

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **229151**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **414821**

(51) Int.Cl.
F21S 2/00 (2016.01)

(22) Data zgłoszenia: **16.11.2015**

(54)

Źródło światła białego i sposób generowania światła białego

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

22.05.2017 BUP 11/17

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

29.06.2018 WUP 06/18

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT NISKICH TEMPERATUR I BADAŃ
STRUKTURALNYCH IM. WŁODZIMIERZA
TRZEBIATOWSKIEGO POLSKIEJ AKADEMII
NAUK, Wrocław, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**WIESŁAW STREK, Bielany Wrocławskie, PL
ROBERT TOMALA, Wieluń, PL
ŁUKASZ MARCINIAK, Wrocław, PL
DARIUSZ HRENIAK, Wrocław, PL
YURIY GERASYMCHUK, Żmigród, PL
BARTŁOMIEJ CICHY, Wrocław, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Iwona Płodzich-Hennig

PL 229151 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest źródło światła białego i sposób generowania światła białego.

W stanie techniki znanych jest kilka metod uzyskiwania światła białego w wyniku procesów odmiennych od zjawiska emisji przez ciało doskonale czarne czyli inkadescencji. Dominują wśród nich metody bazujące na wykorzystaniu luminoforów organicznych wzbudzanych w zakresie ultrafioletowym (UV) oraz bazujące na fosforach nieorganicznych domieszkowanych jonami metali przejściowych bądź metali jonów ziem rzadkich.

Grafen to materiał wytworzony pierwszy raz niezależnie przez grupy z Georgii (C. Berger, Z. Song, T. Li, X. Li, A. Y. Ogbazghi, R. Feng, Z. Dai, A. N. Marchenkov, E. H. Conrad, P. N. First, W. A. de Heer. „J. Phys. Chem. B”. 108, 2004) i Manchesteru (K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, 1 Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, A. A. Firsov, „Science”. 306, 2004). Charakteryzuje się bardzo dobrym przewodnictwem ciepła i elektryczności, niewielką rezystywnością oraz bardzo dużą ruchliwością elektronów.

Po roku 2010, gdy metody syntezy tlenku grafenu, oraz jego redukcji zostały udoskonalone pojawiły się artykuły naukowe na temat pianek grafenowych, czyli porowatej struktury złożonych z zredukowanych płatków tlenku grafenu. Głównym obszarem zainteresowań aplikacji wymienionych pianek jest zastosowanie ich jako superkondensatorów (Patent WO2013180662 A1) oraz jako anody w bateriach litowo-jonowych (Zhou, X., Liu, Z., IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 18 (SYMPOSIUM 3), art. no. 062006.).

Grafen piankowy otrzymywany jest m.in. poprzez pirolizę wysuszonego żelu będącego reakcją tlenku grafenu, rezorcyny oraz formaliny (M.A. Worsley, P.J. Pauzauskie, T.Y. Olson, J.H. Satcher Jr., T.F. Baumann, JACS Comm. (2010), 10.1021/ja1072299, Patent US8993113 B2), a także agregacji z wodnego roztworu (Patent US20120322917 A1).

Źródła światła z wykorzystaniem węgla jako materiału aktywnego znane są już od wielu lat. Jednym z pierwszych była lampa łukowa wytworzona przez Humphry Davy w 1802 r., w której to używał dwóch węglowych pręcików pomiędzy którymi uzyskiwał łuk elektryczny o długości 10 cm. Kolejnymi próbami były wykorzystania włókna węglowego żarzącego się w próżni przez Jobarda (1838) i Swana (1860).

W artykule opublikowanym w Nature Nanotechnology (Nature Nanotechn. (2015) 676) Young Duck Kim i inni opisują źródło światła na chipie, który wykorzystuje grafen. Grafen umieszczony jest na krzemowym podłożu i rozgrzewany za pomocą prądu płynącego przez elektrody do temperatury 2000–2900 K, czyli podobnych do wykorzystywanych w inkadescencyjnych źródłach światła. W źródle tym wykorzystywana jest własność grafenu – w wysokich temperaturach spada jego przewodność cieplna, co zapobiega niszczeniu podłoża krzemowego.

Sposób generacji szerokopasmowej białej emisji przy wzbudzeniu liniami laserowymi od 405 nm do 975 nm został opisany w artykule „Laser-induced white-light emission from graphene ceramics-opening a band gap in graphene” (W. Strek, B. Cichy, L. Radosinski, P. Gluchowski, L. Marciniak, M. Łukaszewicz, D. Hreniak, Light: Science & Applications (2015) 4, e237). Zjawisko generacji światła białego na grafenie ma charakter progowy, a intensywność emisji jest potęgowo zależna od mocy wzbudzenia optycznego. Temperatura próbki zmierzona podczas generacji światła wynosi poniżej 900K co wyklucza sposób generacji światła poprzez promieniowanie ciała doskonale czarnego.

Celem niniejszego wynalazku jest dostarczenie źródła światła białego generowanego promieniowaniem podczerwonym oraz sposób generowania światła białego.

Istotą rozwiązania według wynalazku jest źródło światła białego zbudowane z próżniowej komory szklanej, zawierającej element aktywny optycznie, generatora wiązki promieniowania elektromagnetycznego promieniowania IR zaopatrzonego w laserową diodę IR, zasilacz, soczewkę skupiającą i opcjonalnie reflektor, charakteryzujące się tym, że elementem optycznie aktywnym umieszczonym w komorze próżniowej jest cienkowarstwowa matryca grafenowa o grubości do 3 mm.

Korzystnie w rozwiązaniu według wynalazku element aktywny optycznie stanowi cienkowarstwowa matryca grafenowa w postaci proszku grafenowego, ceramiki grafenowej lub pianki grafenowej.

Korzystnie, element aktywny optycznie po wzbudzeniu wiązką promieniowania generowanego przez laserową diodę IR emituje światło białe o współczynniku oddawania barw (ang. color rendering index, CRI) powyżej 96, korzystnie 98, korzystniej 100. Bardzo wysoki współczynnik oddawania barw uzyskiwany dla źródła światła białego według wynalazku sprawia, że nie dochodzi do zniekształcenia w postrzeganiu kolorów i zmęczenia wzroku osoby pracującej przy oświetleniu wykorzystującym tego

rodzaju źródło światła, dlatego też źródło światła według wynalazku można znaleźć zastosowanie na przykład do oświetlania stanowisk pracy.

Zgodnie z wynalazkiem umieszczona w tubusie źródła światła dioda podczerwona IR emituje promieniowanie w zakresie bliskiej podczerwieni o długości fali 800–1200 nm, korzystnie 808–980 nm. Wiązka promieniowania emitowanego przez diodę przechodząc przez soczewkę skupiającą dokonuje wzbudzenia elementu aktywnego optycznie w postaci matrycy grafenowej, która po wzbudzeniu emituje światło białe. Umieszczony w źródle światła według wynalazku materiał grafenowy wykazuje maksimum emisji przy wzbudzeniu falą elektromagnetyczną o długości 660 nm.

W rozwiązaniu według wynalazku element aktywny optycznie absorbuje promieniowanie z zakresu bliskiej podczerwieni dzięki czemu możliwe jest generowanie szerokopasmowego promieniowania, które rozciąga się od zakresu bliskiego ultrafioletu (370 nm) do podczerwieni (900 nm) z maksimum emisji przy 660 nm.

Widma emisji dla źródła światła według wynalazku charakteryzują się szerokim pasmem pokrywającym cały zakres widzialnego promieniowania elektromagnetycznego z maksimum emisji przy 660 nm (Fig. 1b, 2b i 3b). Co więcej, intensywność emisji źródła światła według wynalazku wzrasta eksponentalnie wraz ze wzrostem mocy wzbudzenia.

Dla źródła światła według wynalazku, w którym elementem aktywnym optycznie jest materiał grafenowy zaobserwowano niski próg emisji, zwłaszcza w przypadku pianki grafenowej. Poza tym dla źródła światła według wynalazku zaobserwowano także wysoką intensywność emisji i sprawność kwantową. W rozwiązaniu według wynalazku intensywność emisji światła widzialnego reguluje się poprzez moc pompowania optycznego lub regulację ciśnienia w komorze próżniowej. Przy wzroście mocy wzbudzenia w zakresie 0,4–0,8 W intensywność emisji źródła światła według wynalazku wzrasta sześciokrotnie, zaś dla mocy wzbudzenia w zakresie 0,9–1,6 W intensywność emisji źródła światła według wynalazku wzrasta ponad 3 i półkrotnie (fig. 1b).

Zgodnie z wynalazkiem intensywność emisji światła białego w rozwiązaniu według wynalazku zależy odwrotnie proporcjonalnie do ciśnienia gazów otaczających element aktywny optycznie, dlatego intensywność emisji światła białego można kontrolować również poprzez regulowanie ciśnienia gazów otaczających element aktywny optycznie. Zgodnie z wynalazkiem wartość ciśnienia w komorze próżniowej zawierającej element aktywny optycznie jest w zakresie od 10^0 do 10^{-6} mbara, korzystnie 10^{-3} – 10^{-6} mbara. Przy zmianie ciśnienia z 1 mbara na 10^{-3} mbara intensywność emisji światła białego wzrasta o 3 rzędy wielkości.

Ze względu na fakt, że intensywność emisji światła jest silnie zależna od gęstości pompowania optycznego istnieje możliwość modelowania intensywności emisji źródła światła według wynalazku poprzez różnicowanie odległości pomiędzy soczewką a elementem aktywnym optycznie. Im odległość ta jest bliższa wartości ogniskowej, tym uzyskuje się wyższą intensywność emisji światła np. dla soczewki o ogniskowej 3 cm różnica intensywności emisji w ognisku oraz 1 cm za nim wynosi 4 rzędy wielkości.

Przedmiotem wynalazku jest również sposób generowania światła białego za pomocą źródła światła białego zbudowanego z próżniowej komory szklanej, zawierającej element aktywny optycznie, generatora wiązki promieniowania elektromagnetycznego promieniowania IR zaopatrzonego w laserową diodę IR, zasilacz, soczewkę skupiającą i opcjonalnie reflektor, gdzie elementem optycznie aktywnym umieszczonym w komorze próżniowej jest cienkowarstwowa matryca grafenowa o grubości do 3 mm. Sposób według wynalazku charakteryzuje się tym, że za pomocą generatora wiązki promieniowania elektromagnetycznego generuje się wiązkę wzbudzającą o długości fali w zakresie 800–1200 nm i mocy wzbudzenia 0,3–0,6 W, po czym wiązkę wzbudzającą przepuszcza się przez soczewkę skupiającą, a następnie kieruje się na matrycę grafenową pod kątem 45° – 90° względem płaszczyzny matrycy, która w wyniku wzbudzenia emituje promieniowanie z zakresu światła białego.

W jednym z wariantów sposobu według wynalazku, kiedy wiązkę wzbudzającą kieruje się na matrycę grafenową pod kątem 90° względem płaszczyzny matrycy, emitowaną w wyniku wzbudzenia matrycy grafenowej wiązkę promieniowaną z zakresu światła białego odbija się w reflektorze, którym skierowuje się wiązkę światła białego na zewnątrz urządzenia.

Przedmiot wynalazku jest uwidoczniony na figurach rysunku, na którym:

fig. 1a) przedstawia widma emisji źródła światła, gdzie elementem optycznie aktywnym jest matryca w postaci pianki grafenowej o grubości 3 mm, po wzbudzeniu falą elektromagnetyczną o długości 975 nm;

- fig. 1b)** przedstawia zależność intensywności emisji od mocy wzbudzenia dla źródła światła, gdzie elementem optycznie aktywnym jest matryca w postaci pianki grafenowej o grubości 3 mm, po wzbudzeniu falą elektromagnetyczną w przedziale 0.4 W – 1.6 W;
- fig. 2a)** przedstawia widma emisji źródła światła, gdzie elementem optycznie aktywnym jest matryca w postaci ceramiki grafenowej o grubości 3 mm, po wzbudzeniu falą elektromagnetyczną o długości 975 nm;
- fig. 2b)** przedstawia zależność intensywności emisji od mocy wzbudzenia dla źródła światła, gdzie elementem optycznie aktywnym jest matryca w postaci ceramiki grafenowej o grubości 3 mm, po wzbudzeniu falą elektromagnetyczną w przedziale 0.3 W – 1.6 W;
- fig. 3a)** przedstawia widma emisji źródła światła, gdzie elementem optycznie aktywnym jest matryca w postaci proszku grafenowego o grubości 3 mm, po wzbudzeniu falą elektromagnetyczną o długości 975 nm;
- fig. 3b)** przedstawia zależność intensywności emisji od mocy wzbudzenia dla źródła światła, gdzie elementem optycznie aktywnym jest matryca w postaci proszku grafenowego o grubości 3 mm, po wzbudzeniu falą elektromagnetyczną w przedziale 0.1 W – 1.6 W;
- fig. 4)** przedstawia wpływ ciśnienia na intensywność emisji pianki grafenowej (a), ceramiki grafenowej (b) i proszku grafenowego (c) pod wpływem wzbudzenia skupioną wiązką diody podczerwonej. Intensywność emisji gwałtownie spada gdy ciśnienie przekroczy wartość 10^{-3} – 10^0 mbara;
- fig. 5)** przedstawia budowę źródła światła według wynalazku, gdzie wewnątrz szklanej komory próżniowej **8** na metalowym drucie **1** umieszczono element aktywny optycznie **2** w postaci materiału grafenowego. Komora **8** otoczona jest reflektorem **3**, którego ścianki ustawione są pod kątem 45° względem płaszczyzny elementu aktywnego optycznie **2**. W dolnej części reflektora **3** znajduje się otwór, przez który emitowana jest wiązka wzbudzającego promieniowania elektromagnetycznego IR. Generatorem wiązki promieniowania elektromagnetycznego IR jest umieszczona w tubusie **5** dioda podczerwona **6** zasilana przez zasilacz diody **7**, przy czym tubus **5** zaopatrzone jest na jednym końcu stanowiącym wylot wiązki promieniowania w soczewkę **4**. Wiązka wzbudzającego promieniowania elektromagnetycznego IR generowana przez diodę **6** przechodzi przez soczewkę **4**, skupiającą promieniowanie na elemencie aktywnym optycznie **2**, który w wyniku wzbudzenia generuje promieniowanie z zakresu światła białego. Emisja promieniowania z elementu aktywnego optycznie **2** odbija się w reflektorze **3**, a następnie wydostaje się z urządzenia.
- fig. 6)** przedstawia wariant źródła światła według wynalazku, gdzie wewnątrz szklanej komory próżniowej **8** na metalowym drucie **1** umieszczono element aktywny optycznie **2** w postaci materiału grafenowego. Obok komory **8** umiejscowiono generator wiązki promieniowania elektromagnetycznego IR, który stanowi umieszczona w tubusie **5** dioda podczerwona **6** zasilana przez zasilacz diody **7**, przy czym tubus **5** zaopatrzone jest na jednym końcu stanowiącym wylot wiązki promieniowania w soczewkę **4**. Tubus **5** skierowany jest w kierunku elementu aktywnego optycznie **2** tak, aby z jego płaszczyzną tworzyć kąt 45° . Wiązka wzbudzającego promieniowania elektromagnetycznego IR generowana przez diodę **6** przechodzi przez soczewkę **4**, skupiającą promieniowanie, po czym pada na element aktywny optycznie **2** pod kątem 45° , który w wyniku wzbudzenia generuje promieniowanie z zakresu światła białego.

Przedmiotowe rozwiązanie może znaleźć zastosowanie w przemyśle oświetleniowym. Ze względu na swoją charakterystykę cechującą się niskim poborem mocy (energooszczędność), jak również charakterystykę spektralną (szerokie pasmo emisji pokrywające cały zakres promieniowania widzialnego) może zastąpić obecnie wykorzystywane świetlówki, diody LED etc.

Wynalazek przedstawiono bliżej w przykładach wykonania, które nie ograniczają jego zakresu.

Przykład 1

W szklanej komorze umieszczono element aktywny w postaci proszku grafenowego ściśniętego w pastylkę o grubości 3 mm. Odległość pomiędzy soczewką a elementem aktywnym wynosi 3 cm, natomiast ciśnienie w komorze próżniowej wynosi 10^{-6} mbara. Za pomocą diody IR wygenerowano wiązkę promieniowania elektromagnetycznego o długości fali 980 nm, którą skierowano za pomocą soczewki skupiającej na matrycę grafenową pod kątem 45° względem płaszczyzny matrycy grafenowej. Użytkano światło białe o cieplej barwie i współczynniku CRI wynoszącym 97.

Przykład 2

W szklanej komorze umieszczono element aktywny w postaci proszku grafenowego ściśniętego w pastylkę o grubości 3 mm. Odległość pomiędzy soczewką a elementem aktywnym wynosi 3 cm, natomiast ciśnienie w komorze próżniowej wynosi 10^{-6} mbara. Za pomocą diody IR wygenerowano wiązkę promieniowania elektromagnetycznego o długości fali 808 nm, którą skierowano za pomocą soczewki skupiającej na matrycę grafenową pod kątem 45° względem płaszczyzny matrycy grafenowej. Uzyskano światło białe o ciepłej barwie i współczynniku CRI wynoszącym 97.

Przykład 3

W szklanej komorze umieszczono element aktywny w postaci ceramiki grafenowej o grubości 3 mm. Odległość pomiędzy soczewką a elementem aktywnym wynosi 3 cm, natomiast ciśnienie w komorze próżniowej wynosi 10^{-6} mbara. Za pomocą diody IR wygenerowano wiązkę promieniowania elektromagnetycznego o długości fali 980 nm, którą skierowano za pomocą soczewki skupiającej na matrycę grafenową pod kątem 45° względem płaszczyzny matrycy grafenowej. Uzyskano światło białe o ciepłej barwie i współczynniku CRI wynoszącym 98.

Przykład 4

W szklanej komorze umieszczono element aktywny w postaci ceramiki grafenowej o grubości 3 mm. Odległość pomiędzy soczewką a elementem aktywnym wynosi 3 cm, natomiast ciśnienie w komorze próżniowej wynosi 10^{-6} mbara. Za pomocą diody IR wygenerowano wiązkę promieniowania elektromagnetycznego o długości fali 960 nm, którą skierowano za pomocą soczewki skupiającej na matrycę grafenową pod kątem 45° względem płaszczyzny matrycy grafenowej. Uzyskano światło białe o ciepłej barwie i współczynniku CRI wynoszącym 98.

Przykład 5

W szklanej komorze umieszczono element aktywny w postaci pianki grafenowej o grubości 3 mm. Odległość pomiędzy soczewką a elementem aktywnym wynosi 3 cm, natomiast ciśnienie w komorze próżniowej wynosi 10^{-6} mbara. Za pomocą diody IR wygenerowano wiązkę promieniowania elektromagnetycznego o długości fali 960 nm, którą skierowano za pomocą soczewki skupiającej na matrycę grafenową pod kątem 90° względem płaszczyzny matrycy grafenowej. Wiązkę białej emisji wygenerowanej przez matrycę grafenową w wyniku wzbudzenia odbito w ściankach reflektora umieszczonego wokół komory próżniowej pod kątem 45° względem elementu aktywnego. Uzyskano światło białe o ciepłej barwie i współczynniku CRI wynoszącym 100.

Przykład 6

W szklanej komorze umieszczono element aktywny w postaci pianki grafenowej o grubości 3 mm. Odległość pomiędzy soczewką a elementem aktywnym wynosi 3 cm, natomiast ciśnienie w komorze próżniowej wynosi 10^{-6} mbara. Za pomocą diody IR wygenerowano wiązkę promieniowania elektromagnetycznego o długości fali 808 nm, którą skierowano za pomocą soczewki skupiającej na matrycę grafenową pod kątem 90° względem płaszczyzny matrycy grafenowej. Wiązkę białej emisji wygenerowanej przez matrycę grafenową w wyniku wzbudzenia odbito w ściankach reflektora umieszczonego wokół komory próżniowej pod kątem 45° względem elementu aktywnego. Uzyskano światło białe o ciepłej barwie i współczynniku CRI wynoszącym 100.

Zastrzeżenia patentowe

1. Źródło światła białego zbudowane z próżniowej komory szklanej, zawierającej element aktywny optycznie, generatora wiązki promieniowania elektromagnetycznego promieniowania IR zaopatrzonego w laserową diodę IR, zasilacz, soczewkę skupiającą i opcjonalnie reflektor, **znamiennie tym**, że elementem optycznie aktywnym (2) umieszczonym w komorze próżniowej (8) jest cienkowarstwowa matryca grafenowa o grubości do 3 mm.
2. Źródło światła białego według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że element optycznie aktywny stanowi cienkowarstwowa matryca grafenowa w postaci proszku grafenowego, ceramiki grafenowej lub pianki grafenowej.
3. Źródło światła białego według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że element aktywny optycznie po wzbudzeniu wiązką promieniowania generowanego przez laserową diodę IR emituje światło białe o współczynniku CRI powyżej 96, korzystnie 98, korzystniej 100.

4. Źródło światła białego według zastrz. 1, **znamienne tym**, że promieniowanie generowane przez laserową diodę IR jest w zakresie bliskiej podczerwieni o długości fali 800–1200 nm, korzystnie 808–980 nm.
5. Źródło światła białego według zastrz. 1, **znamienne tym**, że wartość ciśnienia w komorze próżniowej zawierającej element aktywny optycznie jest w zakresie od 10^0 do 10^{-6} mbara, korzystnie 10^0 do 10^{-3} mbara.
6. Sposób generowania światła białego za pomocą źródła światła białego z zastrz. 1, **znamienny tym**, że za pomocą generatora wiązki promieniowania elektromagnetycznego generuje się wiązkę wzbudzącą o długości fali w zakresie 808–980 nm i mocy wzbudzenia 0,3–0,6 W, po czym wiązkę wzbudzącą przepuszcza się przez soczewkę skupiającą, a następnie kieruje się na matrycę grafenową pod kątem 45° – 90° względem płaszczyzny matrycy, która w wyniku wzbudzenia emituje promieniowanie z zakresu światła białego.
7. Sposób według zastrz. 6, **znamienny tym**, że wiązkę wzbudzącą kieruje się na matrycę grafenową pod kątem 90° względem płaszczyzny matrycy, po czym emitowaną w wyniku wzbudzenia matrycy grafenowej wiązkę promieniowaną z zakresu światła białego odbija się w reflektorze, którym skierowuje się wiązkę światła białego na zewnątrz.

Rysunki

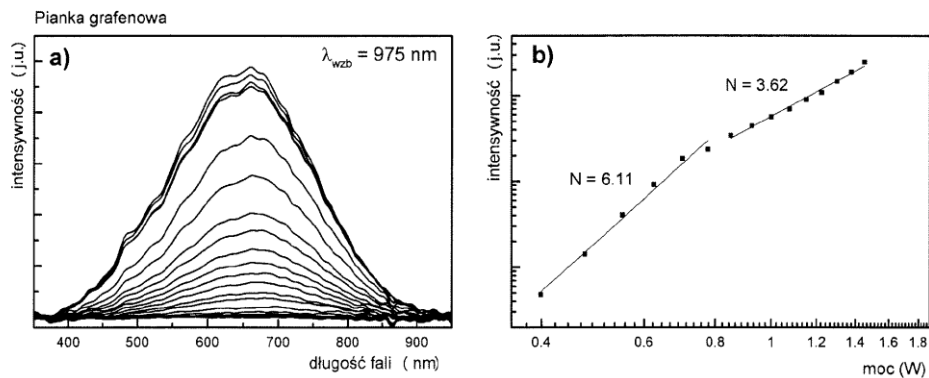


Fig.1

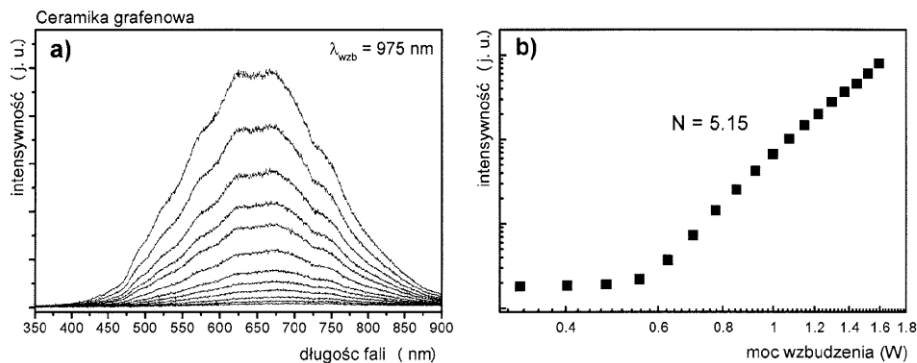


Fig.2

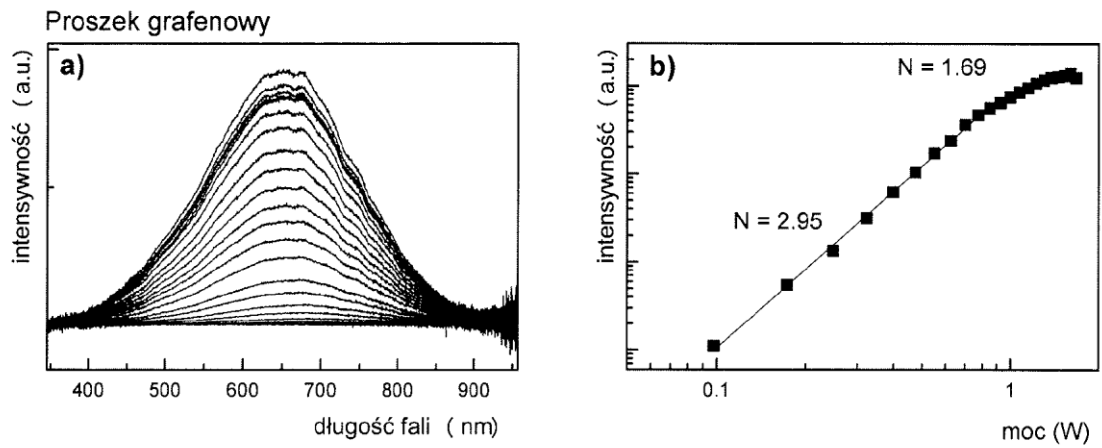


Fig.3

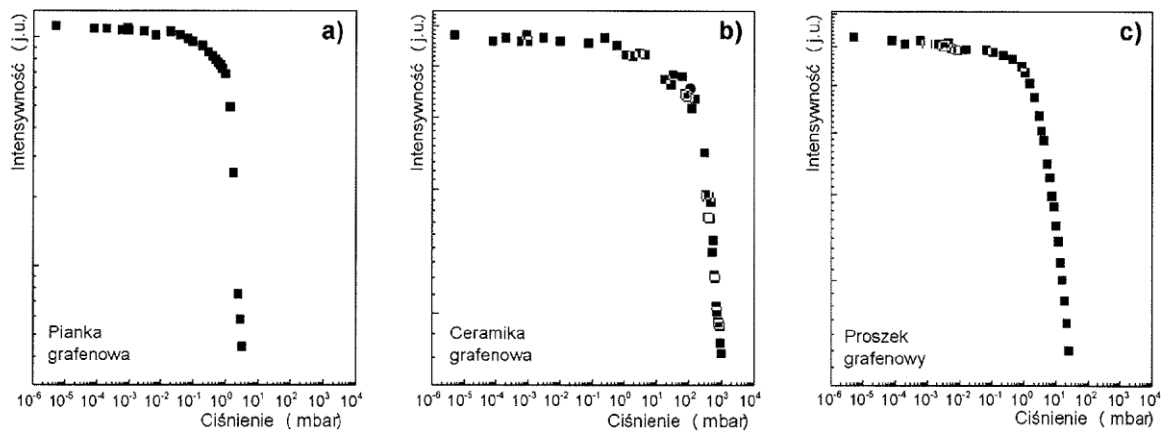
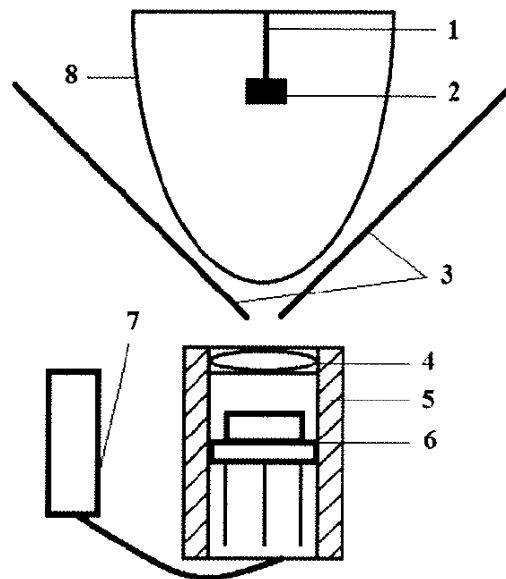
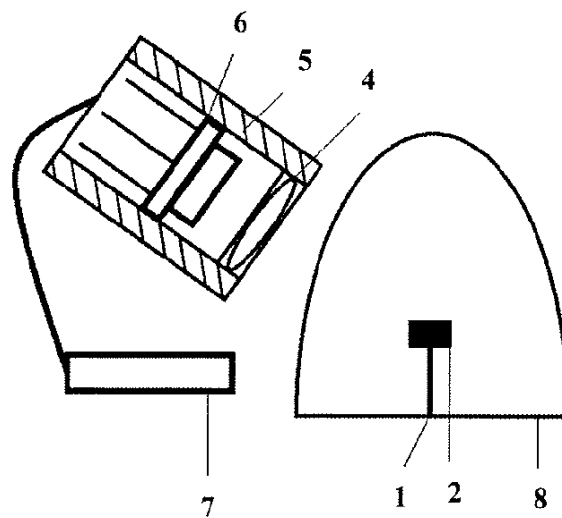


Fig.4

**Fig.5****Fig.6**