光

[1]目的

　レーザーを使った実験によって、光の偏光・反射・回折について学ぶ。また、ヘリウム・ネオンレーザーの波長を測定する。

[2]原理

2‐1．偏光

　　　一般的な光は多数の原子、分子から発せられる光波の集まりであり、各々の光波の振動方向は、まちまちである。しかし平均としては光の進行方向と垂直な平面においてあらゆる向きに均等に分布しているとみなしてよい。これに対して物体の面で反射した光などは振動方向が多少揃っている。これを偏光という。特に振動方向が一方に定まっている光を直線偏光と呼び、半導体レーザーはこれにあたる。特定方向に電場を持つ光の成分だけを透過する偏光板にレーザーを垂直に入射し、透過光の強度を測定することにより、透過率を求めることができる。

2‐2．反射

　　　光の反射において、入射面に対して垂直に振動する平面偏光をＳ波、それに対して入射面内で振動する平面偏光をＰ波という。この２波には反射角と反射率の関係に大きな違いと特徴がある。今回の実験では、レーザーのヘッドを回転させることによって、この偏光方向の違う光を作り出すことができる。

2‐3．回折

　　　金尺の目盛りがちょうど回折格子のスリットの役目をする。よって金尺に反射されたレーザーは干渉を起こし、同位相の点が輝点としてスクリーン上に現れる。また、使用するのはレーザー光なので、位相が揃っているため偏光板を使う必要がない。

[3]実験方法

3‐1．半導体レーザーの電池が2.5V以上あることを確認する。また、測光器の増幅器の電池が8V以上あることを確認する。

3‐2．偏光

⑴ 図１のような実験装置を組み立てる。

　　　　　　　　　　光　　　　　　　　　　　　　　光

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　電圧計

半導体レーザー 偏光板1 偏光板２ 検出器

図１

⑵ 偏光板１，２を回転させるためのつまみを、１，２ともに端に寄せて、偏光方向と透過容易軸に正確に平行になるようにする。そして、偏光板２の偏光角φ(φ＝０°,１０°,…,９０°) を変えて、それぞれのφについて透過光の強度を測定する。

3‐3．反射

　　⑴ 図２のような装置を組み立てる。

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　検出器

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　電圧計

　　　　　　　　　　θ

ガラス板

半導体レーザー

図２

　　⑵ レーザーの偏光方向が実験台の面に垂直（Ｓ波）な場合に、ガラス板を回転させることにより、入射角(＝反射角)θ(θ＝０°,１0°,…,９０°)を変えて、それぞれのθについて光の強度を測る。

　　⑶ 3‐3の⑵の作業をレーザーの偏光方向が実験台の面に平行（Ｐ波）な場合についても同様に行う。

3‐４．レーザーの波長

　　⑴ 図３のようにヘリウム・ネオンレーザーの光を金尺の目盛りのついた部分に、入射角が90°近くになるように当て、50cm以上先のスクリーンに輝点を映す。

スクリーン

ヘリウム・ネオンレーザー ℓ₁ ℓ₂

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　 ℓ₀

　　　　　　　　　　　　　　　　　　金尺　　　　　　　　　Ｌ

図３

　　⑵ 金尺の目盛りの間隔ｄが1.0㎜のほうにレーザーを当てる。金尺がないときに、レーザーの当たる点を原点として、一番明るい輝点の位置をℓ₀,それより外側の点を順次にℓ₁,ℓ₂,…とし、10個ほど測定する。反射点からスクリーンまでの距離Ｌも測定する。

　　⑶ 金尺の目盛りの間隔ｄが0.5㎜のほうにレーザーを当てた場合も3‐４の⑵と同様に測定する。

　　⑷ 金尺の目盛りの間隔ｄが1.0㎜と0.5㎜ではスクリーン上の輝点にどのような違いが出てくるか観察する。

　　⑸ 一番明るい点より内側にも点が現れるか観察する。

[4]結果

　4‐1．偏光

3‐2の⑵で測定した偏光角φと透過光の強度と透過率の関係を表にまとめる。また、参考のためにcos²φの値も付け加える。(表１)

* 透過率はφ＝０°のときの強度を１としたときの値である。

　4‐2．反射

3‐3の⑵，⑶で測定した反射角θと反射光の強度と反射率の関係を表にまとめる。(２，表３)

※ 反射率はθ＝９０°のときの強度を１としたときの値である。

　4‐3．レーザーの波長

⑴ 3‐４の⑵，⑶で測定した輝点の位置ℓm(m=1,2,…10)を表にまとめる。また、レーザーの波長を求める際に必要なℓm(ℓm－ℓ₀)の値も付け加える。 (表４，表５)

⑵ 金尺の目盛りの間隔ｄが1.0㎜のときのほうが0.5㎜のときより輝点の間隔は狭くなっていた。

⑶一番明るい点より内側には点は現れなかった。

表１　偏光角φと透過光の強度と透過率の関係(4‐1)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 偏光角φ[度] | 透過光の強度[V] | 透過率 | cos²φ |
| 0 | 1.18 | 1.00 | 1.00 |
| 10 | 1.17 | 0.99 | 0.97 |
| 20 | 1.09 | 0.92 | 0.88 |
| 30 | 0.96 | 0.81 | 0.75 |
| 40 | 0.76 | 0.64 | 0.59 |
| 50 | 0.57 | 0.48 | 0.41 |
| 60 | 0.36 | 0.31 | 0.25 |
| 70 | 0.21 | 0.18 | 0.12 |
| 80 | 0.076 | 0.064 | 0.030 |
| 90 | 0.013 | 0.011 | 0 |

表２　Ｓ波の反射角θと反射光の強度と反射率の関係　　表３　Ｐ波の反射角θと反射光の強度と反射率の関係

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 反射角θ[度] | 反射光の強度[V] | 反射率 |  | 反射角θ[度] | 反射光の強度[V] | 反射率 |
| 0 | ━━━━ | ━━ | 0 | ━━━━ | ━━ |
| 10 | ━━━━ | ━━ | 10 | ━━━━ | ━━ |
| 20 | ━━━━ | ━━ | 20 | ━━━━ | ━━ |
| 30 | 0.11 | 0.084 | 30 | 0.082 | 0.045 |
| 40 | 0.13 | 0.099 | 40 | 0.060 | 0.033 |
| 50 | 0.17 | 0.13 | 50 | 0.031 | 0.017 |
| 60 | 0.29 | 0.22 | 60 | 0.0072 | 0.0039 |
| 70 | 0.43 | 0.32 | 70 | 0.021 | 0.011 |
| 80 | 0.64 | 0.49 | 80 | 0.039 | 0.021 |
| 90 | 1.31 | 1.00 | 90 | 1.83 | 1.00 |

表４　輝点の位置ℓmとℓm(ℓm－ℓ₀)の値(d=1.0[10⁻²ｍ])　 表５　輝点の位置ℓmとℓm(ℓm－ℓ₀)の値(d=0.5[10⁻²ｍ])

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| m | ℓm［10⁻²ｍ］ | ℓm(ℓm－ℓ₀)［10⁻⁴ｍ²］ |  | m | ℓm［10⁻²ｍ］ | ℓm(ℓm－ℓ₀) ［10⁻⁴ｍ²］ |
| 0 | 5.0 | ━━━ | 0 | 7.0 | ━━━ |
| 1 | 6.7 | 11.4 | 1 | 8.9 | 16.9 |
| 2 | 7.5 | 18.8 | 2 | 10.2 | 32.6 |
| 3 | 8.1 | 25.1 | 3 | 11.35 | 49.4 |
| 4 | 8.65 | 31.6 | 4 | 12.3 | 65.2 |
| 5 | 9.25 | 39.3 | 5 | 13.1 | 79.9 |
| 6 | 9.7 | 45.6 | 6 | 13.9 | 95.9 |
| 7 | 10.2 | 53.0 | 7 | 14.7 | 113.2 |
| 8 | 10.6 | 59.4 | 8 | 15.3 | 126.0 |
| 9 | 11.0 | 66.0 | 9 | 16.05 | 145.3 |
| 10 | 11.4 | 73.0 | 10 | 16.75 | 163.3 |

（Ｌ＝67.4×10⁻²ｍ）　　　　　　　　　　　　（Ｌ＝74.8×10⁻²ｍ）

4－4．3‐2の⑵で測定した偏光角φと透過率の関係をグラフにまとめる。また、参考のために　　　cos²φのグラフも付け加える。(図４)

4－5．3‐3の⑵，⑶で測定した反射角θと反射率の関係を表にまとめる。(図５，図６)

4－6．表4，5を参考にして、ｍとℓm(ℓm－ℓ₀)の値の関係を２つのｄそれぞれの場合についてグラフにまとめる。（図７，図８）

4‐7．図７，図８の各グラフの傾きを求める。

　　　d=1.0×10⁻³ｍのグラフの傾きは 7.0×10⁻⁴ｍ

d=0.5×10⁻³ｍのグラフの傾きは 16×10⁻⁴ｍ

4‐8．グラフの傾きからヘリウム・ネオンレーザーの波長を求める。

　　　実験書の通り、波長は



これを変形すると



　　　となり、はｍとℓm(ℓm－ℓ₀)の値の関係のグラフの傾きaであることがわかる。

をさらに変形すると、となり、波長が求まる。

　　 d=1.0×10⁻³ｍのグラフの傾きからレーザーの波長を求めると770×10⁻⁹ｍ

　　 d=0.5×10⁻³ｍのグラフの傾きからレーザーの波長を求めると710×10⁻⁹ｍ

[5]考察

5－1．なぜcos²φが偏光角φと透過率の関係のグラフの理論値となるのか

光は波動性を持っているので、光の強度は光という波のエネルギーとして考えることができる。いま、このエネルギーをI，光の振動の振幅をEとすると、

 （ｋは定数）

という関係が成り立つことが知られている。これより



が成り立つ。

 以上より透過容易軸に平行な方向をeとすると偏光角φのときの光の強度は

となり、φ＝０°のときの光の強度をI₀とすると光の透過率は

 となる。

図３の偏光角φと透過率の関係のグラフはほぼこのようなグラフであり、cos²φが理論値

となることが確認できた。

5－2．反射率とブリュースター角について

直線偏光が２種類の透明媒質の接する境界面に入射すると、普通の反射および屈折の法則にしたがって反射光と屈折光にわかれる。しかし反射光と屈折光の強度は入射角のみでなく、光波の振動面と入射面との間の角度にも関係する。この角度が０°なら屈折光の強度は最大、反射光の強度は最小となる。 また、この角度が９０°なら屈折光の強度が最小、反射光の強度は最大になる。

さらに、入射光の振動面が入射光と平行の場合（P波）は、入射角がある一定値になると反射光の強度が０になる。この場合は、入射光はすべて屈折光になる。このときの角度をブリュースター角といい、この角度θpは、二つの媒質の屈折率ｎ₁およびｎ₂により、次のように表される。



この法則をブリュースターの法則という。

今回の実験では、レーザーをガラス板に反射させたので、ガラスの屈折率約1.4585を用いてブリュースター角を算出すると、約５６°になり、実験値に近い値となった。