**光**

60502249

　ヒ組６番　伊藤純

1. 目的

・半導体レーザーから放射された光の透過光強度を、偏光版の回転角φを少しずつ変えながら測定し、φと強度の関係を調べた。

* 半導体レーザーの偏光方向がガラス板に垂直・平行の場合について、入射光・反射光を測定することにより、入射角θと反射率の関係を調べた。
* ヘリウム・ネオンレーザーを金尺の目盛にあて、スクリーンに反射された回折光の間隔を測定することにより、レーザーの波長を調べた。

1. 原理
   * 実験A (偏光について)

　光は波の性質をもち、進行方向に対して垂直なあらゆる方向の振動が平均して均等に含まれていることになる。このような光偏りのない光といい、ある特定の方向の振動が多く含まれる光を偏光という。偏光板(偏光子)を用いて、偏光は作り出すことができる。

図　のように偏光板の縞模様に平行な方向の成分、すなわちは明らかに偏光板を通過することができるが、垂直な方向の成分、すなわちは偏光板を通過することができない。偏光板は偏光面に平行な光しか通すことができないのである。

光の波動性より、光の強度は波のエネルギーとして考えることができる。光エネルギー***I*** 、光の振幅***E*** とすると、エネルギー***I*** は

　　　(***K***は比例定数)

と表されるので、



となる。

これに上で述べた、偏光子を通り抜けたという成分を代入すると



となり、結果的に



となる。

以上の説明から、透過光の振幅は入射光の値の倍になっているので、振幅の２乗に比例する光の強度(透過率)は倍に減少する。これをマルスの法則という。

* + 実験B (反射率)

光の性質として、屈折光には反射面内で水平に振動する光が多くなり、反射光には反射面に垂直に振動する光が多く含まれる。光は、屈折光と反射光のなす角が90°のとき、反射光は完全に偏光する。このとき図　のように、光の入射角*θ、*屈折角*φ*、物質の屈折率を*n* とすると



が成り立つ。これを、**ブリュースターの法則**といい、を満たす入射角を偏向角(ブリュースター角)という。

* + 実験C (レーザーの波長)

放射された光が反射面と入射角*α、*反射角*β*をなすとき、図　にあるように隣り合う２つの光路A-A' とB-B’ の光路差はである。(rad)が十分小さいとき、



であるから、*α*、*β*が小さいときには



と近似できる。光路差が波長*λ*の整数倍に等しいとき、反射光の各要素は互いに強め合うように干渉し、スクリーンに映し出される。

よって、m次の回折光の角は



を満たすことになる。また、図　より



であり、0次光についてはであるため、



が成り立つ。　式、　式より



となり、これを　式に代入すると近似式



が導かれ、この光の波長を求めことができる。

３．方法

実験A : 偏光

(１)半導体レーザーのスイッチをONにした状態で、電池が2.5V以上あることを確認した。

(２)レーザー光が検出器の中央に垂直にあたるように調節した。

(３)半導体レーザーと検出器の間に偏光板を１枚置き、偏光板を枠ごと回転させ、透過容易軸を正確に偏光方向と平行(φ＝0ﾟ)にした。

(４)偏光板の回転角φを10ﾟずつ回転させ、φ＝0ﾟのとき光の強度(透過率)を１として、その光の強度を測定した。

　　実験B : 反射率

1. 半導体レーザー、ガラス板、スクリーンを図１のように配置した。
2. レーザーの偏光方向がガラス板に垂直・平行、それぞれの場合に、反射光の明るさが入射角θ(0ﾟ＜θ＜90ﾟ)によってどのように変化するか、おおまかに観察した。
3. スクリーンを取り外し、検出器を用いて入射光・反射光の強度(反射率)を測定した。

実験C : レーザーの波長

1. ヘリウム・ネオンレーザー光、金尺、スクリーンを図　のように配置した。
2. レーザー光が金尺の目盛のついた部分に、入射角が90ﾟに近くなるように当てる。
3. このとき、光の金尺に当たっている部分とスクリーンとの間隔を50cm以上あけ、スクリーンに映る輝点の位置を測定した。
4. 金尺がないときにレーザー光の当たる点を原点とし、１番明るい輝点の位置を,それより外側の点の位置を順次,,…とした。それぞれの値を　式



へ代入して、波長*λ*を求めた。また、その平均値を最終的な測定値とした。

* + 1. 結果

半導体レーザー及び測光器の電池残量を電圧計で測定した結果は、それぞれ、を超えていた。

* 実験A(偏光)の結果をまとめたものが表1である。透過率とは、偏光角0°のときを基準にして、それぞれの光の強さを表したものである。

・の値は**マルスの法則**より、理論値とする。

・これらの結果をグラフにしたものがグラフ１である。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 表１　偏光角と出力電圧 | | | |
| 偏向角[度] | 出力[V] | 透過率 |  |
| 0 | 1.94 | 1.000 | 1.00 |
| 10 | 1.78 | 0.918 | 0.970 |
| 20 | 1.46 | 0.753 | 0.883 |
| 30 | 1.22 | 0.629 | 0.750 |
| 40 | 0.92 | 0.474 | 0.587 |
| 50 | 0.72 | 0.371 | 0.413 |
| 60 | 0.46 | 0.237 | 0.250 |
| 70 | 0.22 | 0.113 | 0.117 |
| 80 | 0.04 | 0.020 | 0.030 |
| 90 | 0.00 | 0.000 | 0.00 |



* 実験B(反射率)の結果をまとめたものが表２である。偏光子の向きが、地面に対して垂直な場合をS波、水平な場合をP波とした。反射率とは、入射角90°のときを基準にして、それぞれの光の強さを表したものである。

・これらの結果をグラフにしたものがグラフ２である。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 表２　入射角と出力電圧 | | | | |
| 入射角[度] | S波 | | P波 | |
| 出力[Ｖ] | 反射率 | 出力[Ｖ] | 反射率 |
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0.08 | 0.030 | 0.00 | 0.000 |
| 20 | 0.10 | 0.037 | 1.00 | 0.333 |
| 30 | 0.14 | 0.052 | 0.60 | 0.200 |
| 40 | 0.22 | 0.081 | 0.40 | 0.133 |
| 50 | 0.34 | 0.126 | 0.02 | 0.007 |
| 60 | 0.48 | 0.178 | 0.02 | 0.007 |
| 70 | 0.74 | 0.274 | 0.19 | 0.063 |
| 80 | 1.40 | 0.519 | 0.90 | 0.300 |
| 90 | 2.70 | 1.000 | 3.00 | 1.000 |



* 実験Cの結果をまとめたものが、表3、表４である。

・これらの表において、*m*=1,2,3,･･･、d=目盛間隔[*m*]、L=金尺にあたる反射点の中心からスクリーンまでの距離[*m*]、λ=波長[*m*]である。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 表３　( d=0.05*m* 、L=56.4*m*) | | | |
| M  [番目] | [m] | [m] | λ[nm] |
| 0 | 19.50 | … | … |
| 1 | 19.90 | 7.96 | 625.6 |
| 2 | 20.35 | 8.65 | 679.7 |
| 3 | 20.70 | 8.28 | 650.7 |
| 4 | 21.10 | 8.44 | 663.3 |
| 5 | 21.45 | 8.37 | 657.5 |
| 6 | 21.80 | 8.36 | 656.8 |
| 7 | 22.20 | 8.56 | 673.0 |
| 平均 |  |  | 658.1 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 表４　( d=0.1*m* 、L=54.6*m*) | | | |
| M  [番目] | [m] | [m] | λ[nm] |
| 0 | 6.30 | … | … |
| 1 | 6.90 | 4.14 | 694.4 |
| 2 | 7.35 | 3.86 | 647.2 |
| 3 | 7.75 | 3.75 | 628.3 |
| 4 | 8.20 | 3.90 | 653.3 |
| 5 | 8.50 | 3.74 | 627.3 |
| 6 | 8.90 | 3.86 | 646.8 |
| 7 | 9.20 | 3.81 | 639.3 |
| 平均 |  |  | 648.1 |

５．考察

* 実験A(偏光)について

**グラフ１**から見て取れるように、実験値は理論値に沿った結果が出ていること分かる。実験値と理論値の誤差の割合を求めてみると

(実験値平均) / (理論値平均)×100

　＝4.515 / 5.000×100

　＝90.3％

となり、ほぼ一致していると判断できる。しかし、実験値の偏光角前半部分では、理論値との差が大きい値がある。この要因を考えると、

* + 1. 偏光板の置き方にずれがあった。
    2. 検出器に光を当てる際、垂直に当てられていなかった。

があげられる。特に②が大きな要因と考える。レーザー光の高さと、検出器の台の高さを合わせることが難しく、測定位置によっては曖昧な測定になった可能性が高い。

* 実験B(反射率)について

**グラフ２**から分かるように、ガラス(反射面)に垂直に当たった場合(S波)と、平行に当たった場合(P波)では、反射率に明らかな違いが現れた。

S波は入射角とともに単調に増大しているのに対して、P波は明らかな誤差がある。資料によると(省略)、P波の反射率は常にS波の反射率よりも常に小さい。(これは**フレネルの法則**※１から求めることができる。)　しかしこの実験では、入射角前半において大きく外れてしまった値がある。この誤差の要因は実験Aでの要因と同様であると考える。

　また、P波の反射率は途中、入射角が50°～60°の間でほとんど0へ近づく。このときの入射角が、原理で述べている**ブリュースター角**と呼ばれるものである。実際にブリュースターの公式にガラスの屈折率1.4として計算してみると、偏光角は54.46°となり、実験はほぼ正確でるとすることができる。

※1フレネルの公式

　　　　

、……反射率　　、……屈折率

……入射角　　……反射角

* 実験C(レーザーの波長)

　実験に用いたヘリウム・ネオンレーザーの波長は、ほぼ正確に632.8nmであることが知られている。実験において金尺の目盛間隔0.05mmと0.1mmのとき、それぞれの平均波長は658.1nmと648.1nmであった。これらの値から、実験値と理論値の誤差の割合を求めると、目盛間隔0.05mmでは約4％、目盛間隔0.1mmでは約2.4％であった。このことから、おおまかにみて、測定はほぼ正確に行えたとして良いだろう。

　では、この測定結果を平均自乗誤差を用いて詳しく表してみる。

平均値の自乗誤差をとすると



* 目盛0.05mmのとき

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1 | 694.4 | 46.3 | 2143.7 |
| 2 | 647.2 | -0.9 | 0.8 |
| 3 | 628.3 | -19.8 | 392.0 |
| 4 | 653.3 | 5.2 | 27.0 |
| 5 | 627.3 | -20.8 | 432.6 |
| 6 | 646.8 | -1.3 | 1.7 |
| 7 | 639.3 | -8.8 | 77.4 |
| 合計 | 4536.6 | -0.1 | 3075.4 |

式より

＝22.6*nm*

となり、測定値の波長は658.1±22.6nmである。

・目盛間隔0.1mmのとき

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1 | 625.6 | -32.5 | 1056.25 |
| 2 | 679.7 | 21.6 | 466.56 |
| 3 | 650.7 | -7.4 | 54.76 |
| 4 | 663.3 | 5.2 | 27.04 |
| 5 | 657.5 | -0.6 | 0.36 |
| 6 | 656.8 | -1.3 | 1.69 |
| 7 | 673.0 | 14.9 | 222.01 |
| 合計 | 658.1 | -0.1 | 1828.67 |

　式より

＝17.5*nm*

となり、測定値の波長は648.1±17.5nmである。

　誤差の要因には

* 1. 金尺に当たった光に伸びがあり、距離Lを計ることが困難であった。
  2. スクリーンに映し出された輝点の位置を正確に書き写せなかった。

といったことがあげられる。このように、この実験では細かな測定が多いことを考慮すると、測定はほぼ正確に行えたとして良いだろう。

・参考文献

「屈折率」共立出版

「波・光・熱」裳華房

「自然科学実験～物理学」慶應理工学部

「久世に訊け!!」

　　www.kuze.jp/page/h/h008.htm/