

Ćwiczenie 21: Światłowody – polaryzacja światła

Zagadnienia obowiązujące na kolokwium wejściowym

1. Co to jest polaryzacja światła, jakie są rodzaje polaryzacji światła?
2. W jaki sposób ze światła niespolaryzowanego można uzyskać światło spolaryzowane (polaryzatory, polaryzacja przez odbicie, prawo Brewstera)?
3. Prawo Malusa (inaczej zwane regułą kwadratu cosinusa).
4. Dwójtomność optyczna.
5. Płytki falowe (falówki): półfalówka, ćwierćfalówka, jak działają, w jaki sposób modyfikują światło spolaryzowane liniowo i kołowo?
6. Sfera Poincare, co opisuje i w jaki sposób można zobrazować za jej pomocą działanie optycznych elementów polaryzacyjnych?
7. Polaryzacja światła propagującego się w światłowodach, kontrola polaryzacji światła w światłowodach, światłowody dwójtomne (utrzymujące polaryzację).

Wykonanie zadania

1. Kolimacja wiązki światła wychodzącego ze światłowodu.
 - Elementy potrzebne do wykonania zadania:
 - dioda laserowa emitująca światło o długości fali 660nm z wyjściem światłowodowym (światłowód jednomodowy, złącze typu FC/PC), złączka światłowodowa FC/PC,
 - światłowodowy kontroler polaryzacji ze światłowodem jednomodowym dla długości fali 660nm, ze złączami FC/PC,
 - adapter światłowodowy FC/PC zamontowany w uchwycie z przesuwem poprzecznym,
 - soczewka $f=19\text{mm}$ zamontowana w uchwycie z przesuwem osiowym,
 - kamera do analizy rozkładu natężenia światła w wiązce.
 - Połączyć światłowód z diody laserowej ze światłowodem kontrolera polaryzacji. Pamiętać o wyczyszczeniu czół światłowodów i sprawdzeniu ich stanu za pomocą mikroskopu do inspekcji złączy światłowodowych. Wpiąć światłowód z kontrolera polaryzacji do adaptera światłowodowego układu kolimacji wiązki światła i ustawić wzajemną odległość czoła światłowodu i soczewki tak, aby uzyskać skolimowaną wiązkę światła. Oszacować jaka powinna być średnica plamki światła skolimowanej wiązki posługując się wzorem:

$$D_G = \frac{4\lambda f}{\pi d_s} \quad (1)$$

gdzie:

$\lambda = 660\text{nm}$ – długość fali światła emitowanego przez diodę,

$f = 19\text{ mm}$ – ogniskowa soczewki kolimującej,

$d_s = 4\text{ }\mu\text{m}$ – pole modu światłowodu.

2. Badanie stanu polaryzacji światła wychodzącego ze światłowodów.
 - Elementy potrzebne do wykonania zadania:
 - dioda laserowa emitująca światło o długości fali 660nm z wyjściem światłowodowym (światłowód jednomodowy, złącze typu FC/PC), złączka światłowodowa FC/PC,
 - światłowodowy kontroler polaryzacji ze światłowodem jednomodowym dla długości fali 660nm, ze złączami FC/PC,
 - adapter światłowodowy FC/PC zamontowany w uchwycie z przesuwem poprzecznym,

- soczewka $f=19\text{mm}$ zamontowana w uchwycie z przesuwem osiowym,
 - dwa polaryzatory, jedna ćwierćfalówka,
 - fotodetektor krzemowy.
- W wiązkę skolimowanego światła wstawić polaryzator oraz fotodiodę do rejestracji światła. Poruszając i zginając światłowód (upewnić się, że nie są poruszane złącza światłowodowe) obserwować napięcie prądu wskazywane przez miernik. Obserwacje zanotować w zeszycie laboratoryjnym.
 - Zmierzyć i zapisać w zeszycie laboratoryjnym wartość napięcia wskazywanego przez miernik przy zablokowanej wiązce światła („napięcie dla tła”). Nie poruszając światłowodem zbadać stan polaryzacji światła. Wykorzystać do tego celu algorytm z załącznika 1 (uwzględnić „napięcie dla tła”). Opisać poszczególne kroki i ich wyniki w zeszycie laboratoryjnym.
3. Światłowodowy kontroler polaryzacji.
- Za pomocą kontrolera polaryzacji spróbować uzyskać polaryzację liniową światła wychodzącego ze światłowodu. Uwzględnić „napięcie dla tła”. Opisać w zeszycie laboratoryjnym wykonane czynności.
4. Badanie prawa Malusa.
- Elementy potrzebne do wykonania zadania:
 - dioda laserowa emitująca światło o długości fali 660nm z wyjściem światłowodowym (światłowód jednomodowy, złącze typu FC/PC), złączka światłowodowa FC/PC,
 - światłowodowy kontroler polaryzacji ze światłowodem jednomodowym dla długości fali 660nm , ze złączami FC/PC,
 - adapter światłowodowy FC/PC zamontowany w uchwycie z przesuwem poprzecznym,
 - soczewka $f=19\text{mm}$ zamontowana w uchwycie z przesuwem osiowym,
 - dwa polaryzatory,
 - fotodetektor krzemowy.
 - Za wyjściem światłowodu ustawić dwa polaryzatory i detektor światła.
 - Polaryzator pierwszy ustawić w dowolnej pozycji kątowej.
 - Obracać drugim polaryzatorem do momentu uzyskania maksymalnej wartości napięcia na detektorze.
 - Zapisać w zeszycie laboratoryjnym kąt obrotu polaryzatora, dla którego uzyskano maksymalne napięcie.
 - Zablokować wiązkę światła i zanotować „napięcie dla tła”.
 - Obracać drugi polaryzator o 10° w zakresie 180° . Notować w zeszycie laboratoryjnym kolejne kąty obrotu i odpowiadające im napięcia odczytywane z detektora.
5. Światłowód utrzymujący polaryzację.
- Elementy potrzebne do wykonania zadania:
 - dioda laserowa emitująca światło o długości fali 660nm z wyjściem światłowodowym (światłowód jednomodowy, złącze typu FC/PC),
 - światłowód utrzymujący polaryzację,
 - układ wyprowadzania światła z- i wprowadzania do światłowodu,
 - dwa polaryzatory,
 - układ kolimacji wiązki światła zbudowany w punkcie 1,
 - fotodetektor krzemowy.
 - Za pomocą mikroskopu do inspekcji złączy światłowodowych zaobserwować i zarejestrować wygląd czoła światłowodu utrzymującego polaryzację.
 - Zaobserwować wpływ światłowodu utrzymującego polaryzację na polaryzację światła.
 - Przy wyłączonej diodzie laserowej, z pomocą opiekuna zadania, w układzie wprowadzania światła ze światłowodu ustawić polaryzator 1.

- Światłowód diody laserowej połączyć ze światłowodem jednomodowym (żółty). Pamiętać o wyczyszczeniu złączy przed ich połączeniem.
- Przyłączyć światłowód utrzymujący polaryzację do detektora światła.
- Włączyć diodę laserową.
- Z pomocą opiekuna, poprzez justowanie układu wprowadzenia światła do światłowodu zmaksymalizować ilość światła wychodzącego ze światłowodu.
- Przyłączyć światłowód utrzymujący polaryzację do kolimatora i skolimować wiązkę światła.
- W skolimowaną wiązkę światła wstawić drugi polaryzator i ustawić w takiej pozycji kątowej aby zmaksymalizować napięcie wskazywane przez detektor. Zapisać położenie kątowe polaryzatora i wartość napięcia pokazywaną przez detektor. Zablokować wiązkę światła i spisać „napięcie dla tła”. Odblokować wiązkę światła i obrócić polaryzator o kąt 90° . Zapisać wartość napięcia pokazywaną przez detektor.
- Obrócić polaryzator z powrotem do pozycji, przy której uzyskuje się maksymalne natężenie światła. Bez poruszania złączami światłowodowymi poruszać i zginać światłowód utrzymujący polaryzację jednocześnie obserwując wskazania detektora światła. Obserwacje zapisać w zeszycie laboratoryjnym.
- Z pomocą opiekuna zadania obrócić polaryzator w układzie wyprowadzenia światła ze światłowodu o dowolny kąt 90° .
- Wyjąć drugi polaryzator z układu detekcji światła i z pomocą opiekuna zadania zmaksymalizować natężenie światła wprowadzanego do światłowodu poprzez justowanie układem wprowadzenia światła do światłowodu.
- Wstawić z powrotem polaryzator 2 w skolimowaną wiązkę światła i obracając nim znaleźć pozycję w której uzyskuje się maksymalny odczyt napięcia na detektorze. W zeszycie laboratoryjnym zapisać wartość kąta dla którego uzyskano maksimum natężenia światła.

Przygotowanie sprawozdania

1. Kolimacja wiązki światła wychodzącego ze światłowodu.
 - a. Przedstawić zarejestrowany kamerą rozkład natężenia światła w przekroju skolimowanej wiązki i podać uzyskaną z pomiaru średnicę plamki (przytoczyć odpowiednie wartości z zarejestrowanych danych).
 - b. Wyliczyć średnicę plamki ze wzoru na wiązkę gaussowską (wzór 1).
2. Badanie stanu polaryzacji światła wychodzącego ze światłowodu
 - a. Opisać w jaki sposób poruszanie światłowodem i jego zginanie wpływa na natężenie światła rejestrowanego za polaryzatorem. Wyjaśnić skąd biorą się te zmiany natężenia światła.
 - b. Opisać procedurę i wyniki badania stanu polaryzacji światła w światłowodzie.
3. Światłowodowy kontroler polaryzacji.
 - a. Wyjaśnić na czym polega działanie światłowodowego kontrolera polaryzacji.
 - b. Opisać procedurę i wynik próby uzyskania światła spolaryzowanego liniowo.
4. Badanie prawa Malusa.
 - a. We wprowadzeniu przytoczyć i wyjaśnić prawo Malusa
 - b. Przedstawić wyniki pomiaru w postaci wykresu napięcia od położenia kątowego drugiego polaryzatora.
 - c. Czy uzyskany wykres jest zgodny z prawem Malusa?
5. Światłowód utrzymujący polaryzację światła.

- a. Zamieścić obraz czola światłowodu uzyskany z mikroskopu do inspekcji złączy światłowodowych. Opisać widoczne na obrazie elementy. Wyjaśnić jaką te elementy pełnią rolę w światłowodzie.
- b. Przedstawić wynik badania polaryzacji światła na wyjściu ze światłowodu utrzymującego polaryzację (podać wartości kątów i wartości zmierzonych napięć) dla dwóch położeń polaryzatora pierwszego (tj. tego, w układzie wyprowadzenia światła ze światłowodu). We wnioskach odpowiedzieć na pytania, czy światło wychodzące ze światłowodu jest spolaryzowane liniowo? czy o obrocie polaryzatora pierwszego o 90° polaryzator w systemie detekcji też trzeba było obrócić o kąt 90° aby uzyskać maksymalne natężenie światła? O czym to świadczy.
- c. Opisać wynik eksperymentu polegającego na poruszaniu i zginaniu światłowodu utrzymującego polaryzację. We wnioskach porównać wynik tego eksperymentu z podobnym eksperymentem przeprowadzonym dla światłowodu jednomodowego. Odpowiedzieć na pytanie, czy zginanie światłowodu utrzymującego polaryzację ma istotny wpływ na stan polaryzacji światła na wyjściu z tego światłowodu?

Literatura

1. David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, „Podstawy fizyki, tom 4”, PWN, Warszawa 2018.
2. Jurgen R. Meyer-Arendt, „Wstęp do optyki”, PWN, Warszawa 1979.
3. Florian Ratajczyk, „Optyka ośrodków anizotropowych”, PWN, Warszawa, 1994.
4. Eugene Hecht, „Optyka”, PWN, 2019.
5. Bernard Ziętek. *Optoelektronika*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2004.
6. Adam Smoliński, „Optoelektronika światłowodowa”, Wydawnictwa Telekomunikacji i Łączności, Warszawa 1985.
7. <http://mk.swiatlowody.prv.pl/metody3.htm>

Algorytm badania stanu polaryzacji światła

(F. Ratajczyk, *Dwójfomność i polaryzacja optyczna*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2000, str. 250)

T – tak

N – nie

