

半導体レーザーを用いた光計測

生徒 大澤由憲 長谷川勝康
 指導教官 新潟大学工学部電気電子工学科 助教授 鈴木孝昌
 担当教諭 笹川民雄

(1) 講演会について

大学での実験の前に4月28日の5限時にテーマの概要と関係する物理分野の基礎について鈴木孝昌助教授の講演を聞いた。具体的な内容は以下の通りである。

光と半導体レーザーについての基礎知識

光は電磁波の一つで、可視光の波長領域は電磁波の中のわずかな領域である。また、自然光はいろいろな波長の光が乱雑な位相で混じっている。一方、レーザー光は単一の波長の光が同位相であり、可干渉（干渉しやすい性質）や指向性（集光しやすい性質）がその特徴である。半導体レーザーには光を発信するLD（レーザーダイオード）と受信するPD（フォトダイオード）からなる。光を特徴づける量は振幅、波長、周期（周波数）3つであり、赤色レーザーの波長は680nm、周波数は440THzである。光は電波と異なり、いかなるセンサを用いてもその波形を観測することはできない。ただ、明るいか暗いか（振幅が大きい小さいか）が観測できるだけである。

干渉計測の原理

干渉とは2つの波が重なり合い、強め合ったり弱め合ったりする現象である。強め合うと明るくなり、弱め合うと暗くなる。位相が π だけ異なる2つの光 $\cos(x)$ と $\cos(x+\pi)$ を重ね合わせると $2\cos(x/2)\cos(x+\pi/2)$ となり、振幅が $2\cos(x/2)$ となる。明るさは振幅の2乗なので2つの光を干渉させた場合、その明るさから経路差が半波長の以下の形状や変位の測定ができる。

干渉計のしくみと計測例

干渉計はレーザー光を半透鏡（ハーフミラー）で2つに分け、一方を参照鏡に他方を測定物体にあてそれぞれの反射光を干渉させその明るさを光検出器で測定するものである。測定例として、正弦波の振動を測定物体に加えたときの計測例とダイヤモンドで研磨された磁気デバイスの表面形状の計測例を示す。



図1 講演

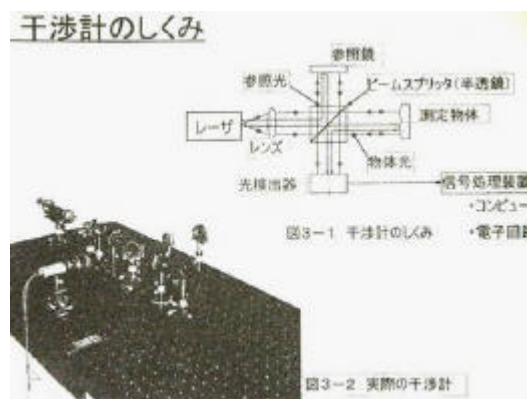
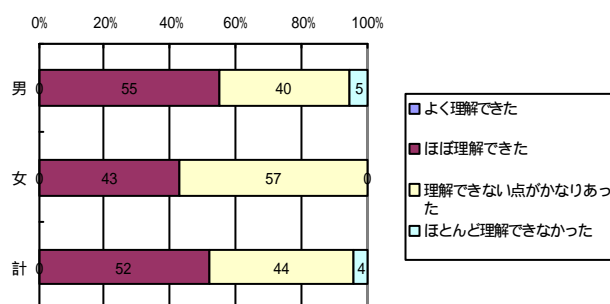
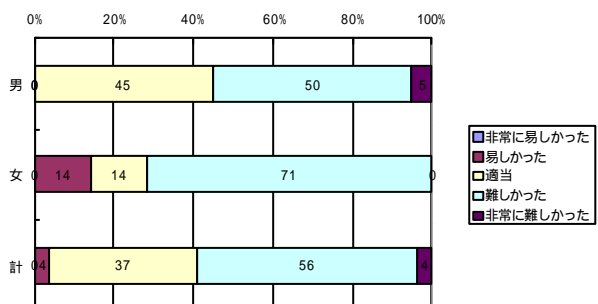


図2 干渉計のしくみ

生徒のアンケート結果および評価（SSHクラス32名）

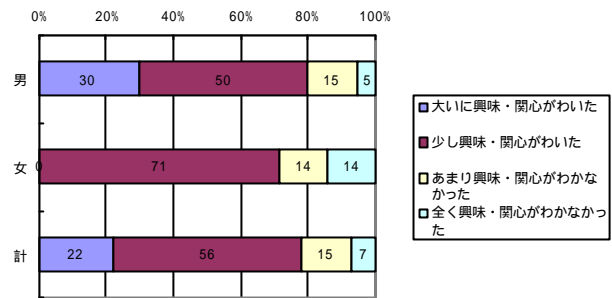
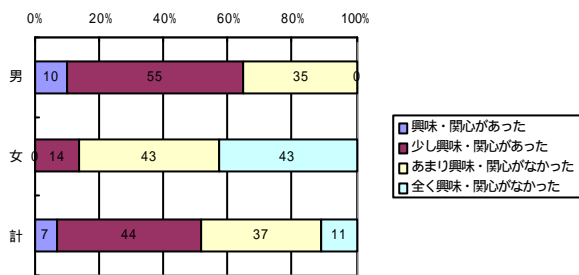
【1】 講演の難易度はどうでしたか。

【2】 講演内容について、どのくらい理解できましたか。



【3】 講演前に興味・関心はありましたか。

【4】 講演を聴いて興味・関心はどうになりましたか。



わかりやすい講演であったが、生徒は物理の授業で波動や光についてまだ学習していなかったもので、ほぼ理解できた生徒は半数くらいにとどまった。しかし、講演を聴いて興味関心がわいたと答えた生徒が講演前と比べ27%増加し、78%となった。光の干渉そのものや干渉計を利用して微細な磁気ディスクなどの表面形状が測定できることに興味をもった生徒が多かった。実際に、干渉計での実験を実際に観察することができればより大きな効果が得られたと考えられる。

(2) 課題研究活動について

大学での課題研究

7月7日に1回目の大学での課題研究を行い、レーザ半導体を製作した。まず、半導体レーザ駆動回路の低電圧発生部、電流制御部、高出力検出制御部、電圧加算部など各回路の働きの説明を受けた。その後、回路図をもとに抵抗、コンデンサー、オペアンプ、ツェナーダイオードなどを基板にはんだ付けをした。生徒は回路図の見方やはんだ付けが慣れないせいか、かなり苦労して2時間半ほどかかりやっと完成にこぎつけることができた。回路が実際に作動するか確認したところ、正常に作動しなかった。オシロスコープで各部分を点検したが原因がつかとめられなかったので、高校に持ち帰り、あらためて回路をチェックした。

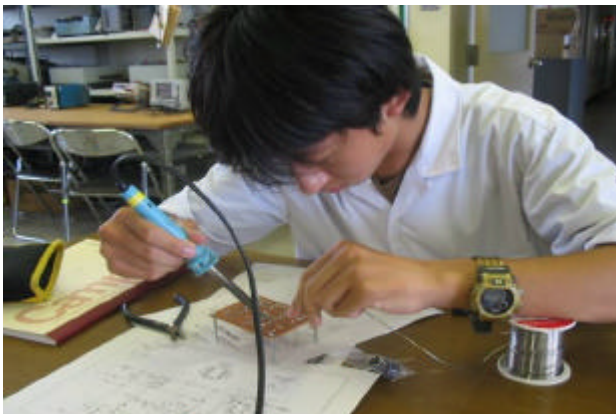


図3 半導体レーザ駆動回路の製作

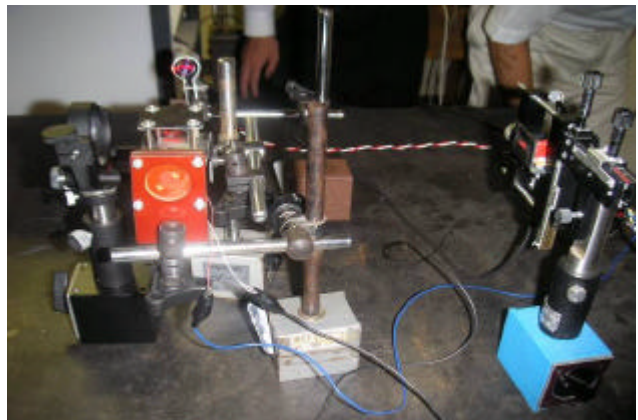


図4 干渉計

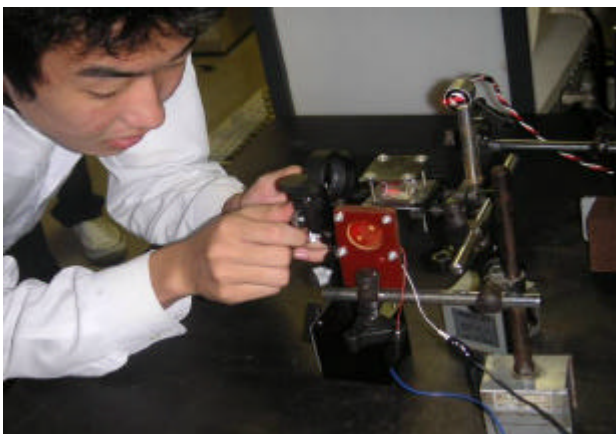


図5 参照鏡の位置の調整

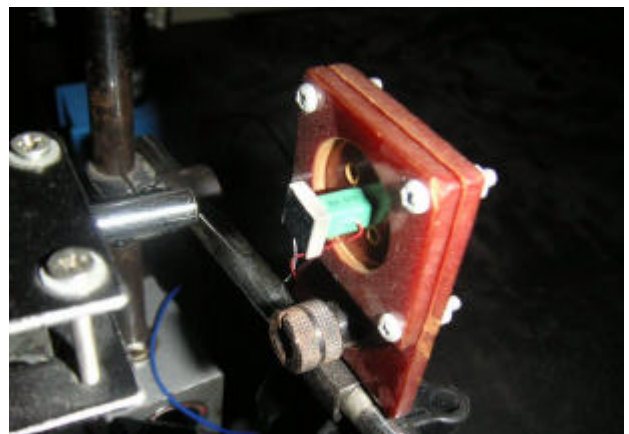


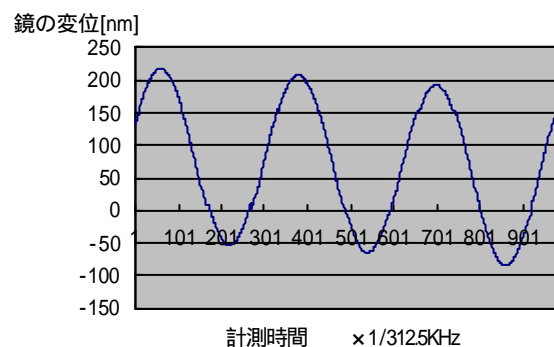
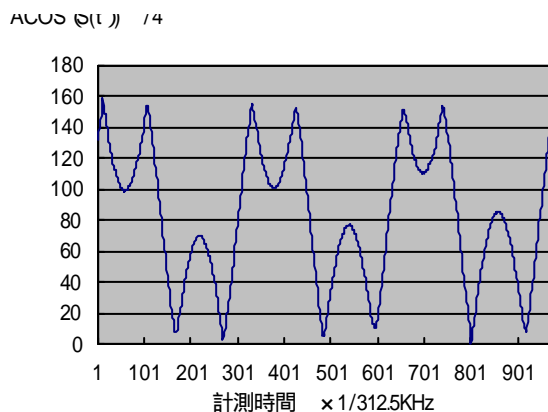
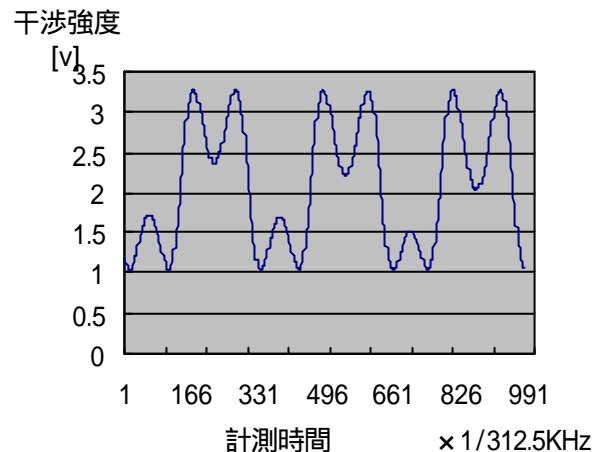
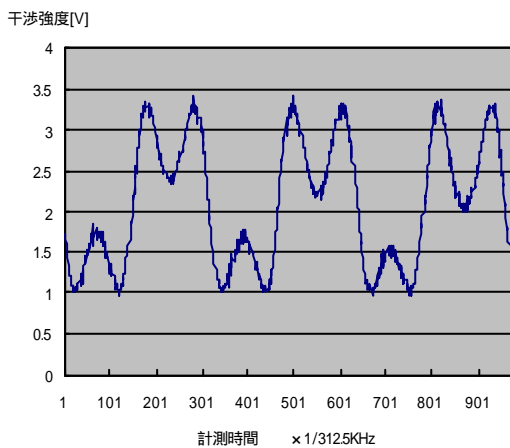
図6 水晶振動子で単振動する鏡

9月8日に2回目の大学での課題研究を行った。先回の実習で製作した半導体レーザ光源にを使ってトワイマン・グリーン型干渉計で実験を行った。レーザ光をハーフミラー（半透鏡）で2つの光線に分け、一方の光を参照鏡で反射させ、もう一方の光を振動する鏡に反射させそれらを干渉させ、光センサで明暗を測定する実験である。光センサの信号は最初オシロスコープで観察し、その後AD変換器でデジタルデータに変換しパソコンに取り込んだ。一方の鏡を水晶振動子に付け、水晶に交流電圧をかけることで単振動させた。また、加圧した交流信号はオシロスコープで測定した。振動の振幅の小さい場合と大きい場合の2種類のデータをパソコンで計測した。データは歪んでいたりと、雑音が混じっていたりしている場合が多く、きれいなデータを得るのにはかなりの数の計測が必要であった。また、当日は暑くエアコンを使用したので、その振動の影響も見られ、実験時にはエアコンを切っていたが、生徒は暑さの中でよく耐えて実験をこなしていた。最後に、短時間ではあるがデータ解析の説明を受けた。

10月20日に3回目の大学での課題研究を行った。前回、光計測した干渉データを解析し、単振動する鏡（振動鏡）の変位の時間的変化を求めるといものである。ハーフミラーから参照鏡と振動鏡までの往復の距離をそれぞれ L_1 、 L_2 とすると、理論上、振幅 A の2つの光の干渉強度 S は $S = 2A^2(1 + \cos(k(L_1 - L_2)))$ となる。一般に測定した干渉強度を $S_0 = a + b \cos(k(L_1 - L_2))$ とすると、 $k(L_1 - L_2) = \cos^{-1}((S_0 - a)/b)$ となる。よって観測した強度解析することにより、経路差 $L_1 - L_2$ が求まり、これをもとに振動鏡の変位が決定される。表計算ソフトを用いてデータ解析の概要を実習した。

校内での課題研究

大学での実習では時間が足りず、大部分の解析は校内で行なった。データ解析には高校3年で習う三角関数の極値や大学で習う三角関数の逆関数などかなり高度の数学的知識が必要とされた。これらのことを生徒に理解させながらデータ解析を行ったので、解析に10時間ほどの時間がかかった。また、測定データには雑音が含まれているので、解析する前に雑音を除去する必要がある。この雑音処理には移動平均法を用いた。平均するデータの数を25程度にすると細部にわたり雑音の除去された滑らかなデータが得られた。この雑音処理についても高校では学ばないので、その原理を解説する必要があった。解析は表計算ソフトの関数機能を用いて行い、最後にそれをグラフ化した。表計算ソフトの関数を利用した解析は、生徒にとって初めての経験であったが、慣れるに従って、スムーズに使いこなしていた。総じてデータ解析には高校2年の生徒にとってはかなり難しい内容が含まれていたが、生徒にとって数学がどのように実際の実験で使われるのかを経験でき、大変有意義なものであったといえる。



(3) 生徒の変容および成果

生徒へのアンケート結果は以下のようである。

- ・高校にはない専門的な実験装置で実験でき、光計測の理解が非常に深まった。
- ・誤差や雑音の少ないデータを得るために何回も条件を整えて実験しなければいけないことを知った。
- ・コンピュータ計測で取得されたデータ処理の方法、特に雑音処理の方法を学ぶことができた。
- ・表計算ソフトの関数を用いたデータ処理ができるようになった。
- ・半導体レーザ駆動回路を製作することにより、電子回路が身近に感じられるようになった。
- ・大学の研究室で実験するという貴重な体験をすることができ、大学の研究について具体的イメージを作ることができた。
- ・工学部に対する意識や興味がより高まった。電子工学について大学でもっと学んでみたいと思った。
- ・光を含め物理についての興味が深まり、勉強意欲が高まった。
- ・データを分析し結果を出すのは時間がかかり、また、理解するのに苦労した点もあったがこの課題研究を通して、研究の一端を知ることができ満足している。
- ・レポートを自分でまとめることは大変であったが、思考力、表現力がついた。

今回の実験内容は高校2年の生徒にとってかなり高度なことも含まれていたが、大学で実際に実験を体験し、計測やデータ処理をコンピュータで行い、この課題研究を通し生徒は一つのテーマを総合的にかつ深く学ぶことを身につけることができたといえる。また、一斉授業ではこのように時間をかけて一つの実験を深く追求することはできないので科学的方法を生徒に身につけさせるには課題研究は大変有効であるといえる。大学と連携することにより、高校ではできない専門的な実験が可能となり、生徒、教員ともいろいろな意味でよい刺激になった。なによりも大学という場で課題研究できたことで、大学が身近に感じられるようになった。

(4) 今後の課題・改善点

今回の課題研究では、実験装置が大学にしかなく、また、大学で3回の実験しか行えなかった。計画された実験やデータ解析はできたが、時間の関係で生徒の自主的な意志に基づく活動が少なかった。生徒自らが仮説を立て、実験を行い、検証するという課題研究にすることが今後の課題である。テーマが学究的、専門的であるとどうしても生徒が受け身になりやすいので、生徒の能力や学習段階にあわせたテーマの設定が大切であると思われる。生徒の自主性を生かしながら、創造的、発見的な課題研究にするにはどうすればよいのか探っていきたい。