

# 修 士 実 験

(2016年度)

東京大学大学院

工学系研究科 電気系工学専攻

## 2016 年度大学院 修士実験題目（偶数年度）

### 1. 高電圧・電力系統

実験 番号	実 験 題 目	教 員	年度	グル ブ数	期間	
					1	2
1	急峻方形波高電圧発生器を用いたナノ秒放電現象の解明	日 高	通年	1	○	○
2	Bergeron 法による回路解析	横 山	偶数	1	○	○
3	ニューラルコンピューティングの電力システムへの応用	横 山	奇数	1	×	×
4	プラズマ診断法	小野(靖)	奇数	1	×	×
5	プラズマ中における磁力線のトポロジー変化	小野(靖)	偶数	1	○	○
6	ホロニックネットワークの実証と応用に関する分析	松 橋	偶数	1	○	○
7	固体絶縁物表面の放電・帯電現象	熊 田	通年	1	○	○
8	高周波放電によるプラズマ生成（柏キャンパス）	井	通年	1	×	×
9	大気圧非熱平衡プラズマ中のラジカル計測	小野(亮)	通年	1	○	○
10	系統連系パワーエレクトロニクス	馬 場	通年	1	○	○

(注) 期間 1：5/6～6/6, 2：6/9～7/11

### 2. 電気機器・制御

実験 番号	実 験 題 目	教 員	年度	グル ブ数	期間	
					1	2
1	超小型アクチュエータ	藤田(博)	通年	1	○	○
2	小型衛星のシステムと衛星運用	齋 藤	通年	1	×	○
3	ロバスト・モーション・コントロール	堀・藤本	通年	1	○	○
4	制御系設計CAD	堀・藤本	通年	1	○	○
5	人間の生体活動解析	小野寺	通年	1	○	○
6	月惑星探査ロボットの行動計画	久保田	通年	1	○	○
7	探査用マニピュレータによる自律サンプル採取	久保田	通年	1	○	○
8	数値電磁界解析手法による電気機器の特性解析	大 崎	通年	1	○	○
9	人工衛星の姿勢制御系設計およびシミュレーション	橋 本	通年	1	○	○
10	柔軟構造体の制御実験	橋 本	通年	1	○	○
11	状態フィードバック制御と状態推定を用いた二慣性系振動抑制の制御器設計	古 関	通年	2	×	○
12	MEMS センサ・アクチュエータの等価回路モデル構築	年 吉	通年	1	○	○
13	パルス磁界による神経刺激	関 野	通年	1	○	○

(注) 期間 1：5/6～6/6, 2：6/9～7/11

### 3. 通信システム

実験 番号	実 験 題 目	教 員	年度	グル ブ数	期間	
					1	2
1	無線 LAN の電界強度の確立分布を用いた置推定	相 田	奇数	1	×	×
2	遅延・揺らぎに対する通信性能の評価	中 山	通年	1	×	○
3	情報通信政策	森 川	通年	1	○	○
4	ネットワークを利用した広域分散仮想計算機環境を構築する基盤技術の性能評価	関 谷	通年	1	×	○

(注) 期間 1: 5/6~6/6, 2: 6/9~7/11

### 4. 計算機・情報処理システム

実験 番号	実 験 題 目	教 員	年度	グル ブ数	期間	
					1	2
1	市場経済モデルに基づく計算資源融通	相 田	偶数	1	○	○
2	MPIによる並列プログラミング入門	中 島	通年	1	○	×
3	音声認識システムの構築	峯 松	通年	1	○	○
4	情報通信機器の動作と消費電力に関する検討	工 藤	通年	1	○	×
5	XML Processingの基礎	佐 藤	通年	1	○	○
6	拡張現実感システムの構築	小 川	通年	1	×	○
7	多クラスパーセプトロンの実装と応用	鶴 岡	通年	1	○	○
8	実物体の3次元計測とモデル化処理	大 石	通年	1	○	○
9	モバイル・ウェアラブルデバイスを用いたユーザの行動・活動支援システムの設計と評価	矢 谷	通年	1	○	○

(注) 期間 1: 5/6~6/6, 2: 6/9~7/11

### 5. デバイス1

実験 番号	実 験 題 目	教 員	年度	グル ブ数	期間	
					1	2
1	半導体集積回路パターン設計	浅 田	奇数	1	×	×
2	VLSI用CADアルゴリズム	浅 田	偶数	1	○	○
3	数値解析プログラム Matlab と VLSI 設計への応用	櫻 井	偶数	1	○	○
4	化合物半導体光デバイス	中野・種村	通年	1	○	○
5	TCAD による MOSFET シミュレーション	高木・竹中	通年	1	○	×
6	光ファイバブラッググレーティング	山 下	通年	1	○	○
7	FPGA を用いた信号処理	池 田	通年	2	○	○
8	ナノ光デバイスとナノ光加工	八 井	通年	1	○	×
9	非線形光学顕微鏡	小 関	通年	1	○	×
10	時間方向アナログ回路設計	名 倉	通年	1	○	○
11	CMOS アナログ集積回路の設計	高 宮	奇数	1	×	×
12	CMOS 集積回路の物理設計	飯 塚	通年	1	○	○

(注) 期間 1: 5/6~6/6, 2: 6/9~7/11

## 6. デバイス2

実験 番号	実 験 題 目	教 員	年度	グル ープ数	期間	
					1	2
1	LED ホタルの作製と非線形ダイナミクスの解析	合原・ 田中(剛)	偶数	2	○	○
2	論理関数充足性判定 (SAT) 手法を利用した VLSI 設計技術	藤田(昌)	偶数	1	○	○
3	VLSI 設計の自動合成技術	藤田(昌)	奇数	1	×	×
4	ナノスケールデバイスの物性評価	廣瀬(和)	通年	1	○	○
5	放射線環境下の MOS トランジスタ動作の解析	廣瀬(和)	通年	2	○	○
6	微細 MOS トランジスタの物理	平本・ 小林(正)	通年	1	○	○
7	ニューラルネットワークと複雑性	廣瀬(明)	偶数	1	○	○
8	ニューラルネットワークと高機能化デバイス	廣瀬(明)	奇数	1	×	×
9	神経模倣回路の設計と特性解析	河 野	通年	1	○	○
10	コンピュータによるデータ入出力の基礎	三 田	偶数	1	○	○
11	三次元立体画像処理の基礎	三 田	奇数	1	×	×
12	生体データ解析・モデリングの基礎	小林(徹)	通年	1	○	○

(注) 期間 1:5/6~6/6, 2:6/9~7/11

## 7. 物 性

実験 番号	実 験 題 目	教 員	年度	グル ープ数	期間	
					1	2
1	青色発光デバイスと窒化ガリウム半導体の光物性	荒川・岩本	通年	1	○	×
2	フォトリソグラフィ結晶の作製とその光学評価	荒川・岩本	通年	1	×	○
3	サブミリ波領域における半導体中の電気伝導特性	平 川	通年	1	○	×
4	磁性薄膜および磁性体/半導体ハイブリッド構造の物性	田中(雅)・ 大矢・中根	通年	1	×	○
5	高効率次世代型太陽電池の特性評価とシステム技術	岡 田	偶数	1	○	○
6	レーザー分子線エピタキシー法による機能性氧化物薄膜形成および物性測定	田畑・松井	通年	1	×	○
7	有機薄膜トランジスタの作製と評価	染 谷	通年	1	○	×
8	走査プローブ顕微鏡による半導体微細構造の評価	高 橋	通年	1	○	○
9	有機金属気相成長による化合物半導体量子井戸構造の作製と微細加工	杉 山	奇数	1	×	×
10	半導体ナノ構造における熱伝導特性	野 村	通年	1	×	○

(注) 期間 1:5/6~6/6, 2:6/9~7/11

## 履修上の注意事項

1. 修士実験では1題目当り丸8日程度の時間をかけ、2題目を履修することにより、10単位（修士実験）が与えられる。
2. 各グループは2人又は3人1組で、2題目を選択し、それぞれの実験終了後、各人が共にレポートを提出する。従って各学生はレポート2通を出すことになる。
3. 実施の期間は  
第1期 5月6日～6月6日  
第2期 6月9日～7月11日  
の2期に分け、第2期までで終了するようにする。
4. 題目は別表のように
  - (1) 高電圧・電力系統
  - (2) 電気機器・制御
  - (3) 通信システム
  - (4) 計算機・情報処理システム
  - (5) デバイス1
  - (6) デバイス2
  - (7) 物性の7分野に分類されている。各実験題目はこれらのうち、異なる2つの分野にわたって選択すること。
5. 題目によっては多数のグループが同時に履修できるものもある。別紙の題目表のグループ数はその制限数である。
6. 各グループの題目決定は4月27日（水）午後4時50分より2号館241号講義室で行なう。  
各グループ内で予め希望題目を相談の上、必ず集合すること。
7. 後日掲示の日程表に従い、遅延せぬよう実施すること。  
学会発表など特別の事情があるときは、必ず指導教員の許可を得て担当教員および修士実験幹事教員に届出てスケジュールの変更などの許可をうけること。
8. 各題目の実施に先立ち全員揃って各題目の担当教員よりよく指示を受けること。
9. 参考文献を調査することは、実験の期間中に行って差支えない。
10. レポートは、事務室にある実験終了報告・採点用紙を添付して、直接題目担当の教員に提出すること。
11. グループのメンバーの内の1人が所属する研究室の実験はとらないこと。
12. 実験の選択が一部の教員・研究室に著しく片寄った場合は、たとえ認められた制限内であっても、更に選択を調整することがありうる。

# 目 次

1-1	急峻方形波高電圧発生器を用いたナノ秒放電現象の解明 (日高)	1
1-2	Bergeron 法による回路解析 (横山)	2
1-3	ニューラルコンピューティングの電力システムへの応用 (横山)	2
1-4	プラズマ診断法 (小野(靖))	3
1-5	プラズマ中における磁力線のトポロジー変化 (小野(靖))	3
1-6	ホロニックネットワークの実証と応用に関する分析 (松橋)	3
1-7	固体絶縁物表面の放電・帯電現象 (熊田)	4
1-8	高周波放電によるプラズマ生成 (柏キャンパス) (井)	4
1-9	大気圧非熱平衡プラズマ中のラジカル計測 (小野(亮))	4
1-10	系統連系パワーエレクトロニクス (馬場)	5
2-1	超小型アクチュエータ (藤田(博))	5
2-2	小型衛星のシステムと衛星運用 (齋藤)	5
2-3	ロバスト・モーション・コントロール (堀・藤本)	6
2-4	制御系設計 CAD (堀・藤本)	6
2-5	人間の生体活動解析 (小野寺)	7
2-6	月惑星探査ロボットの行動計画 (久保田)	7
2-7	探査用マニピュレータによる自律サンプル採取 (久保田)	7
2-8	数値電磁界解析手法による電気機器の特性解析 (大崎)	8
2-9	人工衛星の姿勢制御系設計およびシミュレーション (橋本)	8
2-10	柔軟構造体の制御実験 (橋本)	8
2-11	状態フィードバック制御と状態推定を用いた二慣性系振動抑制の 制御器設計 (古関)	9
2-12	MEMS センサ・アクチュエータの等価回路モデル構築 (年吉)	9
2-13	パルス磁界による神経刺激 (関野)	10
3-1	無線 LAN の電界強度の確立分布を用いた置推定 (相田)	10
3-2	遅延・揺らぎに対する通信性能の評価 (中山)	10
3-3	情報通信政策 (森川)	11
3-4	ネットワークを利用した広域分散仮想計算機環境を構築する 基盤技術の性能評価 (関谷)	11

4-1	市場経済モデルに基づく計算資源融通 (相田)	11
4-2	MPI による並列プログラミング入門 (中島)	12
4-3	音声認識システムの構築 (峯松)	12
4-4	情報通信機器の動作と消費電力に関する検討 (工藤)	12
4-5	XML Processing の基礎 (佐藤)	13
4-6	拡張現実感システムの構築 (小川)	13
4-7	多クラスパーセプトロンの実装と応用 (鶴岡)	13
4-8	実物体の 3 次元計測とモデル化処理 (大石)	13
4-9	モバイル・ウェアラブルデバイスを用いた ユーザの行動・活動支援システムの設計と評価 (矢谷)	14
5-1	半導体集積回路パターン設計 (浅田)	14
5-2	VLSI 用 CAD アルゴリズム (浅田)	15
5-3	数値解析プログラム Matlab と VLSI 設計への応用 (櫻井)	15
5-4	化合物半導体光デバイス (中野・種村)	15
5-5	TCAD による MOSFET シミュレーション (高木・竹中)	16
5-6	光ファイバブラッググレーティング (山下)	16
5-7	FPGA を用いた信号処理 (池田)	16
5-8	ナノ光デバイスとナノ光加工 (八井)	16
5-9	非線形光学顕微鏡 (小関)	17
5-10	時間方向アナログ回路設計 (名倉)	17
5-11	CMOS アナログ集積回路の設計 (高宮)	17
5-12	CMOS 集積回路の物理設計 (飯塚)	17
6-1	LED ホタルの作製と非線形ダイナミクスの解析 (合原・田中(剛))	18
6-2	論理関数充足性判定(SAT)手法を利用した VLSI 設計技術 (藤田(昌))	18
6-3	VLSI 設計の自動合成技術 (藤田(昌))	18
6-4	ナノスケールデバイスの物性評価 (廣瀬(和))	19
6-5	放射線環境下の MOS トランジスタ動作の解析 (廣瀬(和))	19
6-6	微細 MOS トランジスタの物理 (平本・小林(正))	20
6-7	ニューラルネットワークと複雑性 (廣瀬(明))	20
6-8	ニューラルネットワークと高機能化デバイス (廣瀬(明))	20
6-9	神経模倣回路の設計と特性解析 (河野)	21
6-10	コンピュータによるデータ入出力の基礎 (三田)	21
6-11	三次元立体画像処理の基礎 (三田)	21
6-12	生体データ解析・モデリングの基礎 (小林(徹))	21

7-1	青色発光デバイスと窒化ガリウム半導体の光物性（荒川・岩本）	22
7-2	フォトニック結晶の作製とその光学評価（荒川・岩本）	22
7-3	サブミリ波領域における半導体中の電気伝導特性（平川）	22
7-4	磁性薄膜および磁性体／半導体ハイブリッド構造の物性 （田中(雅)・大矢・中根）	23
7-5	高効率次世代型太陽電池の特性評価とシステム技術（岡田）	23
7-6	レーザー分子線エピタキシー法による機能性酸化物薄膜形成 および物性測定（田畑・松井）	24
7-7	有機薄膜トランジスタの作製と評価（染谷）	24
7-8	走査プローブ顕微鏡による半導体微細構造の評価（高橋）	24
7-9	有機金属気相成長による化合物半導体量子井戸構造の 作製と微細加工（杉山）	25
7-10	半導体ナノ構造における熱伝導特性（野村）	25



## 1 - 1 急峻方形波高電圧発生器を用いたナノ秒放電現象の解明 (日高)

放電現象は、古くから雷やセントエルモの火として、現在では冬場の静電気による火花などの形で、日常生活に深く関わり続けている。こうした放電現象が学術研究の対象となったのは18世紀のことで、19世紀末には電力システムの建設により絶縁の観点からも研究が開始されている。また、放電の進展機構を解明しようとする試みは、1902年に発表されたTownsendによる放電開始理論に始まる。

放電現象は工業的にも広く応用されており、社会の基盤技術となっている。例えば、プラズマディスプレイパネルは微小放電による発光を利用しており、半導体集積回路の製造工程におけるプラズマエッチングや、プラズマCVDによる薄膜形成もその応用例である。また、電気絶縁の観点では、電力分野での重要性は言うまでもなく、最近では、マイクロデバイスの絶縁設計においても脚光を浴びている。

このように長い研究の歴史と広い応用範囲を持つ放電現象であるが、その開始から進展に至る機構には未解明の点が多く、定量的な評価を難しくしている。これは、放電現象が高速に進展する確率的現象で、印加電圧の大きさや波形、媒体の種類や圧力、電極の形状や間隔など複数の要因が複雑に絡みあって影響することから、各要因を分離して検討することが難しいためである。特に、印加電圧は波頭峻度、波高値、継続時間などのパラメータを持つが、放電はナノ秒オーダーの短時間のうちに進展するため、その範囲でパラメータを独立に変化させることが難しい。この問題を解決する理想的な試験電圧は、瞬時に波高値に達しそれが維持される方形波である。放電進展時間に対し十分に短い立ち上がり時間を持つ方形波電圧を用いることで、波頭峻度の影響を考慮せずに実験を行うことができる。

これを実現するために、高電圧実験ホールには、電圧立ち上がり時間16ns、10 $\mu$ s経過後の減衰率2.5%以下、最大波高値200kVという理想的な急峻方形波高電圧発生器 (SPURT; Square Pulse High-Voltage Generator in University of Tokyo) が導入されている。

これまでにSPURTを用いて、1 $\mu$ s以下の短時間領域で放電現象を測定し始めたところである。測定対象は、SF<sub>6</sub>ガス、SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub>混合ガス、CF<sub>3</sub>Iガス、CF<sub>3</sub>I-N<sub>2</sub>混合ガス、CF<sub>3</sub>I-Air混合ガス、CF<sub>3</sub>I-CO<sub>2</sub>混合ガスで、主として火花電圧-火花遅れ時間特性 (V-t特性) の測定や、ストリーマ進展の高時間分解観測を行っている。

SF<sub>6</sub>ガスは優れた電気絶縁特性を有するガスであるが、地球温暖化ガスに指定されるなどいくつかの弱点が見いだされている。そのため、SF<sub>6</sub>の削減を図るために他のガスとの混合を検討したり、SF<sub>6</sub>に代わる新しいガスの開発が行われている。CF<sub>3</sub>Iガスはその一つで、温暖化係数が低く、しかもN<sub>2</sub>を40%まで混合してもなお純粋SF<sub>6</sub>ガスと同等の高い絶縁性能を示しており、興味深いガスである。

このようなナノ秒領域の放電現象の解明や、新しい絶縁ガスの開発の、一端を担ってもらおうとするのが本実験課題である。

## 1 - 2 Bergeron 法による回路解析 (横山)

現在世界的にもっとも大規模でかつ体系化された電気回路の過渡現象解析プログラムは、アメリカで過去 10 数年にわたって開発された EMTP(Electro magnetic Transient Program)といわれる電磁現象過渡解析プログラム体系である。

このプログラムは集中定数回路はもとより分布定数回路、機械的運動系、各種スイッチング素子、非線形回路要素、回路定数の周波数特性等々実験の回路で遭遇する殆どすべての要因をも考慮できるようにつくられた膨大なソフトウェア体系である。この体系の基本となるのは、波動方程式を波の進行とともに移動する座標系から観測した方程式に変換して効率的に解く Bergeron 法である。

本演習ではこの Bergeron 法について基礎的事項を理解するとともに学生の希望にしたがって、機械的運動系、スイッチング素子、非線形要素回路定数の周波数特性の取り扱いなどに焦点をしばって解析の具体的方法を修得する。

[参考文献]

- (1) 関根：電力系統過渡解析論，オーム社（1984）
- (2) 関根：電力系統解析理論（1971）

## 1 - 3 ニューラルコンピューティングの電力システムへの応用 (横山)

脳は、情報の並列処理、学習機能、自己組織化能力など多くの優れた機能を有し、パターン認識や、直観的处理を得意としている。このような機能を工学的に実現する手段として、非線形なニューロンモデルを多数結合した、様々な種類の人工的ニューラルネットワークが考えられている。ニューラル・コンピューティングの基本は、このニューラルネットワーク上で並列分散情報処理を行うことであり、画像、音声などのパターン認識、ロボットなどのインテリジェント制御、行動・動作・計画の最適化等への幅広い応用研究が行われている。

電力システムにおいても、予測・診断性能、計算速度の向上を目指して、負荷需要予測、発電機起動停止計画、経済負荷配分などの計画面、発電機制御、安定度監視、状態推定などの制御・運用面、故障・事故判定、高調波源同定などの診断・保守面の様々な分野で、多層フィードフォワード形やフィードバック形の人工的ニューラルネットワークの応用研究が進められている。

本演習では、多層フィードフォワード形とフィードバック形の人工的ニューラルネットワークの基本的性質を理解するとともに、負荷需要予測などを例題として、シミュレーションソフトを用いて簡単な計算機シミュレーションを行い、応用上の問題点等を把握しニューラル・コンピューティングへの理解を深める。

## 1 - 4 プラズマ診断法 (小野(靖))

プラズマの診断, 評価技術は熱核融合研究や宇宙プラズマ研究, プラズマプロセス研究の進展に伴い, 多様な一研究分野を形成している。プラズマとは原子が電離してできた高温の原子核および電子から成る流体 (低温の場合, 未電離の分子, 原子を含む) である。これは硬 X 線から赤外線に至る広い範囲の電磁波の放射源となっている。計測には例えばこうした電磁波を受動的に利用する方法, 逆に電磁波を入射して応答を調べる能動的方法がある。本実験は, そうした測定技術の内, 基礎的なもの, 話題性のあるものについてその実際を体験, 検討してもらうことを目的とする。具体的には(1)レーザー干渉計を用いた電子密度測定, (2)可視分光を用いたトモグラフィ計測, (3)スペクトル線のドップラー幅を用いたイオン速度, 温度計測, (4)レーザー散乱を用いた電子温度密度計測, (5)基礎測定法としての磁気プローブ測定, 静電プローブ測定などの内, 適当なテーマを設定する。

[参考文献]

N.C.Luhmann,Jr.andW.A.Peebles:Rev.Sci.Instrum.55(3),March1984,pp.279-331.  
プラズマ核融合学会:「プラズマ診断の基礎と応用」コロナ社 2006年

## 1 - 5 プラズマ中における磁力線のトポロジー変化 (小野(靖))

理想的な完全電離プラズマでは磁力線がプラズマ自体に凍り付き, 磁界のトポロジカルな構造は変わることができない。しかし, 実際のプラズマでは極地のオーロラや核融合プラズマの破壊的な不安定に見られるように, 磁力線がつなぎ代わり (磁気リコネクション), その磁界構造を時々刻々, ダイナミックに変えているのが現実である。磁気リコネクションはプラズマの磁界構造変化を演出するキーポイントとして多くの理論モデルが提案されている。一方, その磁界構造変化はある一定の法則に沿って行われ, 巨視的に秩序だった状態へ移行する場合がある。この状態は磁界減衰までの過渡的安定状態である。この時の保存量を見つける試みとして磁気ヘリシティ理論をはじめとする各種の議論がなされている。本論議では, 磁気リコネクション理論, 磁気ヘリシティ理論を中心に論文輪講を行い, 簡単な計算解析等も併用してこうしたプラズマの磁界構造変化に対する理解を深めることを目的とする。

## 1 - 6 ホロニックネットワークの実証と応用に関する分析 (松橋)

ホロニックネットワークは, 松橋が東大と併任で研究統括を務めている低炭素社会戦略センター (LCS <http://www.jst-lcs.jp>) で 2013 年から実施しているものである。具体的には, 地方自治体を通じて契約をした数百世帯の地域住民の 1 分毎の消費電力量のデータをサーバ上で直接読み取り, 世帯属性やライフスタイルとの関係性を分析すると共に, こちらから省エネ, 節電, CO<sub>2</sub>削減等に関する情報を提供し, 反応を分析し, 今後のエネルギー政策, 制度の設計に活かす事を目的

としている。

## 1 - 7 固体絶縁物表面の放電・帯電現象 (熊田)

気体の絶縁自復性を利用したガス絶縁機器は電力系統において広く普及している。これらの機器において、導体を支える固体絶縁物の表面状態が電気絶縁に及ぼす影響、および固体絶縁物表面に発生する沿面放電の進展現象については未解決な課題が少なくない。これらの課題に対して、各種センサや信号処理手法を駆使し帯電現象や放電現象を解明し、電力機器絶縁の合理化を図ろうと各所で研究が進められている。

修士実験では、放電・帯電現象の最先端研究についてその一部を垣間見たり、体験することにより、研究者としてのスキルアップを図ってもらいたいと考えている。本年度は、表面電位計を機械的に巧みに制御・操作することにより、また得られた二次元情報を高精度信号処理することにより、絶縁スペーサなどの表面に発生する沿面放電ストリーマの電荷密度を、スペーサ厚さやガスの種類、ガス圧などのパラメータを変化させながら測定することを考えている。

## 1 - 8 高周波放電によるプラズマ生成 (柏キャンパス) (井)

プラズマは半導体産業をはじめとして様々な分野で応用されており、現代社会に不可欠な技術といえる。このようなプラズマの生成・維持には高周波電力が用いられることが多く、特にアンテナに流れる高周波電流によって放電を持続させる「誘導結合型プラズマ」は、生成が簡単であることから広く応用されている。

本課題では、実験を通じて高周波電源の構成やプラズマ生成の基礎に触れることを目的としている。IGBTを用いたインバータ電源を自作し、共振回路として設計したアンテナに高周波電流を供給することによってプラズマの生成を確認する。密度等の基本的なプラズマパラメータを測定し、等価回路を用いてプラズマへの電力吸収効率を評価する。

## 1 - 9 大気圧非熱平衡プラズマ中のラジカル計測 (小野(亮))

空気中で放電により生成される大気圧非熱平衡プラズマは、環境汚染物質の分解除去、殺菌、材料の表面処理など様々な用途で利用されている。この非熱平衡プラズマでは、まず最初に空気中に含まれる酸素、窒素、水分子が放電の電子衝突により解離し、O, N, OH, Hといった化学的に活性度の高いラジカル(化学活性種)が生成される。そしてこれらのラジカルが周囲のガスと化学反応を起こし、汚染物質の除去や殺菌などの目的を達成する。したがって非熱平衡プラズマを効率的に利用するには、これらのラジカルの密度や挙動を調べる必要がある。本実験では、大気圧非熱平衡プラズマ中のラジカル密度を測定し、ラジカル計測の手法を学び、「プラズマ化学」の研究の一

端に触れてもらう。測定は発光分光法，吸収法，レーザー誘起蛍光法など，光計測を中心に行う。

## 1 - 10 系統連系パワーエレクトロニクス (馬場)

太陽光発電や燃料電池など直流電源から一般の交流系統へ電力を供給する際には電力変換器を通す必要がある。近年，このような分散型電源に対する研究が盛んに行われており，様々な観点から制御法について検討が行われている。今後も更に電力変換器によるエネルギー供給は普及が進み，基本的かつ重要な技術となると考えられる。

そこで本演習では小型の三相電力変換器を用いて，計測した電圧から系統と同期をとり，与えられた電力指令に追従するような電流が出力されるようスイッチングを制御するなど，エネルギー制御の基礎的なところから実装を行い，模擬送電線系統に対してエネルギー供給を行う試験を行う。同期の取り方，電流制御の方法など様々な手法が提案されているが，可能な場合には一手法のみならず，他の手法も実装し，これらの得失を議論する。

## 2 - 1 超小型アクチュエータ (藤田(博))

工学の多くの分野で，例えばナノ物体や細胞など，微小な対象を精密に操作する要求が増えている。他方，VLSI 製造技術に基く Si のマイクロマシーニングにより，10nm~100 $\mu$ m 程度の大きさの可動構造が作れるようになった。このようなマイクロ構造を動かし，上述の精密操作を行うには，超小型の駆動装置（アクチュエータ）と微小な変位を測るセンサが必要である。

本実験では，数十ナノメートルから数百ミクロンの寸法のアクチュエータ、センサやマイクロ構造を対象に，以下の諸点について実習する。

- ① 製作プロセスの見学と理解。
- ② 性能の理論的予測法。
- ③ 性能の測定と理論値との比較。

## 2 - 2 小型衛星のシステムと衛星運用 (齋藤)

当研究グループでは，若手職員と学生で開発した小型衛星 INDEX を 2005 年に打ち上げ，現在でも運用中である。INDEX (れいめい) 衛星は，重量 72kg の小型衛星技術実証とオーロラ観測を目的にした衛星であり，姿勢指向精度 0.05° の 3 軸姿勢制御能力を持つ等本格的な衛星機能を有している。

この衛星を例にとり，衛星システムの理解を行い，あわせて実際の衛星運用に参加する。

## 2-3 ロバスト・モーション・コントロール (堀・藤本)

サーボモータやロボットのモーション・コントロールにおいては、基本的な手足の部位にあたる制御は適応制御や学習制御を適用するべきではなく、外部からの外乱やプラント変動に対して堅牢な、ロバスト制御系を構成するべきである。

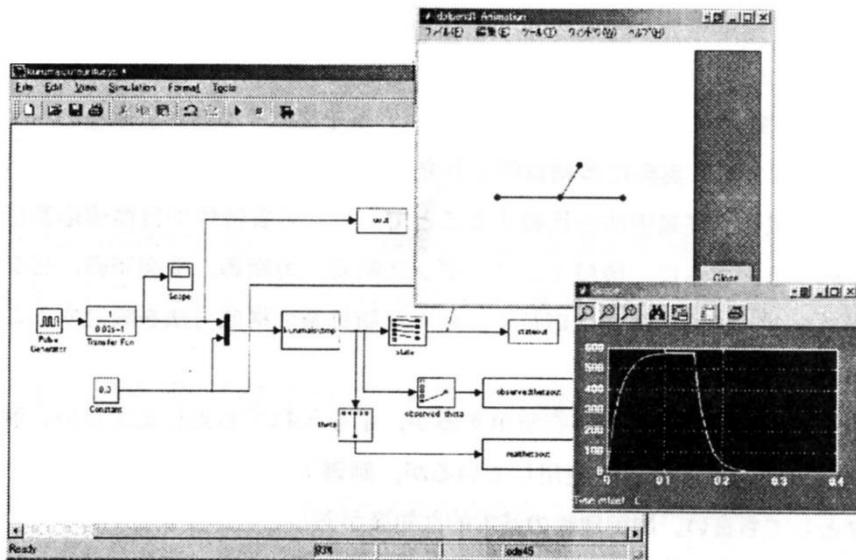
そこで、本演習では、実際に多軸ロボットマニピュレータ (\*)を用いて、ロバストな制御系を構成し、従来手法と比較することで、外乱応答特性や目標値応答特性の改善を体験する。さらに、機械インピーダンス制御、力制御、ビジュアルサーボ系、障害物回避軌道計画など、学生の興味に応じて、様々な制御系の構成方法を設計することも可能である。

ハードウェア構成は既存のものを使用するが、手を入れても差し支えない。制御 PC はリアルタイムリナックスを使用しているが、制御アルゴリズムを書くソフト主体のテーマとしても良い。制御理論の基本的な知識があることが望ましい。

\*COE21 の予算で購入したファナック製ロボットアームを 2 台用いる。

## 2-4 制御系設計 CAD (堀・藤本)

最近の制御工学の話題の一つに、ロバスト制御、とくに  $H_\infty$  制御があげられる。1988 年にその状態空間での解法 (研究者の頭文字をとって DGKF と呼ばれる) が示され、これを受けて、優秀な CAD システムが登場した。



### [SIMLINK によるシミュレーションの例]

MATLAB はその代表であるが、従来非常に多くの手間を要した数値計算が極めて容易になっている。例えば、SIMLINK では、制御系のブロック線図を描くだけで、各ポイントの時間波形を観測することができる。シミュレーションのアルゴリズムや精度なども細かく指定可能である。

このような CAD の出現は、従来机上の空論ともいわれた制御理論を非常に身近なものとし、そ

の普及に大きく役立つものである。(3年生の演習で経験済みの人もいると思う。)

本演習では、これらのCADを用いて、たとえば、ロボスタサーボ系設計、軸ねじれ系の制御、パワーアシスト、電気自動車の制御、歩行シミュレーションなどを行い、様々な角度から検討を加える。道具が先にあるので、具体的な対象は学生の方から持ち込んでもよい。

## 2 - 5 人間の生体活動解析 (小野寺)

人間の活動は電氣的(脳波, 心電図, 筋電図, 神経伝導速度等) および機械的(加速度センサ, 視線解析装置, モーションキャプチャ装置等) な方法で観察することができる。電子デバイス・通信技術の医学応用を考える際、生体情報測定の経験は有用である。本実験では担当者(神経内科専門医)の指導の下、学生は自身の生体活動を臨床用装置を用いて測定するとともに、その性能限界について考える。

さらに正常と病態(例; 模擬麻痺装具装着や杖歩行)について議論する。  
希望者には、光応答遺伝子導入動物の光による運動制御実験を供覧する。

## 2 - 6 月惑星探査ロボットの行動計画 (久保田)

月惑星移動探査ロボット(探査ローバ)は、月惑星表面の未知環境において、障害物を回避しながら目標となる観測地点に移動し、探査を行う。したがって、凸凹した不整地を移動するメカニズム、周囲の環境を認識する機能、経路計画手法、自己の位置を知るナビゲーション、経路に沿って誘導する機能などが必要になる。

本実験では、画像情報や距離データをもとに、探査ロボットの環境認識およびナビゲーションに関して、コンピュータシミュレーションあるいは当研究室で研究開発を行っているロボットを用いた実験を行う。

## 2 - 7 探査用マニピュレータによる自律サンプル採取 (久保田)

月惑星探査において、表面のサンプルを採取して岩石などをその場で分析することが求められている。惑星表面は未知環境であり、科学者に参考となる惑星表面の情報を提供し、所望のサンプルを自律的に採取することが重要である。そこで、月惑星環境を模擬し、未知環境でのサンプル採取実験を行う。

マニピュレータの制御手法、サンプリングメカニズム、環境認識、環境提示手法、サンプル採取手法、掘削手法、スコーピング手法などについて学び、実際に、コンピュータシミュレーションによるサンプル採取、あるいは実機を用いたサンプル採取実験を行う。

## 2 - 8 数値電磁界解析手法による電気機器の特性解析 (大崎)

モータやアクチュエータ、マグネットなどの設計、特性解析において、それらの機器中の電磁界を有限要素法などを用いて数値解析することが一般に行われ、そのような目的のソフトウェアが多数開発、市販されている。そのため、有限要素法などの数値解析手法自体をあまり知らなくても、ある程度の解析はできるようになっている。しかし、ソフトウェアを効率的にかつ正しく利用するためには、数値解析手法の学習と電磁気学の復習を通じて、解法自体をきちんと理解するとともに、そのプログラムの使用法に精通することが大事である。

そこで本課題では、市販の電磁界解析ソフトウェアを利用して、簡単な例題による基本的な使用法の学習の後、永久磁石形同期モータを対象に特性の解析を行う。その中で、数値解析におけるプリプロセス（前処理）、ソルバ（解析）、ポストプロセス（後処理）の各機能を学び、メッシュ等の作成のポイント、境界条件の与え方、各種電磁的諸量の算出方法等に習熟する。特にトルク計算のための電磁力計算法として、マックスウェルの応力法や節点力法、仮想変位法などの結果を比較、考察する。また、同期モータの最も基本的な特性であるトルク-相差角特性を求める他、同期モータ中の永久磁石配置、電機子電流の流し方と、発生トルクとの関係などに着目して解析を行い、永久磁石形同期モータの構造と特性の関係を学ぶ。ここでは 2 次元の静磁界問題を扱うが、希望があれば他の問題を選択して、渦電流問題や 3 次元問題の解析を行うことも可能である。

## 2 - 9 人工衛星の姿勢制御系設計およびシミュレーション (橋本)

人工衛星、特に大型アンテナなど柔軟変形をする構造体を伴うものについては、その姿勢制御系に工夫が必要である。いかに柔軟振動モードを励振しないように、高速かつ高精度に姿勢変更を行うかが課題であり、 $H_{\infty}$ 制御等の制御則の適用やオリジナルの制御則考案を行う必要がある。本テーマでは、人工衛星の姿勢制御についての概要を勉強し、MATLAB などの制御系 CAD を使用して実際に制御則を設計し、計算機シミュレーションによって制御性能評価を行う。制御工学に関する基礎知識を有していることが望ましいが、必須ではない。

## 2 - 10 柔軟構造体の制御実験 (橋本)

大型のアンテナや太陽電池パネルなどを有する人工衛星の場合、これらの構造体の柔軟変形を考慮に入れた姿勢制御が必要である。

本実験では、柔軟構造を模擬したアームの姿勢制御を PC によりモータトルクを制御することで実施し、人工衛星姿勢制御の原理を体得する。RT-Linux 上で動作するソフトウェアとして制御則を実現し、制御パラメータの変更により、制御性能が変わることを確認する。



学生の有する知識に応じて、新たな制御則の考案などを行うことも可能である。

## 2 - 11 状態フィードバック制御と状態推定を用いた 二慣性系振動抑制の制御器設計 (古関)

二慣性系は、圧延や製紙など産業応用でよく見られる駆動用モータと負荷機械との間に可撓性をもつ軸があるために生ずる振動を解析し、それを防止する運動制御を考える際の理論的基礎を与えるモデルとして重視され、その振動抑制制御の研究開発が行われてきた。二慣性系における速度制御を考える場合、入力としてのモータトルクと出力としての負荷側速度との関係は、三次の系として表現される。産業応用を想定した二慣性系では、速度センサがモータ側の軸についているのに対し、振動抑制の対象は負荷側の速度である。

このため、その制御には状態推定を併用した状態フィードバック制御が有効となる。

本実験では、PI 制御に基づく一慣性系の速度制御と、この二慣性系の振動抑制を伴う速度制御を例題として扱い、まず、これらのフィードバック制御器の設計を数値計算を通じて学ぶ。次に、学部の制御 CAD 演習でも用いている二慣性系の試験装置を用いて、これらの制御系設計の基礎となるモータ側、負荷側の慣性モーメントやそれらの軸の間に存在する剛性などの基本的なモデル定数の測定を行い、それを元に制御器のゲインを決定して、フィードバック制御器の設計を体験する。そして、その効果を測定と目視を通じて評価する。

(なお、学部における制御工学の履修状況や経験に応じて協議をし、制御の課題の調整や、電磁アクチュエータの磁界解析のテーマへの変更なども、可能である。)

## 2 - 12 MEMS センサ・アクチュエータの等価回路モデル構築 (年吉)

半導体微細加工技術を応用してシリコン基板上に微細な機械構造を製作する「半導体マイクロマシニング技術」の研究分野はすでに実用化の段階に達しており、最近では微小機械とそれを駆動・制御するための電子回路を融合した「集積化 MEMS」(Micro Electro Mechanical Systems) の研究が盛んである。

デバイスの等価回路モデルを構築して、Spice などの電気回路シミュレータ上で統合解析する手法が一般的に採用されている。

今回の実験では、履修者はたとえば静電マイクロアクチュエータの簡単な測定実験を行い、その駆動機構の解析モデルを立てて回路シミュレータ上で解析する方法を習得する。デバイスの等価回路モデルを構築する手法は、MEMS 分野に限らず、自分自身の修士論文研究においても使い回しできる技術であるため、修士課程において是非とも身につけて頂きたい。

履修者は Spice シミュレータをインストールできるノート PC を持参すること。

## 2 - 13 パルス磁界による神経刺激 (関野)

経頭蓋磁気刺激は、頭部の表面に置いたコイルからパルス磁界を発生させ、脳内に誘導される過電流によって神経を刺激する手法である。神経疾患を治療するため、従来は手術によって脳に埋め込んだ電極からの電気刺激が行われてきたが、これが磁気刺激によって非侵襲的に行えるようになり、近年は臨床への普及が進んでいる。

本実験では、磁気刺激装置の実機に触れて、動作原理を理解するとともに、プローブコイルを自作して、発生磁界の測定を行う。さらに、有限要素法を使った電磁界の数値解析によって、脳内に誘導される過電流の強度を見積もる。

## 3 - 1 無線 LAN の電界強度の確率分布を用いた位置推定 (相田)

ユーザの位置情報を利用したサービスが増えてきている。カーナビゲーションがそのはしりであるが、ユーザの近くで行われているキャンペーンを広告として表示したり、大学の試験で誰がどこに座っていたか把握するなど、多種多様なサービスが考案されている。

ユーザが屋外にいる際の位置推定には、GPS (Global Positioning System) を用いるのが普通である。GPS では原子時計を搭載した衛星から届く電波の時間差を用いることで、屋外の GPS 衛星からの電波が直接届く環境であれば、安価な機器でも 10m 程度の精度で位置を把握することができる。これに対して、屋内や高架下、高層ビルの谷間など、GPS 衛星からの電波が直接届かない環境では、GPS を用いることができないか、精度が悪くなってしまう。このような環境で用いることのできる位置推定手法としては、GPS 互換の電波を用いるものや、超音波を用いるもの、カメラで撮影した画像を既知の情報とマッチングするもの、加速度センサから得られた情報を積分するものなどがあるが、ここでは無線 LAN を用いる方式として、電界強度の確率分布に基づく方式について実験を行う。

## 3 - 2 遅延・揺らぎに対する通信性能の評価 (中山)

インターネットの普及に伴い、テレビ会議システムやVoIPなどの映像や音声を実時間配送する利用が行われるようになってきた。特に、FTTHの普及を始めとするネットワークの広帯域化に伴い、より高精細な映像伝送の技術検証が進められつつある。しかし、時間制約を持つ通信に対しては、エンドノードのデータ処理に伴う遅延や揺らぎに加え、通信経路上での遅延や揺らぎが通信性能に大きく影響することになる。ここでは、各種アプリケーションが遅延や揺らぎにより受ける通信性能への影響に関して評価・考察する。

### 3 - 3 情報通信政策 (森川)

技術革新を巡る世界的な競争が激しくなっていく中で、情報通信市場も大きな変貌を遂げつつある。情報通信分野は国内総生産（GDP）の押し上げ効果が高く、成長戦略を実現するためにも情報通信技術の活用が必須であり、国家政策として戦略的な取り組みが重要である。

健全な情報通信市場を構築し、産業の発展に資するためには、どのような情報通信政策が必要となるのかに関して、文献調査を介して理解することを目的とする。具体的には、技術革新と規制との関連、インターネットバブル崩壊後の規制の変化、世界最高水準のブロードバンド環境を実現した政策と克服すべき課題、ブロードバンドの料金理論、固定アクセスおよび携帯電話市場に関する実証分析、放送・メディア市場の実証分析、電波資源の有効利用に資する電波政策、ヤフー・グーグル提携問題の是非ならびに産業に与える影響、デジタルメディア・コンテンツ分野における公共政策、技術標準化政策などの中から一つのテーマを取り上げ、情報通信政策の在り方について考える。

### 3 - 4 ネットワークを利用した広域分散仮想計算機環境を構築する基盤技術の性能評価 (関谷)

ネットワークを利用した計算機環境においては、広域に分散したリソースを用いて、仮想計算機（VM）を構築することが可能である。仮想計算機を用いることで、サービスの冗長性やユーザからのリクエストに基づいたリソースの融通、ネットワーク構成の動的な変更が可能となり、柔軟かつ継続性のあるサービス提供を行うことができる。本実験では、仮想計算機を構築するための基盤技術であるファイルシステムやネットワーク、さらに仮想計算機の耐障害性技術に関して、その機能の検証や性能の評価を行う。

### 4 - 1 市場経済モデルに基づく計算資源融通 (相田)

近年、個人用のパーソナルコンピュータをはじめとする非常に多くのコンピュータがネットワークに常時接続されており、これら多くのコンピュータを活用することによって、大きな計算能力を実現しようとする試みがいくつか行われている。その際、計算能力を提供する側と使用する側の公平感を実現するためには、計算能力の提供に対して、対価が支払われることが望ましい。現在、そのようなシステムにおいて、対価を決めるための手段としては、オークション（競り）が多く用いられている。オークションは、対価が確実に決まるなどの利点があるものの、対価の安定性や妥当性等の点において必ずしも最適とは言えない。ここでは、余剰計算能力を提供する側が時間あたりの価格を提示し、計算能力を使用する側が最も安い資源を購入するというモデルの下で、資源提供側の価格設定戦略、資源購入側の購入戦略により、市場の振る舞いがどのように変化するかをシ

ミュレーションにより観察する。

## 4 - 2 MPIによる並列プログラミング入門 (中島)

科学技術シミュレーションにおいて大規模並列システムが広く使用されるようになったが、そのためには、並列計算プログラミングに関する知識と経験が必須である。本実験では、分散並列システムにおいて広く使用されている MPI (Message Passing Interface) による並列プログラミングについて講義、実習を行う。実習では情報基盤センターのスーパーコンピュータ (Fujitsu PRIMEHPC FX10, Oakleaf-FX) を使用する。差分法による非定常熱伝導問題を対象とする。プログラミング言語としては C または Fortran を使用するため、受講者はいずれかの言語に関する初歩的なプログラミング経験を有すること。また、UNIX 環境の利用経験 (最低限 emacs または vi 等によりファイルの編集をできること) を有すること。

- ①差分法の基礎
- ②MPIによる並列プログラミング入門
- ③MPIによる差分法プログラムの並列化

## 4 - 3 音声認識システムの構築 (峯松)

小規模の語彙 (数十～百単語) を対象にした音声認識システムを構築する。まず、1) 「音声認識の基礎」に関する参考書に目を通し、講義を受ける。2) 次に、「音響モデル構築」「小規模語彙を対象とした音声認識システムの構築」に関する演習に参加し、隠れマルコフモデルの学習方法、認識用文法の構成方法、発音辞書の記述方法を実践的に学ぶ。そして、これらを用いた小規模語彙音声認識システムを構築する。3) 最後に、自らの声を収録し、これを使って音響モデルを構築し、また、演習で得た知識を拡張することで、「自分向けに」チューンされた音声認識システムを構築する。

UNIX 環境に慣れていること、プログラミングや信号処理の基礎知識を前提として実験は組まれている。なお、研究室の都合で、隠れマルコフモデルを用いた音声合成システムの構築を課題とする場合がある。

## 4 - 4 情報通信機器の動作と消費電力に関する検討 (工藤)

情報通信機器の消費電力低減は、省エネルギーだけでなく、携帯機器や外部電源に繋げないセンサーなどの動作環境確保や、半導体の発熱抑制などの点でも重要な課題である。多くの場合消費電力は機器の動作状況に依存するため、電力制限に応じて動作を制御する方式も広く用いられている。本実験では、実験者が選択した情報通信機器の消費電力への要求要件や動作制御の実態を調査するとともに、実際の情報通信機器の動作状態と消費電力の関係を評価する。

## 4 - 5 XML Processing の基礎 (佐藤)

XML は Web services をはじめとする現在の情報サービスを記述するための標準的な記述言語である。Java の処理系をはじめ、各種の処理系が提供されており、サービスを指向したソフトウェアの記述が容易になっている。この講義では、XML の規格を読み込むことからはじめ規格から処理系を作成する演習を通してひとつのソフトウェア体系を構築することを経験する。

## 4 - 6 拡張現実感システムの構築 (小川)

拡張現実感 (Augmented Reality) は、実際には存在しない仮想物体を視界に表示することで現実空間から得られる情報を拡張し、ユーザにより有益な空間を体験させる技術であり、作業支援やナビゲーション、エンターテインメントなどの応用が期待されている。本実験では、実際にシステムを構築することで、拡張現実感システムの仕組みを理解し、その課題や実応用について考察することを目的とする。

## 4 - 7 多クラスパーセプトロンの実装と応用 (鶴岡)

計算機に人間のような柔軟な知的処理を行わせようとする場合、データから処理のためのルールを自動的に「学習」という機械学習ベースのアプローチは欠かすことができない。本課題では、機械学習の基本的な自動分類アルゴリズムである、多クラスパーセプトロンの実装を通して、機械学習の基礎を理解することを目標とする。

機械学習に関する簡単な入門的講義の後、参加者それぞれが多クラスパーセプトロンアルゴリズムを実装し、それを利用した簡単なアプリケーションを作成する。使用プログラミング言語は問わないが、入出力、数値計算に関するごく基礎的なプログラミングは可能であることを前提としている。

## 4 - 8 実物体の 3 次元計測とモデル化処理 (大石)

本講義では、レーザレンジセンサやカラーカメラを用いて実物体から 3 次元モデルを生成する実験を行う。レンジセンサによって計測された距離画像は、位置合わせ・統合処理を行うことによって一元化された 3 次元形状モデルに変換される。これにカメラによって撮影された色彩情報をマッピングすることによって最終的な 3 次元モデルが生成される。この実験により、計測技術や、3 次元データの構造、物体表面の反射特性、データ処理手法、表示方法などを網羅的に学習してもらうことを目的としている。

## 4 - 9 モバイル・ウェアラブルデバイスを用いたユーザの行動・活動支援システムの設計と評価 (矢谷)

モバイルデバイスのみならずウェアラブルなデバイスが世の中に浸透していく中、それらのアプリケーションはいまだに発展途中である。モバイル・ウェアラブルデバイスが将来のコンピュータ機器の主流となるためには、今から既存の用途にとらわれないサービスやアプリケーションを模索し、提案し続ける必要がある。本実験ではそれらデバイスを用いてユーザの日常生活における行動や活動を支援するようなシステムを設計、構築、評価することを目指す。具体的には個人の興味や能力に合わせて、以下のようなテーマのうち1つを重点的に行う。

- ・質的調査 (インタビュー・フォーカスグループ)を通して、ユーザが求めているモバイル・ウェアラブルデバイスにおける新しいアプリケーションを明らかにする、
- ・既存のモバイルアプリケーションを数十～百程度調査し、今後開発を行うべきアプリケーション領域を明らかにする。
- ・ユーザの日常生活における行動や活動を認識するセンサやハードウェアを設計する。
- ・モバイル・ウェアラブルデバイスに搭載されているセンサからのデータと機械学習を用いてユーザの行動や活動を認識するシステムを構築する。
- ・モバイル・ウェアラブルデバイスにおける新しいサービス、アプリケーションを構築・評価する。

## 5 - 1 半導体集積回路パターン設計 (浅田)

(実験の目的)

簡単な半導体集積回路の配置・配線パターンの設計を通して、ランダム論理設計および構造化設計と配置・配線パターンとの関連を理解し、自動配置・配線の重要性和問題点を検討することを目的とする。

(実験の方法)

### 1. 集積回路の論理設計

設計対象の集積回路をハードウェア記述言語で設計記述しシミュレーションする。

### 2. ランダム論理設計

設計した論理回路を、基本ゲートとそれらの組み合わせで定義されるマクロセルを用いて、配置・配線をする。

### 3. バックアノテーション

配置・配線結果を自動解析し論理・回路シミュレーションにより検証する。

(検証事項)

実験で作成した配置・配線パターンに基づき、寄生素子を含む等価回路を構成し論理シミュレーションと回路シミュレーション等について、比較検討する。

なお、この実験では、ワークステーションによるVLSI設計支援システムを利用する。

[参考文献]

- (1) C.Mead and L.Conway:Introduction to VLSI Systems, Addison Wesley  
1980.(邦訳) 菅野貞雄, 榊裕之監訳, 培風館

- (2) P.Antognetti,D.O.Pederson and H.Deman:Computer Design Aids for VLSIC ircuits,Sijthoff & Noordhoff 1981.
- (3) D.F.Barbe:Very Large Scale Integration, Springer Verlag 1980.
- (4) 電子通信学会編：LSI 技術 昭和 54 年
- (5) 柳井, 永田：集積回路光学 (I) (II), コロナ社
- (6) CADENCE 社 VLSI 設計支援システムマニュアル

## 5 - 2 VLSI 用 CAD アルゴリズム (浅田)

半導体デバイス・集積回路の設計プロセスで、検証手段として用いられる各種のシミュレーション手法や合成アルゴリズムについて、原理、プログラミングの理解と問題点の検討等を、文献の輪講・討論によって行なう。さらに、いくつかの回路のモデルを用いて、ワークステーション上で利用できるハードウェア記述言語(HDL)やシミュレータ、合成プログラム等の使用方法を実習する。

## 5 - 3 数値解析プログラム Matlab と VLSI 設計への応用 (櫻井)

Matlab は広範な工学分野で使われている数値解析ソフトウェア・システムであり、随伴するシミュレーション環境 Simulink と組み合わせて最近ではシステム設計言語としての地位を確立したソフトウェア・パッケージである。マトリックス計算、モデル計算、数式処理、実験結果データの Visualization, 最適化問題や微分方程式の求解などが極めて簡便なプログラムによって実行できるという特長がある。本実験では、この工学一般分野で強力なツールとなる Matlab の言語を理解し、ソフトウェア・システムの使用方法を実際に会得するとともに、シミュレーテッド・アニーリング・アルゴリズムへの適用、VLSI 設計への応用について考える。

## 5 - 4 化合物半導体光デバイス (中野・種村)

化合物半導体光デバイスは、能動/受動両機能を果し得ること、光デバイス同士あるいは光デバイスと電子デバイスのモノリシック集積化が可能なことなどの理由から、光エレクトロニクスのキーデバイスと考えられている。本実験では、化合物半導体光デバイスの一例を取り上げ、その設計、特性シミュレーション、試作、測定評価の一端を体験し、動作原理、特徴を実素子に即して理解する。

本実験で対象とする光デバイスは、InP 系 (光通信波長帯)、GaAs 系、または GaN 系の、発光ダイオード (LED)、高効率太陽電池、半導体レーザー (LD)、半導体光アンプ、マトリクス光スイッチ、全光スイッチ回路などである。

## 5 - 5 TCAD による MOSFET シミュレーション (高木・竹中)

TCAD(Technology CAD)とは、半導体デバイスの製作(プロセス)とその特性をコンピュータ上での計算によって実施・評価出来るようにするツールである。実際製作するには莫大な資金を要する半導体デバイスの開発において、補助的な道具として広く用いられている。本修士実験では、業界でも標準的に使われているシノプシス(Synopsys)社の TCAD, Sentaurus を用いて MOSFET のプロセスとデバイスの評価に取り組んでもらう。具体的には、以下の項目を通じて、TCAD の使い方の習得からデバイスの物理の理解までを目標とする。

- TCAD の概要・使い方
- 標準的な Si MOSFET のプロセスとその特性の評価
- デバイススケールリングと単チャンネル効果のシミュレーション

その他、アドバンスな内容(新材料の導入・量子効果・デバイスの劣化要因など)

## 5 - 6 光ファイバブラッググレーティング (山下)

光ファイバのコアに紫外線を照射すると、光誘起屈折率変化(Photosensitivity)によりその屈折率が変化し、照射を止めた後も持続する。光ファイバブラッググレーティング(Fiber Bragg grating:FBG)は、光ファイバのコアに紫外光の干渉縞を形成して周期的な屈折率変化を書き込んだもので、回折格子(グレーティング)として、波長選択デバイスとしての機能をもたせることができる。グレーティングが光ファイバ中に非破壊的に直接形成できるため、低損失・小型・高信頼性・伝送用光ファイバとの整合性などの多くの利点をもっている。さらに、従来の光フィルタにはない優れた機能をもたせることもできるため、波長分割多重(WDM)光ファイバ通信や光ファイバセンサなどの分野を中心として急速に普及しつつある。本実験では、まずグレーティングの基礎理論であるモード結合理論を学び、FBG の特性のシミュレーションを行う。次に、実際の FBG を測定してシミュレーションと比較する。また FBG の種々の特性を測定するとともに、光ファイバレーザへの応用も行なう。

## 5 - 7 FPGA を用いた信号処理 (池田)

様々な電子機器の基本となる、ハードウェアを用いたデジタル信号処理の基礎を、ハードウェア設計記述および FPGA を用いた実装により会得する。

## 5 - 8 ナノ光デバイスとナノ光加工 (八井)

ナノ寸法に局在した光(近接場光)の誕生によって光技術は進展を遂げてきた。

本課題では、この近接場光の応用技術である、ナノ寸法光デバイス・ナノ寸法光加工などに関する



る国内最先端の研究者の講演の聴講なども行う。これらを通じて、光技術のパラダイムシフトである近接場光の新概念を把握することを目的とする。

【参考文献】

1. T. Yatsui, et al., Beilstein Journal of Nanotechnology, 4, pp.875–885 (2013)
2. Takashi Yatsui, “Nanophotonic Fabrication : Self-Assembly and Deposition Techniques (Nano-Optics and Nanophotonocs),” Springer, Berlin, April, 2012

## 5 - 9 非線形光学顕微鏡 (小関)

光を用いて生体のミクロな形態・機能を可視化するバイオイメージング技術が近年注目を集めている。なかでも、パルスレーザで誘起される非線形光学効果を用いた非線形光学顕微鏡は、生体分子の空間分布を非染色で 3 次元的に可視化できるという特長を持つ。ここでは、光パルスの発生技術、制御技術、検出技術、及びデータ解析技術など、電子工学にかかわる広範な技術が使われる。本実験では、様々なバイオイメージング手法について学んだのち、非線形光学顕微鏡の一種である誘導ラマン顕微鏡を用いてイメージング実験を行う。これらを通じて、生体イメージング及びそこで用いられる技術の理解を深める。

## 5 - 10 時間方向アナログ回路設計 (名倉)

プロセスの微細化が進み、トランジスタスピードは向上する一方で、電源電圧が低くなってきている。このような状況でアナログ信号を表現するためには、従来のように電圧方向でのアナログ電圧を用いるよりも、電圧は VDD/GND の 2 値であるが時間方向へのアナログ時間（パルス幅でアナログ量を表す）を用いたほうが安定したアナログ値を得られるようになってきた。本実験では、時間-デジタル変換回路，デジタル-時間変換回路，時間保持回路，時間増幅回路，等，時間方向のアナログ信号処理回路を設計し，SPICE シミュレータによって検証する実験を行う。

## 5 - 11 CMOS アナログ集積回路の設計 (高宮)

スマートフォンに代表される IT 向け電子機器、医療用電子機器、エネルギー変換機器などあらゆる分野において無線通信用や電圧変換用のアナログ回路の果たす重要性が高まっている。本実験では LSI（大規模集積回路）上に搭載する CMOS アナログ集積回路に着目し、増幅回路（アンプ）や発振回路などの設計を回路シミュレータ（SPICE）を用いて行うことにより、回路設計を体験すると共に CMOS アナログ集積回路への理解を深める。

## 5 - 12 CMOS 集積回路の物理設計 (飯塚)

CMOS 集積回路の設計においては、回路図の設計，シミュレーションによる動作確認を行った

後、回路を半導体基板上に実装するための物理設計（レイアウト設計）を行う。レイアウト面積はコストに直結するのみでなく、実際に製造される集積回路では基板上に実装されたレイアウトパターンに依存した抵抗・容量等の成分が寄生するため、特に微細なプロセス技術では同じ回路を実現する場合でもその性能はレイアウトパターンに強く依存する。そのため、面積効率が高く整った（美しい）レイアウトは高い性能を達成するために必須となる。本実験では、簡単な論理回路を例としてワークステーション上で実際に回路のレイアウト設計を行うことにより、物理設計の手順を体験するとともにその理解を深める。

## 6 - 1 LED ホタルの作製と非線形ダイナミクスの解析（合原・田中(剛)）

同期現象とは、自律振動している発振子同士の間相互作用がある場合、互いに振動をそろえる現象である。生物においても同期現象は重要な役割を果たすことが知られており、ホタルの集団発光は、その一例である。

本実験では、LED 素子を用いて電子ホタルを作製し、それらが光刺激を通して相互に影響するときの発光パターンを観察する。1つの電子ホタルは明滅を繰り返す発振子であり、この発振現象は、電流・電圧等が連続的な状態をもつ電子回路（アナログ部分系）と、スイッチ、コンパレータや論理回路（デジタル部分系）を組み合わせたハイブリッドダイナミカルシステムによって実現される。電子ホタルの回路方程式に対応する数理モデルを考察することで、非線形性を有するハイブリッドダイナミカルシステムについての理解を深める。また、多数の発振子の結合系に見られる同期現象や複雑な時空間ダイナミクスについて、数値計算を用いた解析法を学習する。

このような同期現象や非線形ダイナミクスは、世の中の様々な現象の数理モデルに現れる。本演習で学ぶ概念や解析手法は、多様な非線形システムに適用可能な普遍的な基礎知識となるものである。

## 6 - 2 論理関数充足性判定（SAT）手法を利用した VLSI 設計技術 （藤田(昌)）

近年、論理関数の充足可能性判定問題（与えられた論理式全体を 1 とするような変数の値の組合せが存在するか否か）を高速に解く SAT ソルバーと呼ばれるツールの性能が著しく向上している。SAT ソルバーはグラフ問題などの計算機科学の基本問題だけでなく、VLSI 設計の最適化や設計の正しさの検証などでも利用されている。そこで SAT 手法を利用した VLSI 設計の自動合成技術や検証技術の基本を理解するために、実際にパブリックドメインの SAT ソルバーを利用して、VLSI 自動設計プログラムを作成・評価してもらう。

## 6 - 3 VLSI 設計の自動合成技術（藤田(昌)）

従来から、ハードウェア設計は、ハードウェアの設計を記述するために考案されたハードウェア

記述言語（例として、VHDL、Verilogなど）を利用して設計されている。

しかし、ハードウェア設計経験の無い人が効率良く設計するには、ハードウェア設計専用言語を利用するのではなく、通常のプログラミング言語を修正したものを利用する方が、わかりやすく効率的であるといえる。そこで、本実験では、C言語を拡張してハードウェア設計を可能にした、Cベース設計記述言語からハードウェアを自動合成するツールを使って、実際にいくつかのハードウェア設計をしてもらう。設計結果は、プログラマブル素子を利用したハードウェア上に自動的にコンパイルされ、動作されることができると、設計したものの性能評価も行ってもらおう。

## 6 - 4 ナノスケールデバイスの物性評価（廣瀬(和)）

超高集積回路（VLSI）の構成要素である MOSFET の微細化が進み、ゲート酸化膜厚はナノスケールにまで達している。また従来の Si (100) 基板上だけでなく様々な基板面にゲート酸化膜を形成する 3 次元 MOSFET や、Si ナノワイヤートランジスタの研究が進んでいる。優れた特性を有する VLSI や新デバイスを実現するためには、トランジスタ動作の要であるゲート酸化膜構造（SiO<sub>2</sub>/Si 界面）をナノスケールで評価することが不可欠となっている。

本実験では、「X線光電子分光法」を習得して、微細化したゲート酸化膜構造（1nm-SiO<sub>2</sub>/Si）のさまざまな特性を評価することを目的とする。具体的には、X線を試料に照射した際に光電効果によって真空中に飛び出す光電子のエネルギーを測定する「X線光電子分光法」の原理を理解した後、当研究室の高感度・高分解能 X線光電子分光装置を利用して、Si 基板上に形成した極薄ゲート酸化膜の（1）膜厚の測定法、（2）酸化膜トラップ密度と界面準位密度の測定法、（3）放射線が MOSFET へ与える影響の予測法などを学ぶ。

## 6 - 5 放射線環境下の MOS トランジスタ動作の解析（廣瀬(和)）

現代のエレクトロニクスを支える最も重要な電子デバイスの一つである MOS トランジスタは、ナノメートルサイズにまで微細化が進み、地上においても宇宙から降り注ぐ放射線（中性子線）の影響を受けるようになっている。高い信頼性を確保した VLSI やナノデバイスを設計するためには、放射線の影響を定量的に明らかにしなくてはならない。

本実験では、3次元デバイス回路混在シミュレーションをすることで、MOS トランジスタ内部の挙動と回路動作を調べる。具体的には、理想的な MOS トランジスタで構成される回路（インバータやメモリーなど）の動作をシミュレーションで可視化した上で、放射線が当たった際の MOS トランジスタの過渡的挙動が引き起こす回路誤動作のメカニズムを理解する。さらに得られた理解に基づき、放射線の影響を抑制するための MOS トランジスタ上ならびに回路上の対策を考察する。

## 6-6 微細 MOS トランジスタの物理 (平本・小林 (正))

半導体大規模集積回路 (VLSI) を構成する MOS トランジスタは年々微細化しており、現在ではゲート長約 30nm 以下のトランジスタが量産されている。デバイスサイズの縮小は、高性能化、低消費電力化および高集積化のために必須であるが、ゲート長が短くなると、さまざまな「短チャネル効果」が発現するとともに、「特性ばらつき」の問題が生じる。本実験では、微細 MOS トランジスタを実際に測定することにより、短チャネル効果と特性ばらつきの物理的要因を明らかにするとともに、その対策法について理解することを目的とする。

## 6-7 ニューラルネットワークと複雑性 (廣瀬(明))

人間の脳が得意とする認識、総合判断、一般化などの情報処理能力の面において、従来の (フォン・ノイマン型の) 計算方法論および計算機構が将来的に果たす基盤は、かなり脆弱であると考えられている。人間の脳が持つ柔軟な情報処理を可能にする脳型計算原理の解明・開発およびそれに基づいた脳型計算機の実現は、情報社会の一層の飛躍的發展に貢献すると期待されている。

一方、これに関連して萌芽的な基礎研究が進められてきた研究分野 (すなわち脳内情報表現原理、並列分散型情報処理の数理と機構、環境との能動的相互作用、複雑情報系などを中心とした分野) で、近年、基礎的研究の急速な進展が見られる。これを受けて、どちらかというとな生理学的な立場よりもむしろ工学的な立場を強調して、本格的な脳型計算機に関する研究を始めようとする気運が見られるようになってきた。

ニューラルネットワーク (神経回路網) は、そのような将来の脳型計算機の基礎をなすものになるであろうと期待されている。本実験では、特にニューラルネットワークがその動的な振る舞いの中で見せる「複雑性」に関する実験を行い、従来型計算機との差異を体験するとともに、情報処理システムの将来像について討論を行う。

具体的には、まず、通常の計算機の上に簡単なニューラルネットワーク (複素連想記憶装置) を (ソフトウェア的に) 構成する。これを動作させ、パターンの学習および想起を実際に行ってみる。つぎに、その想起の過程でのニューラルネットワークの動的振る舞いを観測し、その「複雑度」をいくつかの指標を用いて追跡する。その評価値の変化とニューラルネットワークの動作との関連付けを行い、在り得る連想記憶のダイナミクスについて検討する。そして、柔軟な脳型の情報処理システムの将来像について討論を行う。

## 6-8 ニューラルネットワークと高機能化デバイス (廣瀬(明))

通信技術および情報処理技術の進歩は、我々の生活に大きな変革をもたらした。これらは、最近の電子デバイスの高速化、高集積化などに因るところが大きい。しかし、広い意味で電子デバイス高機能化を考えた場合、さらに多様な発展的研究の進展が期待される。

それらの研究の中には、光配線を用いる可塑性の有る並列情報処理方式や、ニューラルネットワ

ークなどに見られる自己組織化に関するものなどがある。これらの新しい多面的な研究活動の活発化は、近年の学会や国際会議の新設および編成替えなどにもあらわれている。

本演習では、このような電子および光デバイスの新しい機能の開拓や、その機能の実現および性能向上に関する研究の動向調査を行う。最新の論文誌や国際会議のプロシーディングの中から数編の論文を輪講することにより、現状と問題点を把握し、将来性に関する検討を行う。

## 6 - 9 神経模倣回路の設計と特性解析 (河野)

神経系の構成部品である神経細胞やシナプスと同等の特性を持つ電子回路を設計し、その特性解析を行う。SPICE 回路シミュレータを用いたアナログ回路設計とその解析手法に親しむと共に、非線形動力学を利用した回路設計法を体験することを目的とする。参加者が希望する場合には、設計した回路をディスクリート部品を用いて製作し、回路実験を行うこともできる。

## 6 - 10 コンピュータによるデータ入出力の基礎 (三田)

コンピュータやマイクロプロセッサと、専用ハードウェアの間のデータ転送は、エレクトロニクスやメカトロニクス等の幅広い分野で必須であり、速度や用途に応じて、さまざまなインターフェースが実装されている。本実験では、データ入出力のためのさまざまなアーキテクチャについて学習し、そのうちいくつかについて、ハードウェアによって実際に入出力実験を行ない、利害得失を評価する。

## 6 - 11 三次元立体画像処理の基礎 (三田)

ロボットや自動車に撮像素子を組みこんで、外界の様子を捉えコンピュータ内で再構成する技術が、自律移動や危険検出などへの応用として注目されている。三次元である外界を二次元の撮像素子に投影するため、再構成のためにはいわゆる「逆問題」が生ずることになるが、ステレオ視や時間領域の複数画像によってこれらの逆問題を解くことができる。本実験では二次元のステレオ画像から三次元空間を再構成する問題を実際のプログラミングを行ないながら理解する。

## 6 - 12 生体データ解析・モデリングの基礎 (小林 (徹))

近年、蛍光タンパク質技術や顕微鏡技術などの様々な測定システムの発展により、これまで見ることのできなかったミクロな細胞世界のダイナミックな振る舞いを計測できるようになってきている。そして計測から得られる情報を縮約し活用するための生体画像・データ解析やモデリングの分野が様々な生命科学の基礎・応用の分野で重要な技術となっている。

本演習では、生体データからのダイナミックな動態情報の抽出や、生体现象の数値モデリングの基礎を学ぶ。具体的には画像データの解析法や動態データの統計解析、もしくは細胞内反応などのシミュレーション手法などのトピックを扱う。Mathematica や Matlab などを利用するのでプログラミングの基礎について身につけていることが望ましい。

## 7 - 1 青色発光デバイスと窒化ガリウム半導体の光物性（荒川・岩本）

よく知られているとおり、窒化ガリウム半導体は短波長の発光デバイスを実現する材料としてその重要性が益々増加している。既に青色LEDはフルカラーディスプレイや信号機など、青色レーザーはDVDなど高密度記録用光源としてその応用が展開されている。今後、青色量子ドットレーザー、青色面発光レーザーなどが世の中に出現するものと期待される。本実験では、窒化ガリウム半導体の結晶成長から光学評価までひとつお体験することにより、この材料系の現状を理解するとともに、青色発光デバイスの課題などを検討することを目的とする。具体的には有機金属気相成長装置を用いて、青色レーザーの活性層を構成する窒化インジウムガリウムを結晶成長し、フォトルミネッセンス法によって光学的な評価を行う。あわせて面発光レーザー構造の理解も深める。

## 7 - 2 フォトニック結晶の作製とその光学評価（荒川・岩本）

フォトニック結晶とは屈折率の周期構造をもつ人工構造である。この周期構造のためフォトニック結晶中の光には、固体中の電子と同様に存在が許されない波長帯（フォトニックバンドギャップ）が存在する。この周期構造の一部を意図的に乱すことで、非常に急峻な曲げが可能な光導波路や、波長程度の領域に光を閉じ込める微小共振器を実現することができる。これらを利用した微小光回路や超小型高効率レーザーや単一光子光源などの発光デバイスは現在の情報通信技術に革新をもたらすと期待されている。この実験では、フォトニック結晶の作製から基礎的 optical 評価まで行うことにより、最先端のナノ構造作製技術を体験するとともにフォトニック結晶の基礎を理解することを目的とする。具体的には量子ドットを発光体として有するフォトニック結晶ナノ共振器を作製し、顕微フォトルミネッセンス法によりフォトニック結晶ナノ共振器特性の光学的評価を行う。

## 7 - 3 サブミリ波領域における半導体中の電気伝導特性（平川）

半導体中の電気伝導特性の評価法として、直流の電気抵抗率測定、ホール効果測定等は極めて一般的であり、キャリア密度、移動度などを容易に決定することができるが、得られる情報には限りがある。

一方、半導体中で重要となる周波数スケール（散乱頻度など）、エネルギースケール（フェルミ

エネルギー、不純物準位など）は、ほとんどサブミリ波（遠赤外光、テラヘルツ）領域に入っており、半導体のサブミリ波領域における電気伝導特性を調べることにより、キャリアの散乱確率など、さらに多くのより基本的な物理量に関する情報を得ることができる。

本実験では、半導体試料のサブミリ波透過・反射スペクトルをフーリエ分光法を用いて測定することにより、以下の点について検討を行う。

- (1) フーリエ分光法の原理を理解する。
- (2) 直流ホール測定により、半導体試料中のキャリア密度、移動度を決定する。
- (3) 半導体試料のサブミリ波透過・反射特性を測定し、古典的ドルーデ伝導理論と比較検討を行い、散乱の緩和時間、キャリア密度を決定する。また、直流測定の結果との比較検討を行う。

## 7 - 4 磁性薄膜および磁性体/半導体ハイブリッド構造の物性 (田中(雅)・大矢・中根)

磁性体は共に世の中で広く使われている重要な物質である。永久磁石として発電機やモータなどのエネルギー機器には必須の材料であるだけでなく、ハードディスクやフロッピーディスクなど安価で大量の情報を蓄えるための磁気記録デバイスや、クレジットカード、VTR、電車の切符に至るまで、我々の周囲ではきわめて日常的に磁性体が使われている。最近では、金属多層膜・人工格子における巨大磁気抵抗効果やスピントロニクス効果など、スピンの強く依存する電子伝導現象が発見され固体物理学上の主要なトピックとなったばかりでなく、これらの現象はMRヘッドなどに応用され磁気記録密度の飛躍的向上の原動力となりつつある。また、最近の材料形成技術の急速な進歩と相まって、磁性やスピンの依存する物性機能と半導体エレクトロニクスとを結びつけた「スピントロニクス(Spintronics)」という新分野も開拓され始めている。このような分野の基礎的理解を深めるために、以下の演習・実験を行う。

- ・スピントロニクスの基礎と演習
- ・巨大磁気抵抗効果やスピントロニクスに関する論文・文献など購読
- ・磁性薄膜および磁性体/半導体融合構造の磁気輸送特性の測定と解析
- ・磁性薄膜および磁性体/半導体融合構造の磁気光学特性の測定と解析
- ・その他、必要に応じて理論解析、論文輪講、実験など。

## 7 - 5 高効率次世代型太陽電池の特性評価とシステム技術 (岡田)

二酸化炭素排出削減やエネルギー問題に対する解決策として、太陽光発電は益々重要な技術となっているが、従来型の単接合Si太陽電池では、30%以上のエネルギー変換効率は原理的に得られない。そこで新しい半導体材料や量子ナノ構造を導入して、太陽電池の変換効率を高めるための研究が世界で活発化している。本実験の具体的テーマとして、(1) 多接合タンデム太陽電池の高効率化に必要な新材料の材料物性及び太陽電池特性の評価、(2) 自己組織化成長法を用いて作製した量子ドット超格子型太陽電池の特性評価に関する実験、さらに(3) 太陽光発電システムの低コスト

化に向けた検討を行う。

## 7-6 レーザー分子線エピタキシー法による機能性酸化物薄膜形成 および物性測定 (田畑・松井)

酸化物エレクトロニクス研究の一環として、紫外光短パルスレーザーを用いて、機能性セラミックス材料の薄膜形成を実施する。対象材料としては、磁性体、強誘電体（スピネル系フェライト、ガーネット系フェライトあるいはペロブスカイト酸化物）を用いる。作製した試料の、ナノスケールでの構造と物性との関係を理解するため、原子間力顕微鏡による表面ナノ構造計測、インピーダンス計測および磁気円二色性やフォトルミネッセンス測定を行い電氣的、光学的特性を評価する。

## 7-7 有機薄膜トランジスタの作製と評価 (染谷)

現代生活の利便性を薄膜トランジスタ（Thin-Film Transistor:TFT）技術なしに語ることは出来ない。現代のテクノロジーを支える TFT のほとんどは、シリコンなど無機半導体材料が利用されている。一方、近年、有機半導体を伝導層に用いた有機 TFT は、速度性能の面では無機で作られたデバイスに及ばないが、作製が簡単なこと、軽量性・低コスト性・大面積性・可撓性（フレキシビリティ）など、従来の無機デバイスにはない新しい概念を有しているという点において、物理的側面だけでなく実用的な側面においても注目されている。

本課題では、真空蒸着装置や印刷技術を用いて、有機 TFT を作製する。作製プロセスと構造が簡単であることから、作製手法、構造、電極・半導体・絶縁材料の構造を工夫することで、高性能な有機 TFT の作製を目指す。トランジスタの作製、電氣的特性の測定・解析を通して、トランジスタの構造、評価方法、高性能化手法、半導体中での伝導機構に関する知識を身につける。

## 7-8 走査プローブ顕微鏡による半導体微細構造の評価 (高橋)

先端の非常にとがった探針と試料の間に流れるトンネル電流を利用した走査トンネル顕微鏡（STM）や、探針－試料間に働く引力／斥力を利用した原子間力顕微鏡(AFM)等の走査プローブ顕微鏡（SPM）は、従来の顕微鏡のように特殊な光源や電子線源、レンズ等を必要とせず、大気中／真空中など動作環境に自由度がある上、横方向・縦方向の空間分解能がいずれも nm オーダに達するという最大の特長を持っている。また、SPM では、被測定試料の表面形状を観察するだけでなく、他の電氣的あるいは光学的手法と組み合わせることにより局所的な物性を評価することも可能となる。

本課題では、まず、SPM の動作原理について文献を通じて学んだ後、実際に SPM を用いて半導体極微細構造等に対する計測実験を行う。その際、通常の SPM 手法による表面形状観察だけではなく、本研究室で独自に開発された計測手法等を利用した局所的な物性評価も行う。



## 7 - 9 有機金属気相成長による化合物半導体量子井戸構造の作製 と微細加工 (杉山)

発光ダイオード、レーザ、光スイッチなどの半導体光デバイスには、Al, Ga, In, N, P, Asから成る組成の異なる化合物半導体混晶を、厚さ数 nm ずつ積層した量子井戸構造が用いられる。また、量子井戸層の格子定数を故意に基板と違えた「歪量子井戸」によって、デバイスの特性向上が図られる。

本実験では、有機金属気相エピタキシャル成長 (MOVPE) を用いて量子井戸構造を作製し、その歪み量と組成を X 線回折およびフォトルミネッセンスを用いて評価する。これにより、MOVPE の基礎と化合物半導体、とくに量子井戸構造の物性を学ぶ。

さらに、作製した量子井戸構造をドライエッチング等の微細加工技術を用いて加工し、半導体光アンプやレーザ等の基礎的な光デバイスを作製し、その評価を行うことも視野に入れる。

## 7 - 10 半導体ナノ構造における熱伝導特性 (野村)

フォノンの平均自由行程と同程度のサイズの半導体ナノ構造中では、バルク中とは大きく異なるフォノン伝導特性が観測される。半導体中では、フォノンが主な熱キャリアであるため、ナノ構造におけるフォノン伝導特性は物理的に興味深いとともに、その伝導制御は熱電発電分野などへの応用展開が可能である。

本実験では、ナノ構造にみられる特徴的な熱伝導特性と、フォノンニック結晶ナノ構造による熱伝導制御について理解したあと、薄膜構造の熱拡散率測定に用いられる時間領域サーモリフレクタンス法について学習し、実際に様々なシリコンナノ構造の熱拡散率を測定する。シミュレーションと比較することで測定対象とするナノ構造の熱伝導率を計算し、バルク材料のそれと比較することでナノ構造化が熱伝導率に与える影響を評価する。これらの知見をもとに、熱電変換デバイスとして適切なナノ構造について考察と議論を行う。