

## 博士論文一覧

### 【課程博士一覧】

西野 克志	Crystal Growth of 3C-SiC on Lattice-Matched SiC Substrates and Its Photoluminescence (格子整合したSiC基板上への3C-SiCの結晶成長およびそのフォトルミネセンス)	平成9年11月25日
増田 開	Development of Numerical Simulation Codes and Application to Klystron Efficiency Enhancement (数値解析コードの開発及びその適用によるクライストロン高効率化の研究)	平成10年3月23日
Jiri Stetina	Corpus Based Natural Language Ambiguity Resolution (コーパスに基づく自然言語の曖昧性解消)	平成10年3月23日
森 信介	テキストコーパスからの確率的言語モデルの推定	平成10年3月23日
森江 隆史	アナログLSIの設計方法の保存と再利用に関する研究	平成10年3月23日
岩下 武史	Study on Stabilization of Large-Scale Coal-Fired Linear MHD Generators (大型石炭燃焼直線型 MHD 発電機の安定化に関する研究)	平成10年3月23日
浅野 卓	量子井戸のサブバンド間遷移の短波長化と超高速光制御光変調に関する研究	平成10年3月23日
●田 崇	プラズマ励起有機金属気相エピタキシーによるGaInN/GaNの成長とその特性に関する研究	平成10年3月23日
高 賢哲	Fabrication and Optical Properties of Low-Dimensional Quantum Structures in ZnCdSe Semiconductor System (ZnCdSe系半導体低次元構造の作製と光物性に関する研究)	平成10年5月25日
西田 貴司	rfマグネトロンスパッタ法によるLiNbO <sub>3</sub> 薄膜の作製とその弾性表面波特性に関する研究	平成10年5月25日

西野克志

「Crystal Growth of 3C-SiC on Lattice-Matched SiC Substrates and Its Photoluminescence」

(格子整合したSiC基板上への3C-SiCの結晶成長およびそのフォトルミネセンス)

平成9年11月25日授与

情報化社会の基盤は、Siを中心とした半導体技術である。Siは多くの優れた性質を持ち、集積回路を初め様々な分野で使用されているが、Siの物性から来る性能の限界が存在し、新たな半導体材料が求められている。特に、Siのパワー電子素子の性能は限界に近付き、新しい材料に強い期待がもたれている。その候補としてSiCが注目されている。

SiCには、その結晶構造に1次元方向の原子の積み重なり方が異なるポリタイプ(結晶多形)が多数存在する。唯一の立方晶である3C-SiCは、大きな電子移動度を持つ材料として注目されてきたが、高品質の大型単結晶が作製できない。3C-SiCの大型単結晶を得るために異種基板を活用せざるを得ないが、大きな問題が存在する。3C-SiCは主にSi基板上に作製されているが、Siと3C-SiCには格子不整合が約20%、熱膨張率の差が約8%存在するため、得られた結晶中には多数の欠陥が存在し、高品質化は困難であると考えられている。6H-SiC基板上では、成長層には双晶の一種であるdouble positioning(DP)が存在し、成長層表面に多数のDP boundary(DPB)が見られるという新たな問題が生じる。

著者は、これらの難点を克服して高品質の3C-SiC単結晶を作製するために、15R-SiCポリタイプを基板に用いるとDPBの少ない3C-SiCが得られるとの予測の基に、常圧熱CVD(chemical vapor deposition: 化学気相堆積)法による結晶成長を行った。原料ガスは $\text{SiH}_4$ 、 $\text{C}_3\text{H}_8$ で、キャリアガスには $\text{H}_2$ を用いた。典型的な成長温度は $1500^\circ\text{C}$ である。図に成長した結晶表面の写真を示す。モザイク状パターンがDPBであり15R-SiC基板上成長層では6H-SiC基板上成長層より極端に少なくなっていることが分かる。また、成長に伴ってDPBが減少していく。この結果を基に提案したDPB減少モデルを用いると、成長に伴う個々のDPB面積の減少を半定量的に説明できた。電気的、光学的評価の結果、15R-SiC基板上の3C-SiCはSi基板上の成長層より高品質であることが判明した。

3C-SiCの結晶成長において基板として最適なものは3C-SiCである。そこで、成長速度の大きな昇華法により、基板として使用可能な3C-SiCの大型結晶成長を試みた。3C-SiCは低温で安定であり、 $2000^\circ\text{C}$ 程度の高温を要する昇華法で3C-SiCが得られたという報告は極めて少ない。3C-SiCを得るためにはより低温で成長する必要があるが、あまり温度が低すぎると原料SiCが昇華しない。そこで長いつばを使用することにより、原料温度を $2100^\circ\text{C}$ 程度に保ったままで、種結晶温度を $1800^\circ\text{C}$ 以下に低く抑え成長した結果、DPBは存在するものの、平坦な表面を持つ3C-SiCが得られた。DPBの存在しない領域は、最大で15R-SiC基板上に成長した3C-SiCの2倍程度であった。次に、昇華法で作製した3C-SiC基板上にCVD法による3C-SiCの結晶成長(ホモエピタキシャル成長)を行った。電気的、光学的評価を行ったところ、成長層は15R-SiC基板上に成長した3C-SiCと同様、Si基板上成長層より高品質であった。

15R-SiC基板上の3C-SiCとホモエピタキシャル成長の3C-SiCの、詳細なフォトルミネセンス特性を解析した結果、成長層が非常に高品質であることが確認できた。

これらの成果は今後の3C-SiCの物性研究ならびに応用研究への大きな足掛かりになる。

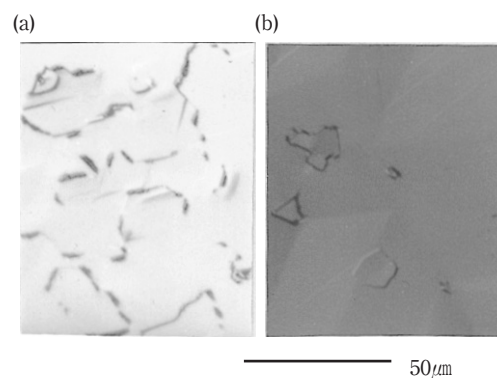


図 (a) 6H-SiC基板上(b)15R-SiC基板上成長3C-SiC

## 増 田 開

## 「Development of Numerical Simulation Codes and Application to Klystron Efficiency Enhancement」

(数値解析コードの開発及びその適用によるクライストロン高効率化の研究)

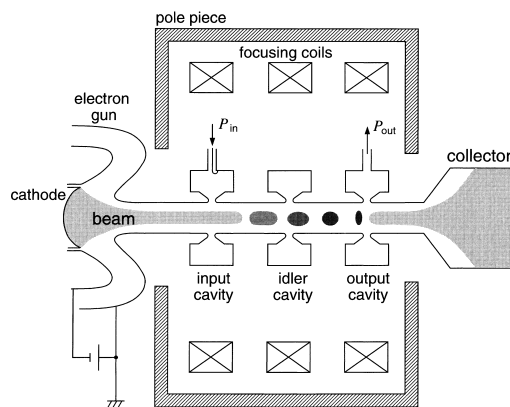
平成10年3月23日授与

クライストロンは、1939年に発表された電子ビームの速度変調を用いたマイクロ波増幅管で、最も一般的などころではTV放送などに用いられています。クライストロンは左下図のように、電子銃、複数の共振空洞、並びに使用済みの電子ビームを処理するコレクターで構成されており、電子銃で生成された直流ビームは、先ず入力空洞で速度変調を受け、ドリフトチューブと呼ばれる領域を走行する間に集群し、最終段の出力空洞にマイクロ波を励起します。MW級の大出力のクライストロンは、これまで粒子加速器研究やプラズマ加熱研究などの学術研究や軍事研究といった経済性においてあまり制約されない分野で主として用いられてきました。また、ジャイロトロンなどの他のマイクロ波管と比べて原理的に高効率（60%程度）であるため、その高効率化はさほど重要視されてきませんでした。しかし近い将来においては、自由電子レーザーや放射性廃棄物の消滅処理などにおいて粒子加速器の大規模な工業利用が進むと予想され、したがって、それらの高周波電源としての大出力クライストロンの高効率化は、それら工業利用の成立性に密接に関わっており、必要不可欠となっています。

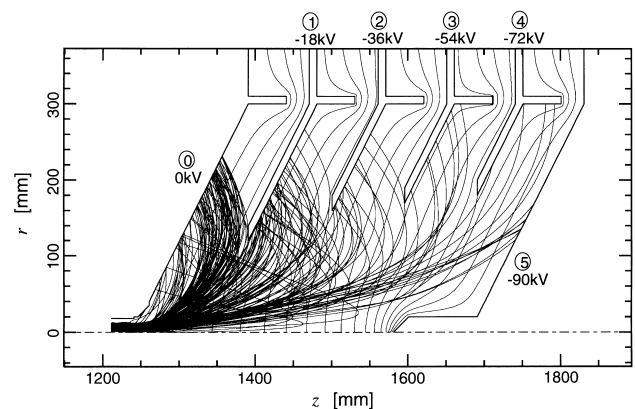
そこで私は、クライストロンの解析に必要な軸対称二次元の磁場計算コード・共振空洞固有モード計算コード・時間依存の粒子シミュレーションコードなどを開発して実機測定結果との比較によって検証し、それらを用いて以下の二つの方法によるクライストロン高効率化の可能性を検討しました。

第一に、電子銃における加速エネルギーの40%程度のエネルギーを有する使用済み電子の、直接エネルギー変換による回収が考えられます。すなわち、従来水冷コレクタで熱として廃棄されてきた使用済み電子の運動エネルギーを、逆電界を印加することにより回収するという方法です。このエネルギー回収型コレクタを、ドリフトチューブへの戻り電子の無いように、また二次電子損失の少ないように設計し（右下図参照）、回収効率38%、総合効率70%以上が得られることが分かりました。

高効率化のもう一つの方法として、従来の電子銃に代えて中空ビームを生成するホローカソードを用いる方式が考えられます。一般にクライストロン共振空洞の電界強度は、ビームの中心から離れるほど強くなる分布となっており、中心付近のビームは空洞電界と効果的な相互作用を行えません。そこで、中空ビームを用いれば全てのビームをより効果的に相互作用させることができ、同じ入力電力でより大きい高周波出力を得ることができる可能性があります。シミュレーションの結果、ある最適なホロー半径のビームを用いた場合に、効率は従来の60%から67%にまで改善されることが分かりました。



クライストロンの断面模式図



エネルギー回収型コレクタ内の電子軌道

**Jiri Stetina**

**「Corpus Based Natural Language Ambiguity Resolution」**

(コーパスに基づく自然言語の曖昧性解消)

平成10年3月23日授与

The automation of the processing of natural language would inevitably bring enormous benefit to mankind. Devices capable of interpreting human commands to machines, intelligent dialogue systems, natural language interfaces to databases, text analysis systems, knowledge extraction systems, machine translation and many others constitute the ultimate goals of the current research in Natural Language Processing (NLP).

The fundamental problem that must be solved before a successful NLP system is put to work, is the clarification and accomplishment of language understanding. Natural language understanding, however, involves the resolution of many linguistic phenomena, particularly natural language ambiguities, which in turn requires the application of a wide range of knowledge. Acquisition of this knowledge constitutes the main difficulty of all NLP systems. Recent research in NLP has focused on the extraction of the relevant knowledge from a large training corpora. Corpus-based statistical NLP, however, usually suffers from a sparse data problem and from an insufficient or inadequate use of linguistic knowledge.

This work presents a framework in which a large semantic dictionary facilitates the statistical processing of language through the application of machine learning techniques, reduces the sparse data problem, and provides additional linguistic knowledge in the form of paradigmatic semantic relations.

A resolution of both the structural and semantic natural language ambiguities is attempted and experimental results are compared with other major approaches.

Prepositional phrase attachment is selected as the most frequent and the most difficult representative of structural ambiguity and a new supervised learning method for prepositional phrase attachment is presented. The utilization of the large semantic dictionary leads to an accuracy which is higher than the accuracy of any existing method and which is very close to human performance for the same task – over 88% correct prepositional phrase attachments.

This work also presents a new general supervised word sense disambiguation method based on a relatively small syntactically parsed and semantically tagged training corpus. The described method, hierarchical disambiguation, exploits a full sentential context and all the explicit semantic relations in a sentence to identify the senses of all of that sentence's content words. The utilization of the semantic dictionary and combination of the syntactic and semantic information leads to an overall accuracy of 80.3%, which exceeds the accuracy of a statistical sense-frequency based semantic tagging, the only really applicable general disambiguating technique.

All methods and algorithms described in this work are experimentally verified and the results are presented in comparison with other approaches.

森 信 介

「テキストコーパスからの確率的言語モデルの推定」

平成10年3月23日授与

自然言語を研究対象とする言語学は、伝統的に研究者の内省に基づく定性的かつ主観的な議論に終始する傾向があり、近代科学の条件を満たしていなかった。これは、言語現象が複雑であるだけでなく、言語がそれ自身のみでは本質的に普遍的でないことに起因する。このような背景のもと1948年にシャノンは情報理論を確立し、この理論に基づいて自然言語を確率的現象としてとらえる極めて数理的な立場を提案した。つまり、自然言語をある情報源からの記号列とみなし、言語に対する仮説をその情報源に対する予測力という基準で評価するという方法である。このため、言語に対する仮説は必然的にその言語のアルファベット列を定義域とする確率分布として表現される。このような仮説は、確率的言語モデルと呼ばれる。

この枠組では、言語に対する仮説はアルファベット列から確率値への写像として表現されることだけが条件である。最初のモデルは、シャノンによる連続する $n$ 文字( $n$ -gram)の頻度を利用するモデルである。具体的には、ある自然言語に属する文を大量に集めたコーパス中に、その言語を記述するために用いられる文字がどのように出現するかを観測し、その結果に基づいてモデルのパラメーターを決定する。このとき、注目する文字列の長さ  $n$  が大きくなる程よい近似となることが示せる。

一方、1956年にチョムスキーは、自然言語の記述を目的として、3つの形式的な言語モデルを提案した。これらは、シャノンの立場とは異なり、自然言語を集合としてとらえている。この立場でのある言語の記述は、その言語のアルファベット列を要素とする集合を、その言語に属するアルファベット列(文)と属さないアルファベット列(非文)とに峻別する。これは、言語のアルファベット列を定義域とし、真偽を値域とする関数とみなすこともできる。このようなモデルは現在、形式言語理論として知られている。これらには、シャノンの確率的言語モデルでは捕らえられなかった離れた要素の関係を記述することができる文脈自由文法や文脈依存文法などが含まれる。さらに、このようなモデルに確率の概念を導入するという拡張が提案されている。

本論文では、自然言語を確率的現象としてとらえる立場を踏襲し、様々な確率的言語モデルの予測力の評価と自然言語処理への応用について述べる。確率的言語モデルとしては、確率正規文法( $n$ -gramモデル)と確率文脈自由文法を用いる。文字や形態素や文節を予測単位として、これらの文法を用いた日本語の確率的言語モデルを推定する。さらに、予測単位をクラスと呼ばれるグループに分類し、予測力を向上する方法を提案する。これにより、確率的言語モデルの応用としての自然言語の認識や解析の精度が向上する。応用例として、形態素解析と構文解析について述べる。

森 江 隆 史

## 「アナログLSIの設計方法の保存と再利用に関する研究」

平成10年3月23日授与

集積回路技術の目覚ましい進歩により、IC(Integrated Circuit)の集積度は10年で100倍と言う驚異的な勢いで増大しており、今やシステム全体を一つのシリコンチップに搭載したSLSI(System LSI)も実現可能となってきた。

MD, DVD, 携帯電話, デジタルカメラ, ムービーなど、市場にでまわっている多くの機器は、デジタル回路とアナログ回路の双方から構成されている。これらの製品では信号処理のデジタル化がすすめられているが、無線信号や光ファイバ中の信号、ディスク上の信号などは、すべてアナログ信号であり、これを扱えるアナログ回路なくしては、これらの製品を実現することはできない。システムを1チップ化するためには、デジタル、アナログ双方の回路を効率的にLSI化することが不可欠である。デジタルLSIの設計の分野では、CAD (Computer Aided Design)および自動設計環境が整備されており、効率的な回路設計が可能になっている。これに対し、アナログLSIの設計のCAD技術はまだまだ未熟で、現在でも熟練設計者が専門知識や設計ノウハウに基づいて人手で設計を行っている。この結果、システム全体でアナログ回路が占める割合は低いにもかかわらず、設計コストや設計期間の多くがアナログ回路設計に費やされるという問題を引き起こしている。

本研究では、設計方法の保存・再利用化という新しい効率的なアナログLSIの再利用設計手法を提案した。従来の再利用設計は、図1(a)に示すように、熟練設計者が設計した回路を保存し、そのライブラリ化を図る。しかし、仕様が変われば同じ回路は当然使用できないため、再利用率が上がらず、結局人手による修正や再設計が必要となる。

これに対し、提案手法では、図1(b)に示すように、熟練設計者がいかに回路を設計したのかという設計方法を再利用する。一度回路を人手で設計し、その設計方法が獲得できれば、異なる仕様が与えられた場合や、新たな製造プロセスが開発された場合にも、設計方法を再利用することによって回路を迅速に自動設計することができる。

本研究では、アナログLSIの回路設計と素子レイアウト設計に対し、本設計手法の実現方法を考案し、実際にCADを試作して(図2)その有効性を確かめた。

オペアンプ規模のアナログLSIの設計実験により従来の人手設計と設計時間を比較した。その結果、設計時間を数時間から数十分に大幅に削減できることを確認した。提案手法では、設計者の設計過程より、できるだけ効率良く設計情報を保存するために、不確定な設計方法の表現を導入したり、その情報に基づいて、解探索を行い、効率良く設計をする手法などを導入することで、再利用率を高めている。

今後の課題は、より大規模な回路への手法の適用や、再利用率の更なる向上である。

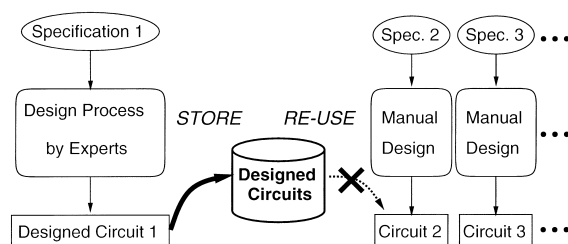


図1 従来設計手法と提案設計手法

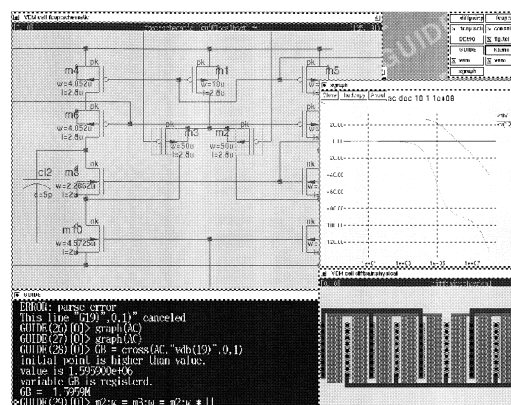


図2 試作CAD GUIDEの使用例

岩 下 武 史

## 「Study on Stabilization of Large-Scale Coal-Fired Linear MHD Generators」

(大型石炭燃焼直線型 MHD 発電機の安定化に関する研究)

平成10年3月23日授与

オープンサイクルのMHD発電機は、図1のように、導電性を持った高温の燃焼ガスを磁界内で高速に流すことにより発電を行う直接発電の一つで、従来のタービン発電機の前段に取り付けることによりシステムの総合熱効率を上げることができます。MHD発電システムは、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ の除去が容易であり、石炭を直接燃焼して50～60%の高い効率を得られることから、今後エネルギー供給源として期待される石炭を高効率低公害に利用する手段として注目されています。アメリカ、ロシアではすでに熱入力50～250MWのパイロットプラント級の発電実験に成功しており、この間に発電機の大型化を阻害するなんら重要な現象は発見されていません。従って、オープンサイクルMHD発電技術は熱入力1000MW以上の商用規模級の実験を行う段階にあるといえます。そこで、我々の研究グループでは、商用規模MHD発電機に関して、MHD-汽力複合システムの概念設計や発電機内プラズマの解析的研究を行ってきました。その過程において、大型の石炭燃焼MHD発電機の動作が不安定となる可能性が新たに発見されました。ここでの不安定とは、発電機に若干の外乱が入った場合に、衝撃波を発生するなどして流体の諸量が設計点を大きく逸脱することをいいます(図2参照)。そこで、本論文では、直線形のMHD発電機(図1のような筒状のもの)を対象とし、発電機を安定化させる方策について検討を行いました。

MHD発電機は、超音速流体を用いる超音速機と亜音速流体を用いる亜音速機に大別されます。

超音速機を対象とした解析では、負荷電流中や流れの中の擾乱の成長について検討を行い、負荷電流や電極電流に対して適当な制御を行うことにより発電機を安定化できることを示しました。

一方、亜音速機を対象とした解析では、まずチャンネル内に生ずる波動の局所的な成長率を調べ、従来提案されてきた音速に近い流速を持つ高亜音速型の発電機が不安定となり易い事を示しました。次に、本論文では新たに、チャンネル内で比較的低いマッハ数を持つ発電機を提案しました。そして、この発電機が、高亜音速型の発電機と同等の出力を有すること、ディフューザの性能の観点から有利であること、電極電流に特別な制御をすることなく安定な動作を行うことを示しました(図3参照)。本論文ではさらに、この亜音速MHD発電機を他励式インバータを介して電力系統に接続した場合について、発電機の安定性、動作特性について調べました。その結果、MHD発電機がインバータを介して安定に定格出力を系統に供給できることを示しました。また、系統に地絡故障などの事故が起きた場合でも、インバータの点弧角を制御することにより、発電システムを定格状態に戻すことができることを示しました。

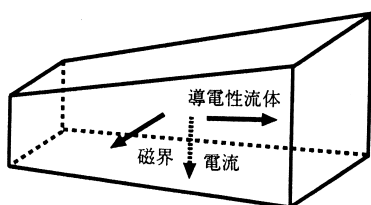
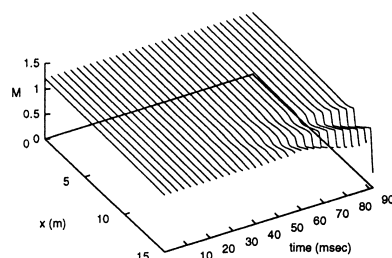
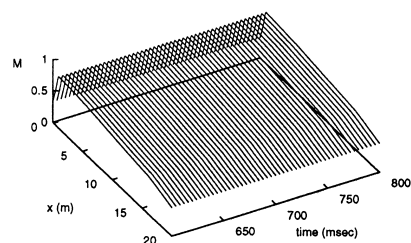


図1 MHD 発電機

図2 不安定な流れ  
マッハ数分布図3 安定な流れ  
マッハ数分布

浅野 卓

「量子井戸のサブバンド間遷移の短波長化と超高速光制御光変調に関する研究」  
平成10年3月23日授与

今後の社会においては、産業基盤・社会基盤としての情報通信網の役割がますます大きくなり、近い将来1~10テラビット/秒レベルの信号伝送・信号処理技術の確立が必要となると考えられる。しかしながら、現在利用されている半導体レーザ光を外部電気変調器で制御するシステムでは、数10ギガビット/秒程度の通信速度が限界と言われており、テラビット/秒以上の通信速度を得るには、電気的回路を用いない超高速の光制御技術が要求される。そのような方法の一つとして、光(制御光)によって物質の電子状態を変化させることで、他の光(信号光)に対する吸収あるいは屈折率を変化させる、すなわち光によって直接光を制御する方式が考えられる。この場合、外部的な電気回路を用いないため、物質の特性をそのまま活用できる。よって、応答速度が十分に早い電子状態を用いれば、超高速の光制御が実現できると考えられる。

このような背景のもと、私はテラビット/秒レベルの光情報通信網実現の一助となるべく、サブバンド間遷移を利用したピコ秒(~サブピコ秒)程度の超高速光制御光変調デバイス(図1)の実現を目標に研究を行ってきた。半導体量子井戸中に電子の量子化エネルギー状態(サブバンド)が複数存在する場合、光吸収を伴うサブバンド間の電子遷移が可能になる。このサブバンド間遷移は、励起された電子がフォノン散乱過程を通して初期状態に緩和できるため、ピコ秒(~サブピコ秒)程度という非常に短い緩和特性をもつ。本研究ではまず、通常利用されるAlGaAs系量子井戸における長波長(~10 $\mu$ m)のサブバンド間遷移を用いた光制御光変調を自由電子レーザによって実証する研究を行ない、ピコ秒程度の超高速光-光スイッチングが可能であることを示した。また、実用性をより高めるため、従来では4 $\mu$ m以上であった遷移波長を短波長化する研究にも取り組んだ。エネルギー的に深い量子井戸を構成できる独自の新材料系(GaAs基板上のInGaAs/AlAs)を導入することで、波長1.9 $\mu$ mまでの短波長化を達成し、サブバンド間遷移デバイスの光ファイバ通信網(1.55 $\mu$ m)への適用に見通しをつけた。さらに、この短波長化サブバンド間遷移が従来の長波長のそれと同様に、超高速の緩和時間をもつのか否かを明らかにすることを試みた。極短光パルスを用いてサブピコ秒レベルの時間分解能での緩和時間測定を行ない、遷移波長2.5 $\mu$ mにおいて緩和時間が2.7 ps程度との結果を得た(図2)。これにより、短波長化サブバンド間遷移が超高速の応答特性を持つことを初めて実験的に明らかにした。今後は、この短波長化サブバンド間遷移を用いた変調デバイスの実現を目指すとともに、より高速な応答が期待できる窒化物半導体への展開も計画している。

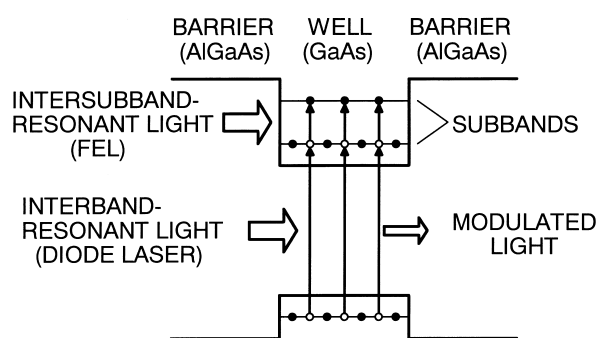


図1：サブバンド間遷移を用いた光制御光変調の原理。制御光によって電子をサブバンド間励起することで、バンド間遷移に共鳴する信号光に対する吸収の大きさを変調する。

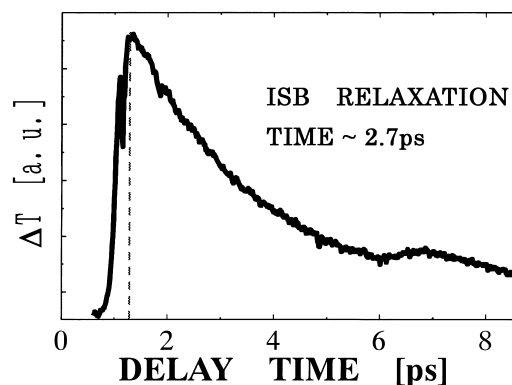


図2：短波長化サブバンド間遷移の緩和特性。遷移波長2.5 $\mu$ mにおいて緩和時間2.7psという超高速の応答が観測された。



**● 田 崇****「プラズマ励起有機金属気相エピタキシーによるGaInN/GaNの成長とその特性に関する研究」  
平成10年3月23日授与**

発光ダイオード(LED)、あるいはレーザーダイオード(LD)といった、半導体による発光素子(デバイス)は、その発明以来われわれの生活に深く浸透し、情報化社会における情報の記録、伝達の上で大変重要な役割を担っている。その半導体発光デバイスの重要なトピックの一つが、次世代の光記録や情報伝達を担う青色発光デバイスの実用化である。特に、90年代に入ってからその結晶成長技術が大きく進歩したGaInN/GaN系半導体は、青色発光デバイスの材料の中でも最も注目されている材料である。

現状のGaInN/GaN系材料の結晶成長技術には、克服しなければならない本質的な問題点がいくつか指摘されている。そのなかでも、GaNおよびGaInNの適性成長温度が大きく異なる(GaNは1000℃以上、GaInNは700~800℃)ことは、将来的に原子レベルの積層構造を実用化していく上で大きな問題となると考えられる。本研究では、この温度差の問題を解決するため、プラズマ励起有機金属気相エピタキシー(プラズマ励起OMVPE)という結晶成長技術を導入し、従来のOMVPE法では困難であった、GaInN/GaN異種接合構造の同一温度成長に取り組んだ。

本研究で用いたプラズマ励起OMVPE法の最大の特徴は、結晶成長のための窒素源として、従来のアンモニアガスの変わりにプラズマ励起N<sub>2</sub>を採用している点である。アンモニアの分子は化学的な安定性が高く、これが従来のOMVPE法において結晶成長の温度を高くしなければならない要因の一つとなっていた。これに対し、プラズマ励起OMVPEでは、プラズマ放電を用いて窒素を励起し、反応可能な状態にしてから供給するため、基板温度がそれほど高くなくても良い結晶性のGaNやGaInNを成長できると期待される。

本研究では、発光デバイスの基本構造であるGaN/GaInN/GaN二重異種接合構造を、プラズマ励起OMVPEを用いて同一温度で成長することを大目標に据え、以下のようなことを明らかにしていった。

1. プラズマ励起OMVPE法を採用することによって、従来のOMVPE法よりも低い温度における良質なGaNの成長をめざした。その結果、800℃においてもGaNの成長が可能であることを実証した。
2. GaNの成長温度のさらなる低温化をめざし、プラズマ励起N<sub>2</sub>によるサファイア基板の窒化処理を検討した。その結果、550℃という非常に低い温度におけるGaNのエピタキシャル成長に成功した。
3. GaInNの成長においては、従来の方法では困難であった680℃における全組成GaInNの成長を実現した。さらに、Inの取り込みの温度依存性が小さいことを見出し、プラズマ励起OMVPE法が組成制御性の面でも有利であることを示した。
4. 研究の最終過程においては、GaN/InN/GaNを含む全組成GaN/GaInN/GaN二重異種接合構造の成長を680℃において実現し、プラズマ励起OMVPE法による青色発光デバイスの成長が可能であることを実証した。

高 賢 哲

「Fabrication and Optical Properties of Low-Dimensional Quantum Structures in ZnCdSe Semiconductor System」

(ZnCdSe系半導体低次元構造の作製と光物性に関する研究)

平成10年5月25日授与

大量の情報を超高速に処理し伝送する、それを記憶あるいは記録する、さらにマン・マシーンインターフェイスの担い手として情報を高品質に表示するといった光エレクトロニクスの技術開発は、21世紀に向けたマルチメディアの高度化・高機能化に不可欠となっており、その中核を担うのが半導体レーザや発光ダイオードを始めとする半導体光機能デバイスである。近年のワイドギャップ半導体を中心とする光機能材料研究の急速な発展によって、短波長発光デバイス、とくに緑色から青色さらに青紫色発光デバイスの実用化を見るに至り、ここに超高密度大容量光記録装置（次世代DVD）やレーザディスプレイ、大型フルカラーフラットパネルディスプレイ、照明用光源等への応用が期待されるようになってきた。このような状況において、コンパクトな半導体光デバイスのより一層高い発光効率・量子効率の追究はあらゆる用途に不可欠である。高効率化のための研究の一つの方向性として、低次元量子構造と励起子を利用することが有望である。なぜなら低次元量子構造に閉じ込められた励起子は、大きな発光再結合確率を持つ可能性があるためである。このような観点に立って、本研究では、緑から青色領域に対応するバンドギャップを持つII-VI族半導体ZnCdSe系半導体を取り上げ、この材料系では従来困難とされてきた量子井戸構造、量子細線構造、量子ドット構造などの低次元量子構造を、新しい作製技術によって構築すること、および、それらの量子構造の構造評価と励起子光物性を明らかにすることを目的として研究したものである。

結晶成長は分子線エピタキシャル(MBE)法を用いた。まず、超高真空下で劈開させたGaAs(110)劈開面上へのZnSeのヘテロエピタキシャル成長を行い、成長形態と成長条件との関係を詳細に調べ、平坦な二次元薄膜成長の最適化条件を見出した。すなわち、(110)面は(001)面とは異なり二種類の原子が共存する無極性面であるため、成長温度や原料の供給比、さらには初期に供給される元素の種類といった成長条件が膜質に大きく影響すること、結晶成長モードが二次元から三次元になる臨界膜厚の制御が可能であること、さらに、超高真空下で劈開した清浄なGaAs(110)面が、ZnSeの二次元的成長モードに極めて有効であることを示した。これらの成果をもとに、GaAs(110)劈開面上にZnSe/ZnCdSe単一歪み量子井戸構造を作製、フォトルミネッセンス発光線の半値幅を調べ、それが活性層のZnCdSeの混晶揺らぎによる限界値に近いこと、量子井戸の界面の揺らぎが少ない高品質な構造であることを示した。さらに、作製された量子井戸構造は強い面内偏光特性を持つことを見出し、理論的結果との比較検討を行って、その偏光特性が活性層の歪みによって増幅されることを明らかにした。これらの結果から、このような量子井戸構造を偏光素子として応用し得ることや、従来困難であった面発光レーザの偏光制御が(110)面を基板に用いることによって可能であることも示した。次に、GaAs(110)劈開面上のZnCdSe系半導体の自己組織化ナノ構造構築に対する成長条件の検討を行った。(110)劈開面上に格子定数が大きいZnCdSeを成長させると、格子不整合性に起因した歪みの緩和過程の面内異方性により、表面にリッジや島などナノ構造が形成され、さらにリッジ状の構造上に島構造が自己整列する新しい現象を発見し、自己形成した量子ドットの二次元的な位置制御の可能性を示した。さらに得られたリッジ状構造を利用してCdSe/ZnCdSe量子細線を作製し、強い一次元性の光学的特性を観察して、自己形成法による量子細線の新しい作製法の可能性を示した。三次元閉じ込め構造である量子ドットの作製に関しては、GaAs(110)劈開面上にZnSeを成長した後、大きい歪みを持つCdSeを成長させることによって、いわゆるS-Kモードによる自己形成量子ドットの作製に初めて成功した。その構造の光物性評価から、三次元的に閉じ込められた強い励起子発光線を観測し、顕微フォトルミネッセンス測定から、その発光が各量子ドットからの発光であることやその発光の二次元的分布に対する知見を得た。今後は、これらの成果をもとに低次元量子構造を活性層とするデバイスへの展開が望まれる。これが実現すれば、ZnSe系発光デバイスの高効率化に大きく寄与するものと考えられる。

## 西田 貴司

### 「rfマグネトロンスパッタ法によるLiNbO<sub>3</sub>薄膜の作製とその弾性表面波特性に関する研究」 平成10年5月25日授与

はじめに一情報通信と材料研究 現在、携帯電話が広く普及するようになった。また、BSや最近ではCS等の衛星放送も特に珍しくはなくなり、最近では車載GPSを使ってドライブをすることや、もうすぐ地球規模で使える衛星電話“イリジウム”も利用できるようになるだろう。このように、移動体通信や衛星通信等の新しい通信手段が日常生活に大いに役立つ、さらには欠かせないものとなった。このような機器は昔からあるにはあった。しかし、サイズやコスト的にみてとても日常生活に使えるものではなく、特殊業務や軍事用など限られた範囲でだけ使われていた。それが、今日普及しているのは、通信技術をはじめとして集積回路技術や新材料の開発、回路実装にいたるまでの、幅広い技術の結合の成果である。そのため、通信関連の研究・開発は多くの分野にまたがって、幅広く行われている。そのため、本研究は新しい強誘電体材料の研究であるが、特にこの情報通信を意識した研究となった。

**最近の強誘電体(機能)材料研究—材料の薄膜化** 強誘電体とは「電場を加えないでも、誘電分極を保ちうるような物質」(広辞苑)であるが、応用的には環境からの多種の刺激(電界、温度、圧力等)に敏感に反応する材料、つまりセンサの材料である。また、電界、温度、圧力等それぞれに反応するのでバラエティに富んだ使い方ができ、センサ以外に記憶素子、信号処理素子等の色々な素子が作られている。本研究タイトルの「弾性表面波」素子もその一つで、通信機器には必ず使われるキーデバイスである。

素子の性能はおおまかには使う材料で決まる。そのため、多種の物質を混合する、混合比を色々変える等々して、おびただしい種類の「強誘電体材料」が考え出され、研究されてきた。しかし、研究の最近のトレンドは、材料をごく薄くする技術(薄膜化)や複数の材料の組み合わせ(複合化)である。この場合、組み合わせる材料と製作条件をうまく選ぶと、各材料それぞれの性質の良い所が引き出されて、一挙に性能向上が図れるためである。

**ニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)薄膜—未開の薄膜材料** しかし、品質の良い薄膜を作るのはなかなか手間がかかる。そのため、うまく薄膜化されている誘電体材料は残念ながらまだ少ない。具体例をあげれば、良質な膜が容易に得られる酸化スズ(ZnO)の薄膜や、最近期待が集まっている新メモリ素子(強誘電体メモリ)向けのジルコンチタン酸鉛(PZT)薄膜に研究が集中している。それで、本研究では薄膜化が進んでいない新しい材料：ニオブ酸リチウムに取り組んだ。

ニオブ酸リチウムは古くからよく知られていて、この分野では「おなじみの材料」である。しかし、様々な変わった性質を持っているので研究対象として面白い所がいまだに沢山残っている。また、この材料を機器に使うと優れた性能が得られるということで最近また使われだしたことや、薄膜化ができればなお良いと思われるが「薄膜」としての研究もまだまだ浅いということもあるので、古いが新しい材料と私は思っている。このような材料なので初期に多くの研究者が取り組んだが、薄膜化は難しかった。具体的には、Li組成の把握が難しい、分極の不整(マルチドメイン)による機能の消滅、良い膜が得られる基板が少ない、ことなどが問題であった。また、ニオブ酸リチウム薄膜の研究は主に光応用の観点で進められてきたので、本研究のような圧電(弾性表面波)応用に関するデータは少ない。

研究はこれらの問題に対応したものになった。弾性表面波応用のデータとして、薄膜に組み合わせる基板で特性がどのように変化するか?集積回路との一体化を目指したSi、安価なガラス、光回路との一体化を目指したサファイア、超高速化が見込めるダイヤモンド薄膜基板等、それぞれについて詳細に調べ、薄膜化により大幅に性能改善ができることを明らかにできた。また、強誘電体薄膜の作製法として多くのメリットがある「rfマグネトロンスパッタ法」で実際に膜の作製を行い、上記の各種基板上に膜を作ることができることを実証した。この研究で特に悩まされたのは先に触れた「分極の不整(マルチドメイン)」の問題であった。しかし、悩まされた分だけの結果は得られた。rfマグネトロンスパッタ法に改良を加えることより、分極をコントロールできることがわかったからである。これで、マルチドメイン解消のメドがたった。

**おわりに — 今後の研究課題** 研究結果は基本的な成果だけであるので、実用には、もっと複雑な構造を持つ実際の素子の作製や基礎的には成膜機構や薄膜の分極のメカニズムについてさらに突っ込んで調べる必要を現在強く感じている。とはいえ、本研究からニオブ酸リチウム薄膜は弾性表面波素子材料に有望であることがわかり、さらに実現のメドをつけることもできた。ささやかかもしれないが、本研究が弾性表面波素子材料の発展に寄与できれば幸いである。

## 【論文博士一覧】

山下 睦雄	誘導コイル結合型高周波放電を利用した金属イオンの発生とその応用	平成9年11月25日
斉藤 徹	低速イオン散乱分光を用いた実時間観察によるⅢ－Ⅴ族半導体へテロ界面形成過程に関する研究	平成9年11月25日
下田 宏	認知工学に基づくヒューマンインタフェース設計法の高度化に関する研究	平成10年1月23日
●田 正豊	海底光増幅中継システムにおける障害探査技術に関する研究	平成10年1月23日
菊池 純	集積回路製造プロセスにおけるシリコン表面のドライ洗浄技術の研究	平成10年1月23日
白藤 立	Radical Kinetics and Its Control in Chemical Vapor Deposition of Amorphous, Microcrystalline and Poly-crystalline Silicon Thin Films (アモルファス、微結晶および多結晶シリコン薄膜の化学気相堆積におけるラジカル反応過程とその制御に関する研究)	平成10年1月23日
杉村 領一	Logic Based Japanese Sentence Analysis (論理に基づく日本語解析)	平成10年1月23日
山田 奨治	ユーザー指向のインタフェース評価メトリクスと脳波インタフェースに関する研究	平成10年3月23日
有田 睦信	多孔質Siの構造・物性制御と電子デバイス高性能化への応用に関する研究	平成10年3月23日
近藤 将夫	高効率エミッタシリコンバイポーラトランジスタの研究	平成10年3月23日
長野 信治	収束イオンビーム直接蒸着装置の開発とその応用に関する研究	平成10年3月23日
三木 良雄	超高速プロセッサ設計向けダイレイ検証システムに関する研究	平成10年3月23日
上坂 達生	LSIのデザインルールチェックの高速化に関する研究	平成10年3月23日
太田 博文	同期発電機空隙磁束のオンライン計測と電力系統の動的挙動に関する基礎研究	平成10年5月25日

廣井 和男	非線形制約条件を考慮したPID型制御アルゴリズムとその燃焼制御への応用に関する研究	平成10年 5月25日
石神 敏彦	HIDランプの封入物の発光と反応に関する研究	平成10年 5月25日
米田 昌弘	プラズマエッチング技術の半導体デバイスへの応用に関する研究	平成10年 5月25日
山尾 泰	デジタル移動通信携帯機用送受信回路の研究	平成10年 5月25日
中村 孝	フローティングゲート構造を有する強誘電体メモリに関する研究	平成10年 7月23日
長崎 昌司	高電圧架橋ポリエチレン絶縁電力ケーブルの技術開発に関する研究	平成10年 7月23日
豊島 秀雄	InGaAs歪混晶層の分子線エピタキシャル成長と高速電子デバイスへの応用に関する研究	平成10年 9月24日
今泉 昌之	MgZnSSe系II-VI族半導体のガスソース分子線エピタキシャル成長と青緑色レーザダイオードへの応用に関する研究	平成10年 9月24日
岡本 真吾	High Conversion Efficiency and Highly Stable a-Si:H Solar Cells (高効率・高信頼性a-Si:H太陽電池に関する研究)	平成10年 9月24日
石崎 俊雄	携帯電話用高周波デバイスの小形化と高性能化に関する研究	平成10年 9月24日