Assembly Dodecanethiol Monolayer on Gold」
International Symposium on Surface Science for Micro- and Nano-Device Fabrication (ISSS-3)
(1999 年 10 月, Waseda University, Tokyo, JAPAN)
7. 板倉明子, 成島哲也, 北島正弘, R. Berger, Ch. Gerber, J.K. Gimzewski
「ドデカンチオール脱離に伴う微小応力の変動」
第 40 回真空に関する連合講演会
(1999 年 10 月, 東京芝公園)
8. 成島哲也, 上田伸夫, 板倉明子, 河辺隆也, 北島正弘
「シリコン酸化による表面応力の研究: 表面乱れの影響」
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
1999 年度第 7 回特別研究会「極薄シリコン酸化膜の形成・評価・信頼性」
(2000 年 1 月, NTT 御殿場研修センター)

紀要等

1. 成島哲也, 板倉明子, 河辺隆也, 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」
「極薄シリコン酸化膜の形成・評価・信頼性(第4回研究会)」(JSAP Catalog
Number:AP992204),p201

2. 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」
「極薄シリコン酸化膜の形成・評価・信頼性(第5回研究会)」(JSAP Catalog
Number:AP992204) ,p207
3. 成島哲也、上田伸夫、板倉明子、河辺隆也、北島正弘
「シリコンの酸化による表面応力の研究:表面乱れの影響」
「極薄シリコン酸化膜の形成・評価・信頼性(第5回研究会)」(JSAP Catalog
Number:AP002201) ,p259

<学位論文指導>

1. 富岡右京:
「グロー放電におけるヒステリシスの研究」
大学院修士課程理工学研究科修士論文、2000年3月。