

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **238736**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **418842**

(22) Data zgłoszenia: **23.09.2016**

(51) Int.Cl.

G02C 7/10 (2006.01)

B32B 15/04 (2006.01)

B32B 33/00 (2006.01)

B32B 7/02 (2006.01)

(54) **Aktywny filtr optyczny o zmiennej charakterystyce transmisji w zakresie widzialnym do blokowania promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni pochodzącego ze źródeł technologicznych, przeznaczony do ochrony oczu**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

26.03.2018 BUP 07/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

27.09.2021 WUP 26/21

(73) Uprawniony z patentu:

**CENTRALNY INSTYTUT OCHRONY PRACY
– PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY,
Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**GRZEGORZ OWCZAREK, Łódź, PL
GRZEGORZ GRALEWICZ, Dąbrowa, PL
JANUSZ KUBRAK, Piastów, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzec. pat. Joanna Bocheńska

PL 238736 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest aktywny filtr optyczny (AFO) o zmiennej charakterystyce transmisji w zakresie widzialnym do blokowania promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni pochodzącego ze źródeł technologicznych, przeznaczony do ochrony oczu na stanowiskach zagrożonych niebezpiecznym promieniowaniem podczerwonym.

W dalszej części opisu wykorzystywane będą skróty oznaczające:

AFO – Aktywny Filtr Optyczny


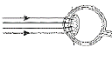

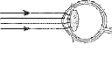
EB – Element Blokujący promieniowanie podczerwone

EP – Element Polaryzacyjny do zmiany charakterystyki transmisji w zakresie widzialnym

Narażenie na promieniowanie podczerwone występuje głównie na gorących stanowiskach pracy [1]. Pojęcie gorące stanowiska pracy dotyczy przede wszystkim przemysłu hutniczego i odlewniczego, gdzie termicznymi źródłami promieniowania są: płynna stal, żeliwo, metale żelazne i nieżelazne, żużel, masa szklana oraz rozgrzane do wysokiej temperatury ściany pieca, kadzi, wanien szklarskich, itp. Stanowiska takie występują również w pozostałych gałęziach przemysłu, gdzie źródłami są rozgrzane do wysokich temperatur elementy i ściany różnego rodzaju pieców (np. hartowniczych). Tego rodzaju źródła promieniowania nazywa się źródłami technologicznymi. Największe zagrożenie dla siatkówki oka stanowi promieniowanie z zakresu od 400 do 1400 nm. Promieniowanie to wnika do oka.

Nadmierna ekspozycja oka na promieniowanie optyczne (niezależnie od zakresu tego promieniowania) może być powodem efektów szkodliwych, które zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie efektów towarzyszących nadmiernej ekspozycji oka na promieniowanie optyczne

| Zakres widmowy wg CIE | Efekty szkodliwe towarzyszące nadmiernej ekspozycji oka na promieniowanie optyczne | Głębokość wnikania promieniowania optycznego do oka |
|---------------------------------------|--|---|
| Nadfiolet C (od 180nm do 280nm) | Zapalne uszkodzenie rogówki |  |
| Nadfiolet B (od 280nm do 315nm) | | |
| Nadfiolet A (od 315nm do 400nm) | Zaćma |  |
| Widzialny (od 400nm do 780nm) | Fotocemiczne i termiczne uszkodzenie siatkówki |  |
| Podczerwień A (od 780nm do 1400nm) | Zaćma, oparzenie siatkówki | |
| Podczerwień B (od 1,4µm do 3,0µm) | Przymglenie rogówki, zaćma, oparzenie rogówki |  |
| Podczerwień C (od 3,0µm do 1,0mm) | Oparzenie rogówki |  |

Według danych GUS [4] na 1000 osób zatrudnionych w przemyśle w warunkach zagrożenia promieniowaniem podczerwonym pracuje jedna osoba. Przy przeciętnym zatrudnieniu w przemyśle w 2014 r. wynoszącym około 2,5 mln osób, liczbę narażonych w Polsce na promieniowanie podczerwone szacuje się na 2500 osób.

Badania zmierzające do opracowania filtru ochronnego pozwalającego na zmianę przepuszczania w zależności od natężenia promieniowania widzialnego łączą w sobie aspekty związane z oceną zagrożenia promieniowaniem optycznym na gorących stanowiskach pracy z aspektami odnoszącymi się do aktualnie obowiązujących wymagań dla filtrów chroniących przed podczerwienią.

Wyniki pomiarów wartości skutecznej luminancji energetycznej technologicznych źródeł promieniowania podczerwonego wskazują na brak lub stosunkowo niewielkie zagrożenia termiczne i fotochemiczne siatkówki oka. W monografii A. Wolskiej [5] zestawiono wiele przykładów i wyników pomiarów świadczących o tym, że wartości skutecznej luminancji energetycznej z zakresu IRA (promieniowanie podczerwone (780–1400) nm) są znacząco większe niż wartości skutecznej luminancji energetycznej z zakresu VIS (promieniowanie widzialne). Udział skutecznej luminancji energetycznej z zakresu VIS do całego zakresu VIS i IRA wynosi maksymalnie 0,1% [6]. Świadczy to o tym, że promieniowanie widzialne emitowane na gorących stanowiskach pracy ma bardzo duży udział w całym zakresie luminancji energetycznej źródła, brany pod uwagę w ocenie zagrożenia. Wyniki pomiarów skutecznej luminancji energetycznej mają jednoznaczne przełożenie na odczucia pracowników obsługujących wybrane stanowiska pracy. Pracownicy skarżą się na brak komfortu obserwacji podczas stosowania zbyt ciemnych filtrów chroniących przed podczerwienią. Wynika to z tego, że filtry przeznaczone do ochrony przed podczerwienią są tak wykonane, aby przy określonym poziomie tłumienia promieniowania podczerwonego, promieniowanie widzialne było również tłumione do określonego poziomu. Wymagania, jakie stawiane są wszystkim filtrom służącym do zabezpieczenia wzroku przed promieniowaniem podczerwonym określają więc bardzo precyzyjnie zalecenia, co do wymaganych współczynników przepuszczania promieniowania w zakresie widzialnym i podczerwieni. Podstawowym doborem filtru jest średnia temperatura źródła. Najjaśniejsze filtry (oznaczenie 4-1,2) są przeznaczone do źródeł o temperaturze 1050°C. Najciemniejsze (oznaczenie 4-10) do źródeł o temperaturze 2220°C [7].

Opracowanie filtru ochronnego o zmiennej charakterystyce przepuszczania transmisji w zakresie widzialnym, który będzie jednocześnie spełniał wymagania stawiane filtrom zabezpieczającym oczy przed promieniowaniem z zakresu bliskiej podczerwieni ma więc bezpośrednie przełożenie na poprawę bezpieczeństwa i komfortu osób obsługujących gorące stanowiska pracy.

Znane są filtry fotochromowe z grupy filtrów aktywnych, które chronią przed olśnieniem słonecznym. W przypadku filtrów fotochromowych stopień w jakim promieniowanie optyczne przechodzi przez filtr regulowane jest w wyniku zmian natężenia promieniowania optycznego z zakresu nadfioletu.

Znane są ciekłokrystaliczne, automatyczne filtry spawalnicze. Dla tych filtrów zaciemnienie może być zainicjowane również poprzez promieniowanie podczerwone lub skokową zmianę natężenia światła (poprzez zainicjowanie łuku spawalniczego).

Ponadto znane są również rozwiązania wykorzystujące zastosowanie barwników fotochromowych do konstrukcji automatycznych filtrów spawalniczych.

Współczesne technologie wytwarzania optycznych filtrów ochronnych umożliwiają konstrukcje tzw. filtrów aktywnych, dla których zmienia się charakterystyka widmowa, czyli zależność transmisji promieniowania od długości fali. Prace nad aktywnymi filtrami optycznymi, działającymi na zasadzie innej niż efekt fotochromowy, prowadzone są od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Inspiracją do badań w tym zakresie były m.in. zjawiska związane z oddziaływaniem promieniowania laserowego z materią [8]. Pod pojęciem aktywne filtry optyczne należy również szeroką gamę układów stosowanych m.in. w półprzewodnikowych wzmacniaczach optycznych.

Do grupy filtrów aktywnych – mających zastosowanie w optyce okularowej – aktualnie zaliczamy filtry fotochromowe, chroniące przed olśnieniem słonecznym oraz ciekłokrystaliczne, automatyczne filtry spawalnicze. Prowadzone są również prace nad zastosowaniem barwników fotochromowych do konstrukcji automatycznych filtrów spawalniczych. W przypadku filtrów fotochromowych stopień, w jakim promieniowanie optyczne przechodzi przez filtr, regulowany jest w wyniku zmian natężenia promieniowania optycznego. Dla spawalniczych filtrów ciekłokrystalicznych zaciemnienie może być zainicjowane również poprzez promieniowanie podczerwone lub skokową zmianę natężenia światła (poprzez zainicjowanie łuku spawalniczego).

Aktualnie pojawiają się również doniesienia o zastosowaniu technologii ciekłokrystalicznej także do okularów przeciwsłonecznych. Okulary tego typu wyposażone są w zasilane akumulatorami ekrany

LCD oraz miniaturową kamerę analizującą obraz otoczenia i wykrywania obszarów (na ekranie) wymagających lokalnego zaciemnienia [10]. Konstrukcja aktywnych przeciwsłonecznych okularów ciekłokrystalicznych wykorzystuje rozwiązania stosowane w okularach migawkowych przeznaczonych do oglądania obrazów 3D. Rozwiązana te są ciągle w fazie prototypów, a ich konstrukcja z uwagi na możliwość zainicjowania zaciemnienia jedynie na niewielkim obszarze (około 40 mm²) nie pozwala na zastosowanie w konstrukcji okularów ochronnych. Przewiduje się, że zastosowanie technologii LCD w układach filtracji promieniowania optycznego może mieć w przyszłości zastosowanie również w sektorze medycznym (dla osób chorych na jaskrę i światłowstręt) oraz wojskowym (np. dla pilotów).

W katalogach materiałów optycznych [11] brak jest elementów, które w wystarczający sposób – bez przeprowadzonej modyfikacji charakterystyki widmowej – tłumią promieniowanie podczerwone w ilości wystarczającej do zastosowania w konstrukcji AFO. Dla filtrów z katalogu *Schott* filtrem odcinającym podczerwień jest filtr KG3. Dla tego typu filtru charakterystyka widmowa na granicy zakresów promieniowania widzialnego i podczerwonego nie jest jednak wystarczająco stroma, a co za tym idzie przepuszczanie promieniowania podczerwonego w zakresie od 780 do 1400 nm jest relatywnie wysokie.

Bardzo podobnie jest z elementami wykonanymi z materiałów organicznych. Szukając materiałów które mogłyby mieć potencjalne zastosowanie w konstrukcji AFO przebadano szereg materiałów, które są przeznaczone do ochrony przed promieniowaniem cieplnym.

Z uwagi na zbyt duże tłumienie promieniowania w zakresie widzialnym żaden z badanych filtrów nie może być wykorzystany do konstrukcji EB w AFO. Wynika to głównie z tego, że materiały optyczne projektowane do zastosowania w budownictwie lub przemyśle samochodowym muszą zapewnić odbicie promieniowania podczerwonego emitowanego wyłącznie przez Słońce [13]. Dla potrzeb budownictwa zdefiniowano szereg parametrów pozwalających na określenie właściwości blokowania promieniowania słonecznego (w tym w zakresie podczerwieni) [14]. Właściwości te mogą służyć jako podstawa obliczeń dotyczących oświetlenia, ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń i pozwalają porównywać różne typy oszkleń. Brak jest jednak ścisłych wymagań odnoszących się do przepuszczania promieniowania podczerwonego dla materiałów stosowanych w budownictwie. Wymagania takie są stawiane szybom samochodowym. Zdefiniowany dla tego rodzaju szyb współczynnik przepuszczania promieniowania termicznego (T_E), w zależności od rodzaju szyby, powinien być na poziomie mniejszym niż 15% [15].

W CIOP-PIB (Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy) podejmowano wcześniej badania, których celem było wytworzenie filtrów chroniących oczy przed promieniowaniem podczerwonym, które w znacznym stopniu tłumią promieniowanie podczerwone dla całego zakresu bliskiej podczerwieni (w wymaganym przez normy zakresie od 780 do 2000 nm) [16]. Opracowano i wykonano interferencyjne filtry ochronne na podłożach szklanym i poliwęglanowym oznaczeniach: 4-3, 4-5, 4-7. Oznaczenie 4-3 było najniższe (najjaśniejszy filtr), które otrzymano podczas realizacji tych prac. W opracowanej konstrukcji zastosowano materiały dielektryczne o wysokim i niskim współczynniku załamania i warstwy metaliczne z aluminium (Al). Właściwości transmisyjne wytworzonych filtrów porównano z dostępnymi obecnie na rynku filtrami z pojedynczą warstwą miedzi (Cu). Filtry interferencyjne zachowują podobny poziom przepuszczania w paśmie widzialnym, jak filtry z pojedynczą warstwą metaliczną miedzi (Cu) [17]. Należy zaznaczyć, że filtry interferencyjne mają charakterystykę bardziej stromą i głębszą w zakresie blokowania promieniowania podczerwonego niż filtry z pojedynczą warstwą miedzi. Wniosek ten wykorzystano w badaniach nad opracowaniem blokera pasywnego.

Zgodnie z tym wykresem maksymalna wartość współczynnika przepuszczania światła wynosi około 15% a na granicy zakresów promieniowania widzialnego i podczerwonego wartość widmowego współczynnika przepuszczania światła wynosi około 0,05%.

Z uwagi na zbyt duże tłumienie promieniowania w zakresie widzialnym tak wytworzone filtry interferencyjne nie mogą być również wykorzystane do konstrukcji EB przeznaczonego do zastosowania w konstrukcji AFO. Przy zakładanej zmianie przepuszczania promieniowania widzialnego od około 50% do około 1% oznaczenie modelu optycznego filtru ochronnego będzie się zmieniać od 4-1,7 do 4,6, co zobrazowano na wykresach przedstawionych na rysunku Fig. 6. Przy zakładanej zmianie przepuszczania promieniowania widzialnego od około 50% do około 1% oznaczenie filtra zmieniać się będzie od 4-1,7 do 4,6.

Celem wynalazku jest zmniejszenie tłumienia promieniowania w zakresie widzialnym przez filtry interferencyjne z zachowaniem lub zwiększeniem tłumienia w zakresie promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni do zastosowania w konstrukcji AFO aktywnego filtru optycznego o zmiennej charakterystyce transmisji w zakresie widzialnym.

Przedmiotem wynalazku jest aktywny filtr optyczny (**AFO**) o zmiennej charakterystyce transmisji w zakresie widzialnym, do blokowania promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni pochodzącego ze źródeł technologicznych, dla którego charakterystyka transmisji w zakresie widzialnym i/lub podczerwonym może się zmieniać podczas użytkowania, co wymaga skorelowania właściwości tłumienia promieniowania dla EP i EB. Korelacja ta polega na dostosowaniu określonego (wymaganego na danym stanowisku) poziomu tłumienia promieniowania podczerwonego do poziomu przepuszczania promieniowania widzialnego pozwalającego na komfortową obserwację nadzorowanych procesów technologicznych, obserwowanego przedmiotu lub stanowiska pracy. Korelacja ta polega na wyznaczeniu współczynnika przepuszczania światła (T_{V2}) oraz maksymalnych widmowych współczynników przepuszczania promieniowania podczerwonego (T_{A2} i T_{N2}) dla EB przy znanych (zmierzonych) wartościach przepuszczania światła (T_{V1}) oraz założonych wartościach tych współczynników (T_V , T_A , T_N) dla całego modelu AFO. Sposób, w jaki należy dokonać korelacji pomiędzy transmisją promieniowania widzialnego i podczerwieni w zależności od oznaczenia tak, aby filtr mógł spełniać rolę blokera pasywnego wyjaśniono na schemacie przedstawionym na rysunku Fig. 8.

Wartości widmowych współczynników przepuszczania dla obu elementów optycznych filtru (EB i EP) dla zakresu widzialnego oraz zakresu podczerwieni wyznaczone są zgodnie ze wzorami:

$$\frac{Q_{1vis}(\lambda)}{Q_{0vis}(\lambda)} = \tau_{vis}(\lambda), \quad \text{dla } \lambda \text{ od } 380 \text{ do } 780 \text{ nm, po przejściu promieniowania przez EB,}$$

(6)

$$\frac{Q_{1IR}}{Q_{0IR}} = \tau_{IR}(\lambda), \quad \text{dla } \lambda \text{ od } 780 \text{ do } 2000 \text{ nm, po przejściu promieniowania przez EP,}$$

(7)

$$\frac{Q_{2vis}(\lambda)}{Q_{1vis}(\lambda)} = \tau_{vis}(\lambda), \quad \text{dla } \lambda \text{ od } 380 \text{ do } 780 \text{ nm, po przejściu promieniowania przez EB,}$$

(8)

$$\frac{Q_{2IR}}{Q_{1IR}} = \tau_{IR}(\lambda), \quad \text{dla } \lambda \text{ od } 780 \text{ do } 2000 \text{ nm, po przejściu promieniowania przez EB,}$$

(9)

$$\frac{Q_{2vis}(\lambda)}{Q_{0vis}(\lambda)} = \tau_{vis}(\lambda), \quad \text{dla } \lambda \text{ od } 380 \text{ do } 780 \text{ nm, po przejściu promieniowania przez AFO,}$$

(10)

$$\frac{Q_{2IR}}{Q_{0IR}} = \tau_{IR}(\lambda), \quad \text{dla } \lambda \text{ od } 780 \text{ do } 2000 \text{ nm, po przejściu promieniowania przez AFO,}$$

(11)

AFO, gdzie:

Q_{0vis} – promieniowanie widzialne padające na AFO,
 $Q_{0/R}$ – promieniowanie podczerwone padające AFO,
 Q_{1vis} – promieniowanie widzialne przechodzące przez EB,
 $Q_{1/R}$ – promieniowanie podczerwone przechodzące przez EP,
 Q_{2vis} – promieniowanie widzialne przechodzące przez EB,
 $Q_{2/R}$ – promieniowanie podczerwone przechodzące przez EB.

We wzorach od (6) do (11) założono, że promieniowanie odbite od wewnętrznej powierzchni EB i odbite ponownie od powierzchni EP jest zaniedbywalnie małe co pokazano na rysunku Fig. 9. Promieniowanie odbite od wewnętrznej powierzchni EB i odbite ponownie od powierzchni EP jest zaniedbywalnie małe.

Korzystając z wzorów od (6) do (11) oraz z definicji współczynnika przepuszczania światła (T_v) i maksymalnych widmowych współczynników przepuszczania promieniowania podczerwonego (T_A i T_N) można wyznaczyć, jakimi współczynnikami określającymi przepuszczanie w zakresie widzialnym i podczerwieni (T_{v2} , T_{A2} , T_{N2}) powinien charakteryzować się EB przy założonych wartościach tych współczynników (T_v , T_A , T_N) dla całego AFO, oraz zmierzonych wartościach tych współczynników dla EP (T_{v1} , T_{A1} , T_{N1}). Wartości te wyznaczane są ze wzorów:

$$\tau_{v2} = \frac{\tau_v}{\tau_{v1}}, \quad (12)$$

$$\tau_{A2} = \frac{\tau_A}{\tau_{A1}}, \quad (13)$$

$$\tau_{N2} = \frac{\tau_N}{\tau_{N1}}. \quad (14)$$

Konstrukcja (**AFO**) aktywnego filtra optycznego o zmiennej charakterystyce transmisji w zakresie widzialnym, przeznaczonego do zastosowania w środkach ochrony oczu na stanowiskach zagrożonych promieniowaniem podczerwonym, według wynalazku oparta jest na połączeniu podstawowych elementów optycznych, określanych jako:

EB – Element Blokujący promieniowanie podczerwone

oraz

EP – Element Polaryzacyjny do zmiany charakterystyki transmisji w zakresie widzialnym.

W konstrukcji AFO elementy EB i EP są ze sobą połączone. EP umożliwia sterowanie ilością przechodzącego przez niego promieniowania widzialnego. Nie zapewnia on jednak blokady szkodliwego promieniowania podczerwonego. Zadaniem EB jest blokowanie promieniowania z zakresu podczerwieni z zakresu bliskiej podczerwieni przy zachowaniu możliwie wysokiego przepuszczania promieniowania widzialnego. Zasadę tę przedstawiono schematycznie na rysunku Fig. 9, gdzie Q_{0vis} – promieniowanie widzialne padające na filtr, $Q_{0/R}$ – promieniowanie podczerwone padające na filtr, Q_{1vis} – promieniowanie widzialne przechodzące przez EP, $Q_{1/R}$ – promieniowanie podczerwone przechodzące przez EP, Q_{2vis} – promieniowanie widzialne przechodzące przez EB, $Q_{2/R}$ – promieniowanie podczerwone przechodzące przez EB.

Konstrukcja EP oparta jest na układzie wykorzystującym efekt polaryzacji światła z układem do regulacji (elektronicznej i/lub manualnej) transmisji promieniowania z zakresu widzialnego w postaci dwóch elementów polaryzacyjnych, po jednym dla każdego oka, składających się z dwóch polaryzatorów obracających się względem siebie w jednej osi, umieszczonych w elemencie obrotowym, pozwalającym na obrót polaryzatorów względem siebie. Zakres kątowy obrotu polaryzatorów wynosi 45° . Obrót jest realizowany z wykorzystaniem układu regulacji dla obu oczu równocześnie. Regulacja może być realizowana w sposób manualny poprzez obrót jednego pokrętła regulacyjnego znajdującego się w układzie do regulacji lub z wykorzystaniem sterowania elektronicznego sprzężonego z czujnikiem promieniowania cieplnego.

Działanie EB oparte jest na konstrukcji pasmowego filtra interferencyjnego pozwalającego na głęboką blokadę promieniowania podczerwonego, przy zachowaniu wysokiej transmisji w zakresie widzialnym.

Aktywny filtr optyczny o zmiennej charakterystyce transmisji w zakresie widzialnym (AFO), składa się z elementu blokującego (EB), w postaci pasmowego filtra interferencyjnego zbudowanego z dwóch materiałów ułożonych naprzemiennie w stos interferencyjny:

- dielektryka o współczynniku załamania $n \approx 1.8$, w postaci tlenku krzemu SiO_x na różnych stopniach utlenienia
- metalu z grupy metali szlachetnych, korzystnie srebro lub złoto

| | |
|---|-----------|
| warstwa metalu ($n = 0,055, k = 3,320, d = 32,50 \text{ nm}$) | } $N = 4$ |
| warstwa dielektryka ($n = 1,800, k = 0,000, d = 106,90 \text{ nm}$) | |
| warstwa metalu ($n = 0,055, k = 3,320, d = 32,50 \text{ nm}$) | |
| warstwa dielektryka ($n = 1,800, k = 0,000, d = 106,90 \text{ nm}$) | |

n = współczynnik załamania,
 k = współczynnik ekstynkcji,
 d = grubość.

i dwóch elementów polaryzacyjnych, po jednym dla każdego oka, składających się z dwóch polaryzatorów obracających się względem siebie w jednej osi, umieszczonych w elemencie obrotowym, pozwalającym na obrót polaryzatorów względem siebie. Zakres kątowy obrotu wynosi 45° . Elementy polaryzacyjne połączone są z układem regulacji elektronicznej i/lub manualnej transmisji promieniowania z zakresu widzialnego.

Układ regulacji obrotu polaryzatorów jest układem manualnym w postaci pokrętła regulacyjnego znajdującego się w układzie do regulacji lub układem sterowania elektronicznego sprzężonego z czujnikiem promieniowania cieplnego.

Przedmiot wynalazku uwidoczniony jest na rysunku na którym Fig. 1, przedstawia schematyczne połączenie elementów EP i EB w budowie AFO, Fig. 2 przedstawia zależność transmisji od długości fali dla filtra *KG3 Schott* [12], Fig. 3 do Fig. 5 przedstawia zależności transmisji od długości fali dla wybranych trzech typów folii zabezpieczających przed promieniowaniem cieplnym, które charakteryzują się stosunkowo wysoką transmisją promieniowania widzialnego, przy jednoczesnym tłumieniu promieniowania podczerwonego w zakresie od 780 do 2000 nm, przy czym Fig. 3 przedstawia zależność transmisji od długości fali dla folii typ „*Invisible premium*”, Fig. 4 przedstawia zależność transmisji od długości fali dla folii typ „*Invisible standard*”, Fig. 5 przedstawia zależność transmisji od długości fali dla folii typ „*Perfecta*”, Fig. 6 przedstawia charakterystykę spektralną transmitancji wytworzonych filtrów interferencyjnych [18]. Charakterystyka spektralna transmitancji filtrów interferencyjnych: 1) oznaczenie 4-3, 2) oznaczenie 4-5, 3) oznaczenie 4-7, Fig. 7 przedstawia transmisję promieniowania widzialnego i podczerwieni w zależności od oznaczenia filtra, Fig. 8 przedstawia schemat wyznaczania współczynników przepuszczania dla EB, Fig. 9 przedstawia uproszczenie przyjęte w algorytmie wyliczania wartości współczynników przepuszczania dla EB, Fig. 10 przedstawia transmisję promieniowania widzialnego i podczerwieni dla opracowanego EB, Fig. 11 przedstawia współczynnik przepuszczania światła w zależności od kąta obrotu.

Przykład

Przykładem realizacji aktywnego filtra optycznego o zmiennej charakterystyce transmisji w zakresie widzialnym, przeznaczonego do zastosowania w środkach ochrony oczu na stanowiskach zagrożonych promieniowaniem z zakresu bliskiej podczerwieni jest aktywny filtr optyczny składający się z elementu blokującego (EB), w postaci pasmowego filtra interferencyjnego **3** zbudowanego z dwóch materiałów ułożonych naprzemiennie w stos interferencyjny:

- dielektryka (tlenek krzemu SiO_2) o współczynniku załamania $n \approx 1.8$
- srebra.

| | |
|---|-----------|
| warstwa metalu ($n = 0,055, k = 3,320, d = 32,50 \text{ nm}$) | } $N = 4$ |
| warstwa dielektryka ($n = 1,800, k = 0,000, d = 106,90 \text{ nm}$) | |
| warstwa metalu ($n = 0,055, k = 3,320, d = 32,50 \text{ nm}$) | |
| warstwa dielektryka ($n = 1,800, k = 0,000, d = 106,90 \text{ nm}$) | |

n = współczynnik załamania,
 k = współczynnik ekstynkcji,
 d = grubość.

i dwóch elementów polaryzacyjnych, po jednym elemencie polaryzacyjnym dla każdego oka, składających się z dwóch polaryzatorów **1** i **2**, obracających się względem siebie w jednej osi, umieszczonych w elemencie obrotowym, pozwalającym na obrót polaryzatorów **1** i **2** względem siebie. Zakres kątowy obrotu polaryzatorów **1** i **2** wynosi 45° . Elementy polaryzacyjne połączone są z układem regulacji **4** elektronicznej i/lub manualnej transmisji promieniowania z zakresu widzialnego.

Zastosowano manualny układ regulacji **4** obrotu polaryzatorów w postaci pokrętła regulacyjnego znajdującego się w układzie regulacji **4**.

Sterowanie przepuszczaniem promieniowania widzialnego odbywa się w tym przypadku poprzez zmianę położenia dwóch skrzyżowanych polaryzatorów **1** i **2**. W przypadku zastosowania efektu polaryzacji zakres zmian przepuszczania promieniowania widzialnego – dla typowych polaryzatorów – wynosi około 14%. Optyczne elementy polaryzacyjne przepuszczają jednak znaczna część promieniowania podczerwonego. Uzyskanie zatem konstrukcji AFO spełniającej wymagania norm dla tego typu filtrów, umożliwiła dopiero wprowadzenia dodatkowego elementu optycznego tłumiącego (pochłaniającego lub pochłaniająco-odbijającego) promieniowanie podczerwone (EB).

W tabeli 2 przedstawiono wyniki symulacji (zgodnie ze wzorami 12, 13 i 14). Wyniki te są symulacją do określenia wartości współczynników przepuszczania, jakimi powinien charakteryzować się EB. Symulację przeprowadzono dla oznaczeń zawierających się w przedziale od 4-1,7 do 4-10.

Tabela 2. Wyniki symulacji do określenie wartości współczynników przepuszczania, jakimi charakteryzuje się EB

| Oznaczenie filtra | Współczynniki do oceny przepuszczania (zmierzone dla EP) | | | Współczynniki do oceny przepuszczania (przewidziane dla kompletnego AFO) [%] ¹⁾ | | | Współczynniki do oceny przepuszczania (wyliczone dla EB) [%] | | |
|-------------------|--|------|-------|--|-------|------|--|------|------|
| | Tv1 | TA1 | TN1 | Tv | TA | TN | Tv2 | TA2 | TN2 |
| 4-1,7 | 14,0 | 58,2 | 63,82 | 43,2 | 4,1 | 42,2 | 308 ²⁾ | 7,04 | 66,1 |
| 4-2 | 14,0 | 58,2 | 63,82 | 29,1 | 3,6 | 37,9 | 208 ²⁾ | 6,19 | 59,4 |
| 4-2,5 | 14,0 | 58,2 | 63,82 | 17,8 | 2,9 | 32,3 | 127 ²⁾ | 4,98 | 50,6 |
| 4-3 | 14,0 | 58,2 | 63,82 | 8,5 | 1,9 | 22,9 | 60,7 | 3,26 | 35,9 |
| 4-4 | 14,0 | 58,2 | 63,82 | 3,2 | 1,2 | 15,9 | 22,9 | 2,06 | 24,9 |
| 4-5 | 14,0 | 58,2 | 63,82 | 1,2 | 0,71 | 10,6 | 8,57 | 1,22 | 16,6 |
| 4-6 | 14,0 | 58,2 | 63,82 | 0,44 | 0,43 | 7,1 | 3,14 | 0,74 | 11,1 |
| 4-7 | 14,0 | 58,2 | 63,82 | 0,126 | 0,23 | 4,4 | 0,90 | 0,39 | 6,89 |
| 4-8 | 14,0 | 58,2 | 63,82 | 0,061 | 0,14 | 2,9 | 0,44 | 0,24 | 4,54 |
| 4-9 | 14,0 | 58,2 | 63,82 | 0,0123 | 0,075 | 1,8 | 0,09 | 0,13 | 2,82 |
| 4-10 | 14,0 | 58,2 | 63,82 | 0,0085 | 0,050 | 1,3 | 0,06 | 0,08 | 2,04 |

- 1) Wartości z PN-EN 171:2005. Są to minimalne wartości współczynnika przepuszczania światła możliwe do otrzymania dla filtra o określonym oznaczeniu.
- 2) W przypadku wartości większych od 100% niemożliwe jest wykonanie EP.
- 3) W przypadku wartości większych od 100% tłumienie promieniowania podczerwonego jest zapewnione przez EP.

Z wyników symulacji przedstawionych w tabeli 1 widać, że dla układu sterowania przepuszczaniem promieniowania widzialnego z zastosowaniem skrzyżowanych polaryzatorów regulacja oznaczenia filtra jest teoretycznie możliwa w zakresie od oznaczenia 4-3 do 4-10. Opracowano i wykonano model EB, którego charakterystykę widmową przepuszczania dla zakresu od 380 do 2000 nm przedstawiono na rysunku Fig 10. Na granicy zakresów promieniowania widzialnego i podczerwonego wartość widmowego współczynnika przepuszczania światła wynosi mniej niż 3%.

Wyniki badań spektrofotometrycznych dla przedstawionego przykładu aktywnego filtra optycznego o zmiennej charakterystyce transmisji w zakresie widzialnym, przeznaczonego do zastosowania w środkach ochrony oczu na stanowiskach zagrożonych promieniowaniem z zakresu bliskiej podczerwieni przedstawiono w tabeli 3. W badaniach polaryzatory były obracane względem siebie o kąt 45° , czyli od stanu, w którym można uzyskać najwyższą wartość przepuszczania promieniowania widzialnego przez AFO (położenie 0°) do wartości, dla której przepuszczanie promieniowania widzialnego przez AFO jest najmniejsze (położenie 45°). Następnie obracano je o $7,5^\circ$.

Tabela 3. Wyniki pomiarów spektrofotometrycznych (wyznaczanie transmisji) dla przykładu AFO

| Lp. / stan zaciemnienia | Kąt obrotu [°] | τ_V [%] | τ_A [%] | τ_N [%] | Oznaczenie |
|-------------------------|----------------|--------------|---------------------|--------------|------------|
| 1 | 0 | 10,24 | 0,365 | 0,224 | 4-3 |
| 2 | 7,5 | 6,18 | 0,380 | 0,233 | 4-4 |
| 3 | 15 | 1,28 | 0,278 | 0,179 | 4-5 |
| 4 | 22,5 | 0,484 | 0,156 | 0,160 | 4-6 |
| 5 | 30 | 0,233 | 0,153 | 0,158 | 4-7 |
| 6 | 37,5 | 0,071 | 0,269 ¹⁾ | 0,175 | 4-8 |
| 7 | 45 | 0,029 | 0,270 ²⁾ | 0,175 | 4-9 |

¹⁾ Dla oznaczenia filtra 4-8 maksymalna wartość średniego widmowego współczynnika przepuszczania podczerwieni **$\tau_A = 0,14$**

²⁾ Dla oznaczenia filtra 4-9 maksymalna wartość średniego widmowego współczynnika przepuszczania podczerwieni **$\tau_A = 0,075$**

Na rysunku Fig. 11 przedstawiono wykres opisujący zależność współczynnika przepuszczania światła od kąta obrotu dla opisanego przykładu.

Na rysunku Fig. 12 przedstawiono wykres obrazujący zależność oznaczenia filtra od kąta obrotu dla opisanego przykładu.

Zastrzeżenia patentowe

1. Aktywny filtr optyczny o zmiennej charakterystyce transmisji w zakresie widzialnym do blokowania promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni pochodzącego ze źródeł technologicznych, przeznaczony do ochrony oczu, składający się z filtra interferencyjnego oraz polaryzatora, **znamienny tym**, że składa się z elementu blokującego (EB), w postaci pasmowego filtra

interferencyjnego (3) zbudowanego z dwóch materiałów ułożonych naprzemiennie w stos interferencyjny:

- dielektryka o współczynniku załamania $n \approx 1.8$ a mianowicie tlenku krzemu SiO_x na różnych stopniach utlenienia
- metalu z grupy metali szlachetnych, korzystnie srebra lub złota

| | |
|---|-----------|
| warstwa metalu ($n = 0,055, k = 3,320, d = 32,50 \text{ nm}$) | } $N = 4$ |
| warstwa dielektryka ($n = 1,800, k = 0,000, d = 106,90 \text{ nm}$) | |
| warstwa metalu ($n = 0,055, k = 3,320, d = 32,50 \text{ nm}$) | |
| warstwa dielektryka ($n = 1,800, k = 0,000, d = 106,90 \text{ nm}$) | |

n = współczynnik załamania,

k = współczynnik ekstynkcji,

d = grubość.

i dwóch elementów polaryzacyjnych, po jednym elemencie polaryzacyjnym dla każdego oka, składających się z dwóch polaryzatorów (1) i (2), obracających się względem siebie w jednej osi, umieszczonych w elemencie obrotowym, pozwalającym na obrót polaryzatorów (1) i (2) względem siebie a zakres kątowy obrotu polaryzatorów (1) i (2) wynosi 45° , natomiast elementy polaryzacyjne połączone są z układem regulacji (4).

2. Filtr według zastrz. 1, **znamienny tym**, że układ regulacji obrotu polaryzatorów (1) i (2) jest układem manualnym w postaci pokrętła regulacyjnego znajdującego się w układzie do regulacji (4).
3. Filtr według zastrz. 1, **znamienny tym**, że układ regulacji (4) obrotu polaryzatorów (1) i (2) jest układem sterowania elektronicznego sprzężonego z czujnikiem promieniowania cieplnego.

Rysunki

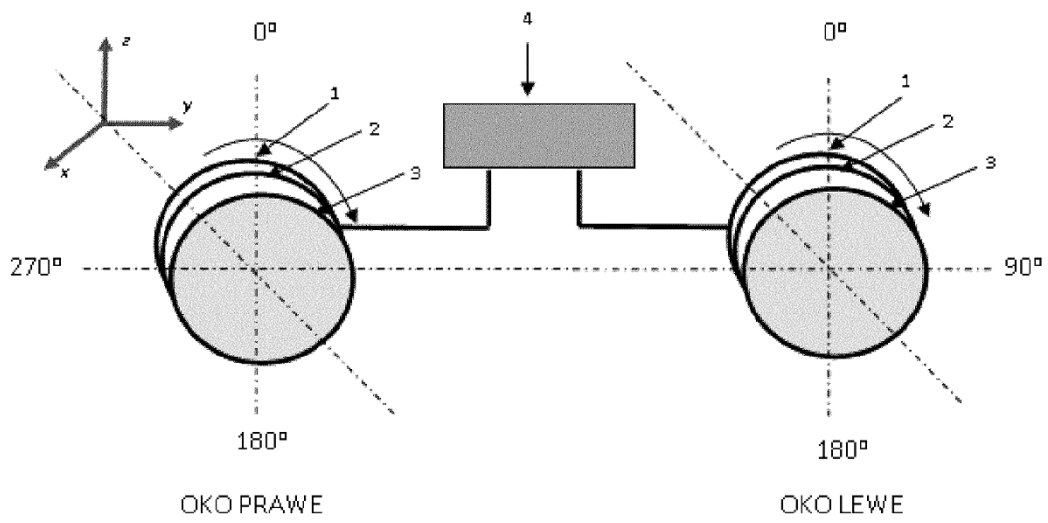


Fig. 1

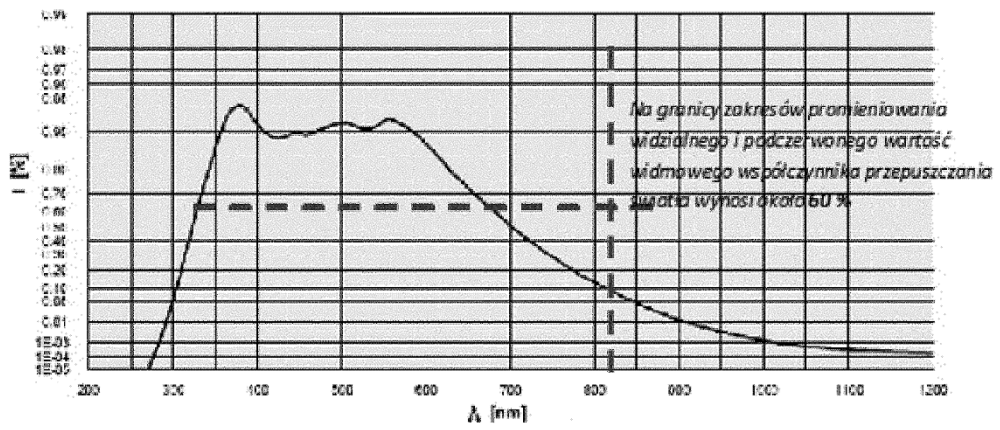


Fig. 2

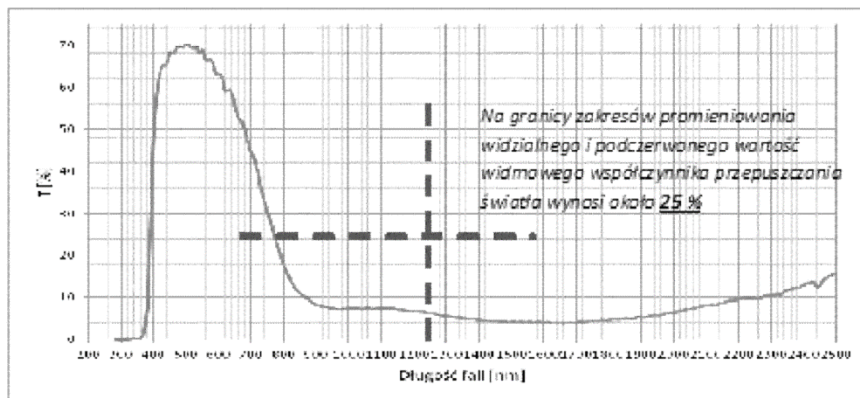


Fig. 3

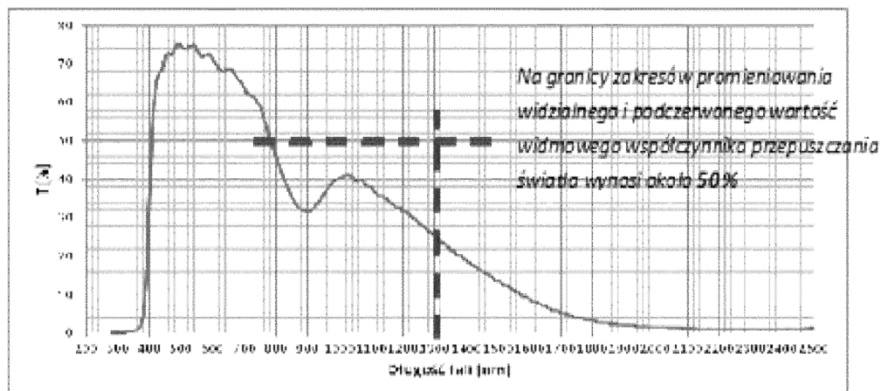


Fig. 4

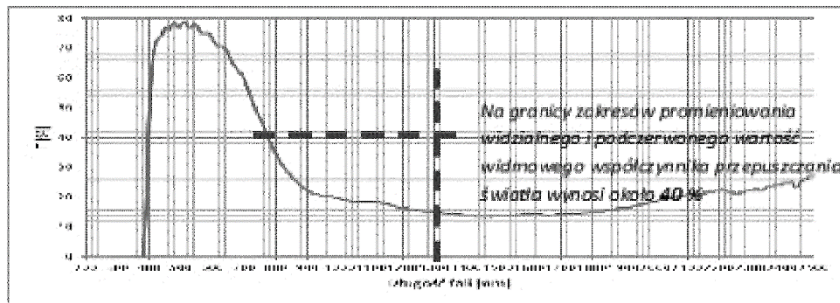


Fig. 5

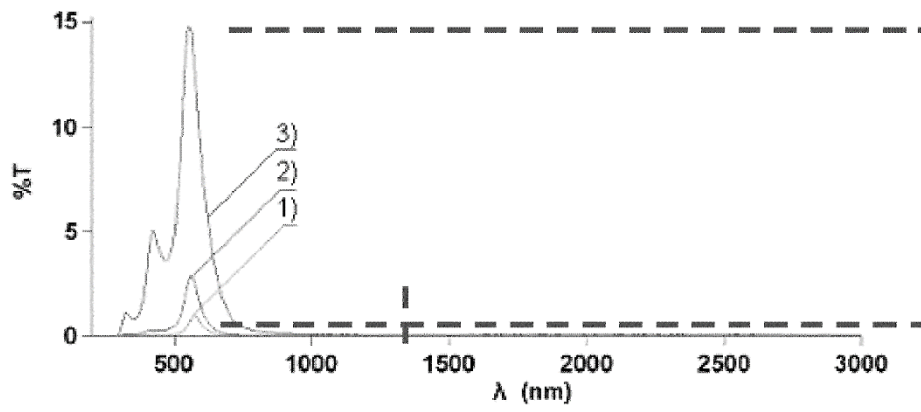


Fig. 6

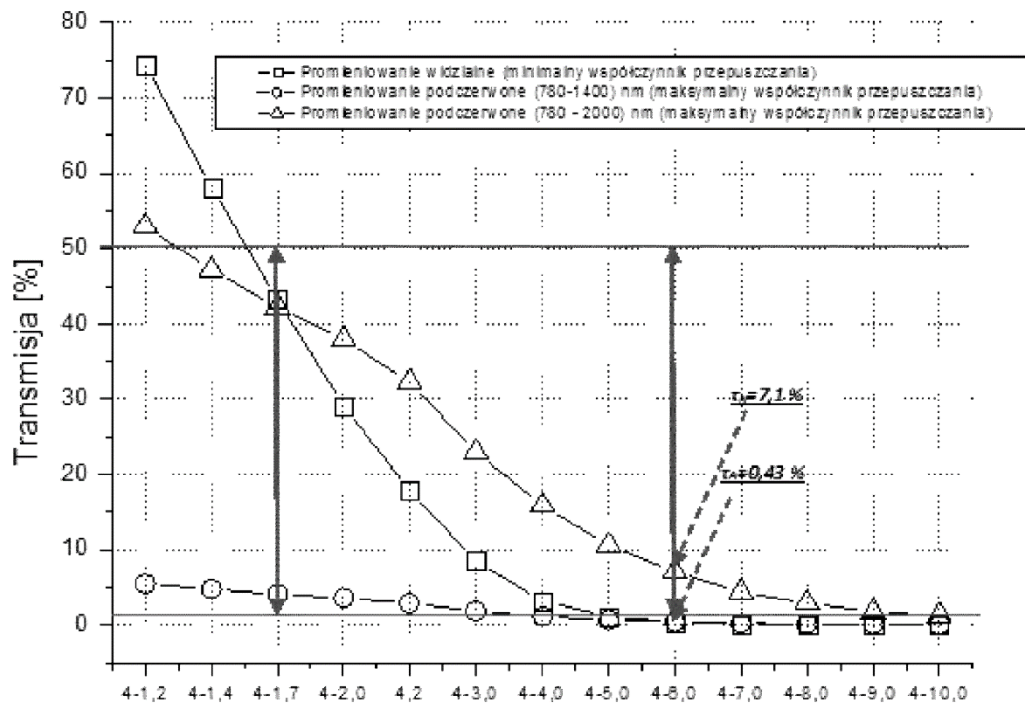


Fig. 7

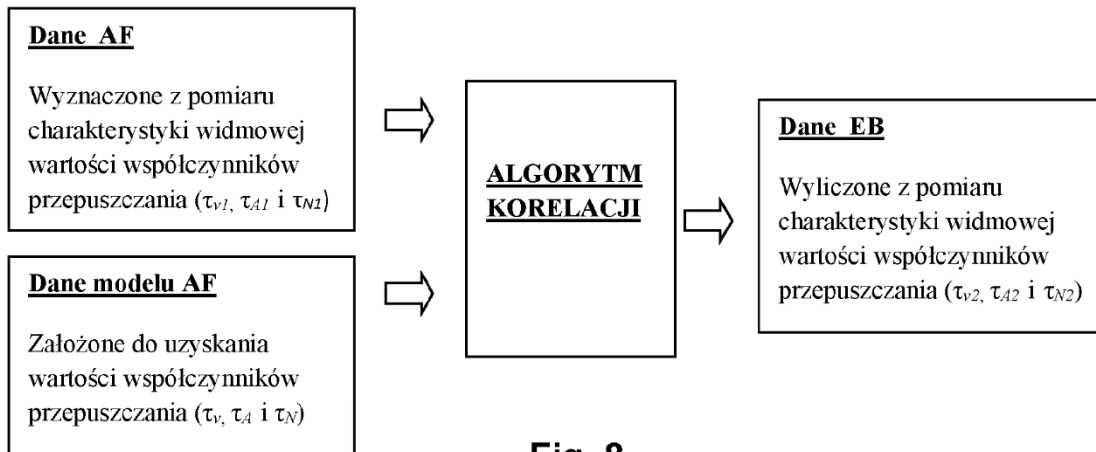


Fig. 8

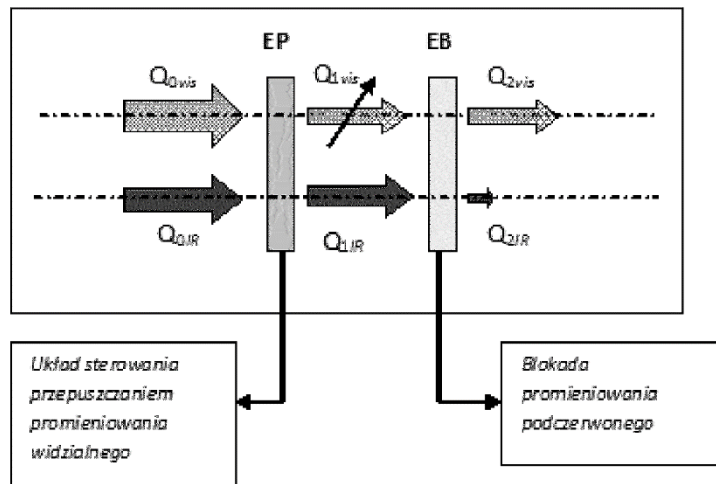


Fig. 9

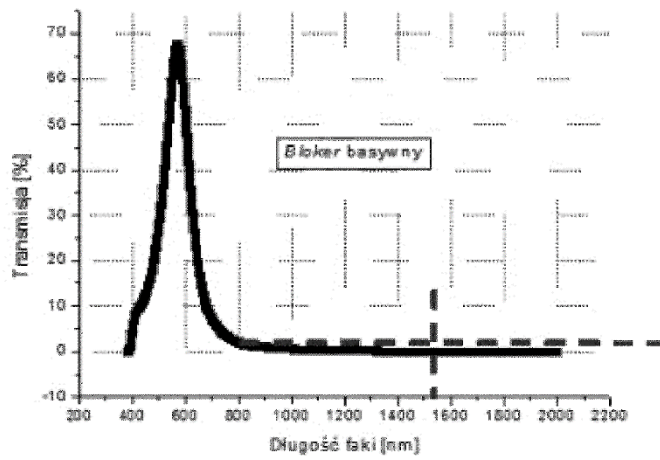


Fig. 10

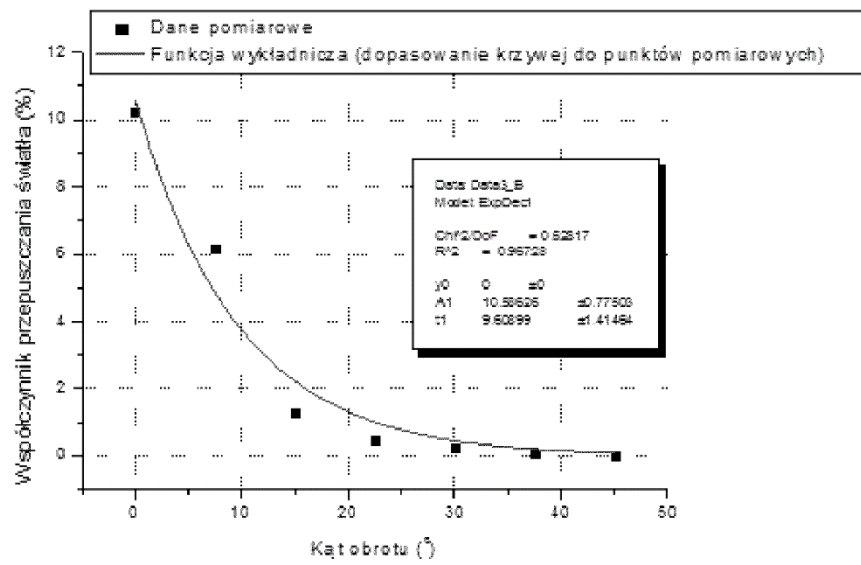


Fig. 11

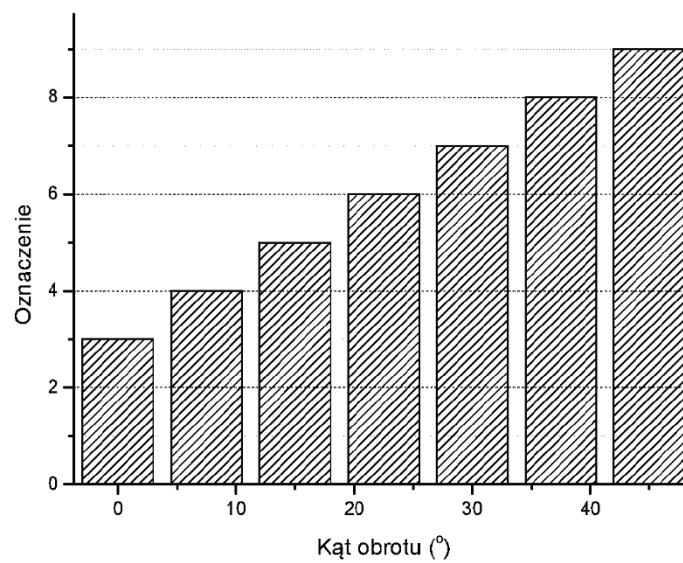


Fig. 12