



Badanie chropowatości powierzchni gładkich za pomocą skaterometru kąтового. Cz. 2. Metodyka pomiaru. Wyniki pomiarowe wybranych powierzchni

ANDRZEJ PAWLATA

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki,
00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2, apawlata@wat.edu.pl

Streszczenie. W artykule opisano metodykę pomiaru parametrów chropowatości powierzchni za pomocą zbudowanego w IOE WAT zautomatyzowanego skaterometru kąтового. Zaprezentowano wyniki pomiarowe dla trzech wybranych polerowanych powierzchni: z krzemu, z germanu oraz ze stali nierdzewnej. Przedstawiono badania porównawcze wykonane za pomocą scatteroscope SCAT-4. Oszacowano powtarzalność pomiaru i zakres pomiarowy dla skaterometru kąтового.

Słowa kluczowe: chropowatość powierzchni, rozproszenie, funkcja *BSDF*, sygnatura, skaterometr
DOI: 10.5604/12345865.1145432

1. Wstęp

W pierwszej części artykułu przedstawiono definicje podstawowych parametrów chropowatości powierzchni. Omówiono także metodę obliczenia tych parametrów na podstawie wektorowej teorii rozpraszania światła dla powierzchni gładkiej. Opisano zbudowany w IOE zautomatyzowany skaterometr kątowy wykorzystujący powyższą metodę do pomiaru podstawowych parametrów chropowatości powierzchni. W drugiej części artykułu opisano metodykę pomiaru oraz zaprezentowano wyniki pomiarowe dla trzech wybranych polerowanych powierzchni: z krzemu, z germanu i ze stali nierdzewnej. Przedstawiono badania porównawcze chropowatości σ wykonane za pomocą scatteroscope SCAT-4. Oszacowano powtarzalność pomiaru i zakres pomiarowy dla zbudowanego w IOE skaterometru kąтового.

2. Metodyka badań

2.1. Przygotowanie powierzchni do badań

Skaterometr kątowy mierzy chropowatość powierzchni przy założeniu, że badana powierzchnia jest czysta, odbiciowa i gładka [3]. Terminy czysta i odbiciowa oznaczają, że badane rozproszenie jest zdominowane przez topografię powierzchni, a nie przez zanieczyszczenia powierzchniowe lub defekty podpowierzchniowe. Termin gładka oznacza, że chropowatość powierzchni σ jest mała w porównaniu do długości fali padającego na nią światła.

Do badań przygotowano trzy próbki: z germanu, ze stali nierdzewnej oraz z krzemu. Odpowiednią czystość tych powierzchni uzyskano przez dokładne mycie ich w spirytusie. Odbiciowość tych powierzchni wynikała z materiałów, z jakich były przygotowane. Gładkość uzyskano dzięki polerowaniu.

2.2. Parametry pomiaru

Ustalono, że pomiary chropowatości wszystkich trzech powierzchni będą prowadzone dla kąta padania światła laserowego $\theta_i = 15^\circ$.

Ze względu na dużą szybkość zmniejszania się natężenia światła rozproszonego wraz ze wzrostem kąta rozpraszania od wiązki zwierciadlanie odbitej (zwłaszcza dla małych kątów), zakres kątowy pomiaru mocy promieniowania rozproszonego został podzielony na pięć podzakresów z różnymi odległościami kątowymi pomiędzy punktami pomiarowymi [4]:

- do 2° od wiązki zwierciadlanie odbitej punkty pomiarowe są w odległości $0,1^\circ$,
- do 10° od wiązki zwierciadlanie odbitej punkty pomiarowe są w odległości $0,5^\circ$,
- do 20° od wiązki zwierciadlanie odbitej punkty pomiarowe są w odległości 1° ,
- do 30° od wiązki zwierciadlanie odbitej punkty pomiarowe są w odległości 2° ,
- do 90° od wiązki zwierciadlanie odbitej punkty pomiarowe są w odległości 5° .

Ustalono także, że w każdym punkcie pomiarowym liczba pomiarów będzie wynosiła 1000, zaś odstęp pomiędzy pomiarami 0 s (w rzeczywistości odstęp ten jest większy od zera i jest uwarunkowany szybkością i współdziałaniem odpowiednich programów MATLABA, karty NI 6014 i Windows XP dla tego komputera).

Dane aparaturowe wymagane do programu sterującego i obliczeniowego są następujące [4]:

- moc wiązki laserowej padającej na badaną powierzchnię: $P_i = 6,3$ mW,

- długość fali wiązki laserowej: $\lambda = 632,8$ nm,
- kąt bryłowy określony przez diafragmę aperturową soczewki przed fotopowielaczem: $\Omega = 2,02 \times 10^{-4}$ sr,
- transmisja soczewki T wynosi: 0,995 dla $\lambda = 632,8$ nm.

2.3. Pomiar sygnatury skaterometru

Przed badaniami chropowatości powierzchni wykonano pomiar tzw. sygnatury [2, 3], czyli pomiar mocy promieniowania rozproszonego występującego w układzie pomiarowym skaterometru (w zależności od kąta θ_s) bez obecności w nim badanej powierzchni, a następnie obliczono wartości funkcji BSDF sygnatury dla każdego punktu pomiarowego. Po wykonaniu pomiaru mocy promieniowania rozproszonego z badanej powierzchni (w zależności od kąta θ_s), w programie obliczeniowym odejmowano od niego (dla każdego punktu pomiarowego) wartość sygnatury. Otrzymany wynik służył do obliczenia funkcji BSDF badanej powierzchni w tych punktach, a następnie do obliczenia parametrów chropowatości tej powierzchni. Wyniki obliczeń funkcji BSDF sygnatury są przedstawione razem z wynikami obliczeń funkcji BSDF dla badanych powierzchni.

2.4. Pomiar współczynnika odbicia i pozycji bazowej fotopowielacza dla danej powierzchni

Przyjęto (w celu uproszczenia procesu pomiarowego), że czynnik polaryzacyjny $Q(\theta_s) = \sqrt{R(\theta_i)R(\theta_s)}$ będzie przybliżony przez współczynnik odbicia powierzchni $R(\theta_i)$. Przybliżenie to jest tym lepsze, im większy jest współczynnik odbicia powierzchni [3].

Przed wykonaniem pomiaru rozproszenia od badanej powierzchni zmierzono współczynnik odbicia tej powierzchni dla kąta padania $\theta_i = 15^\circ$ i długości fali światła $\lambda = 632,8$ nm. Pomiar ten przeprowadzono za pomocą miernika mocy lasera Coherent 212.

Drugim pomiarem wstępnym, przygotowującym właściwy proces pomiarowy, było ustalenie (przy pomocy odpowiedniego programu [4]) tzw. pozycji bazowej fotopowielacza, czyli jego możliwie najbliższego położenia kąтового wobec wiązki zwierciadlanie odbitej od badanej powierzchni, od którego może on mierzyć promieniowanie rozproszone. Wyniki pomiarów współczynnika odbicia i pozycji bazowej fotopowielacza dla wybranych powierzchni przedstawione są w tabeli 1.

TABELA 1

Pozycja bazowa fotopowielacza i współczynnik odbicia dla wybranych powierzchni

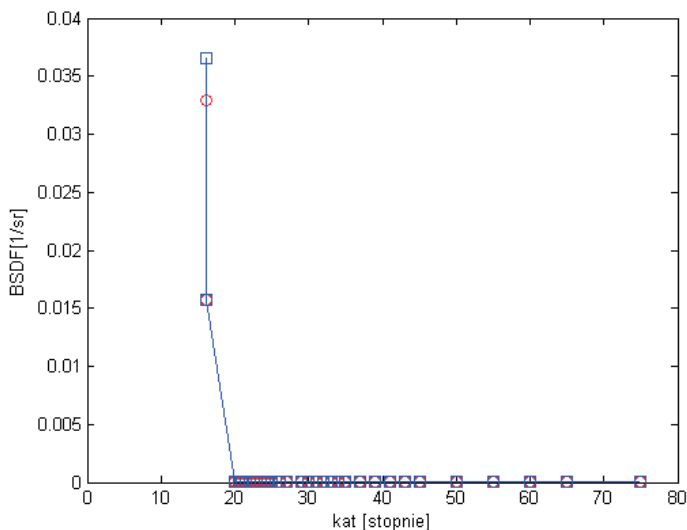
Powierzchnia	Poz. bazowa [°]	$R(\theta_i)$
krzem	1	0,36
german	1	0,51
stal nierdzewna	1,4	0,65

Pozycja bazowa fotopowielacza jednoznacznie określa minimalną wartość zakresu częstotliwości fal powierzchniowych (dla danego kąta padania θ_i i długości fali światła λ) dla mierzonych za pomocą skaterometru katowego parametrów chropowatości powierzchni.

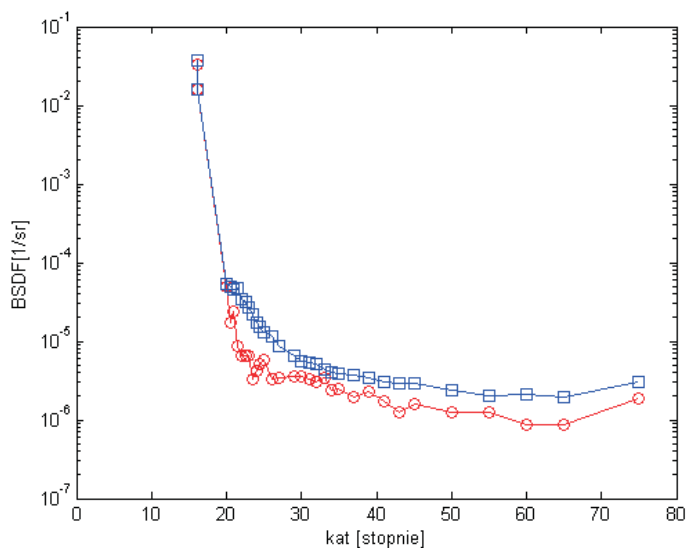
3. Przykładowe pomiary chropowatości wybranych powierzchni

Dla każdej z wybranych powierzchni przeprowadzono pomiary mocy promieniowania rozproszonego od powierzchni w zależności od kąta rozproszenia i dokonano obliczenia (w punktach pomiarowych) wartości funkcji *BSDF* tej powierzchni (uwzględniając wartości sygnatury układu). Następnie obliczono wartości funkcji *PSD* w tych punktach i parametry chropowatości badanej powierzchni.

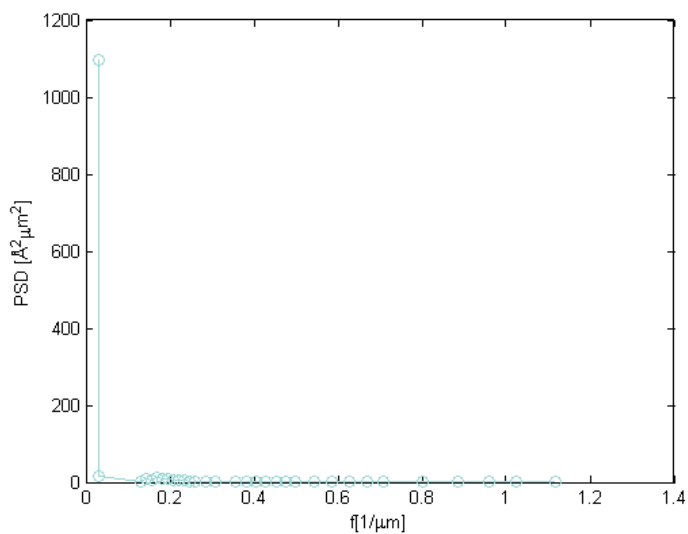
3.1. Wyniki pomiaru chropowatości dla powierzchni z krzemu



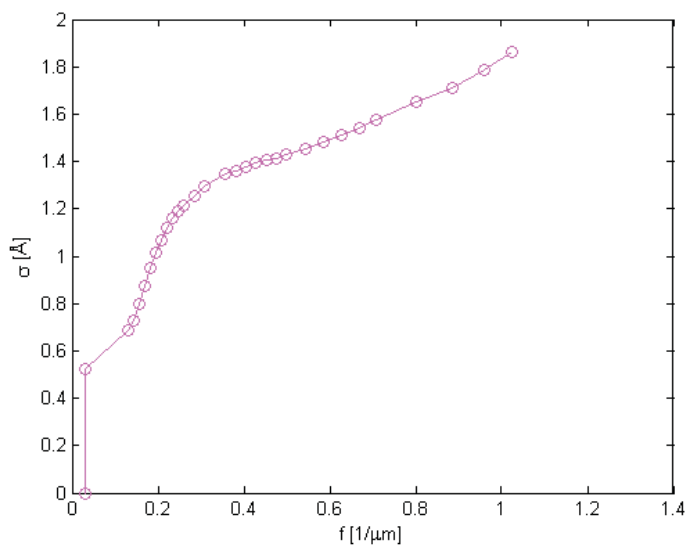
Rys. 1. *BSDF* (niebieska) i *BSDF* sygnatura (czerwona) w funkcji kąta rozproszenia θ , dla badanej powierzchni z krzemu



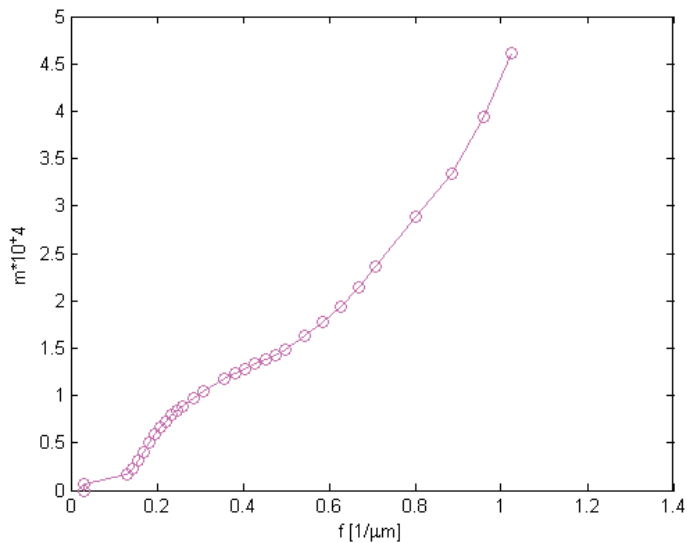
Rys. 2. BSRF (niebieska) i BSRF sygnatura (czerwona) w funkcji kąta rozproszenia θ_s (w skali logarytmicznej) dla badanej powierzchni z krzemu



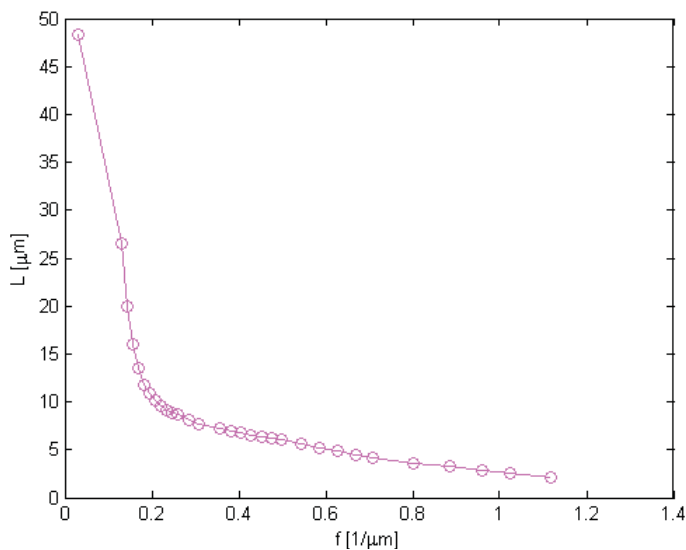
Rys. 3. PSD w funkcji częstotliwości f dla badanej powierzchni z krzemu



Rys. 4. Parametr σ jako funkcja częstości f dla badanej powierzchni z krzemu

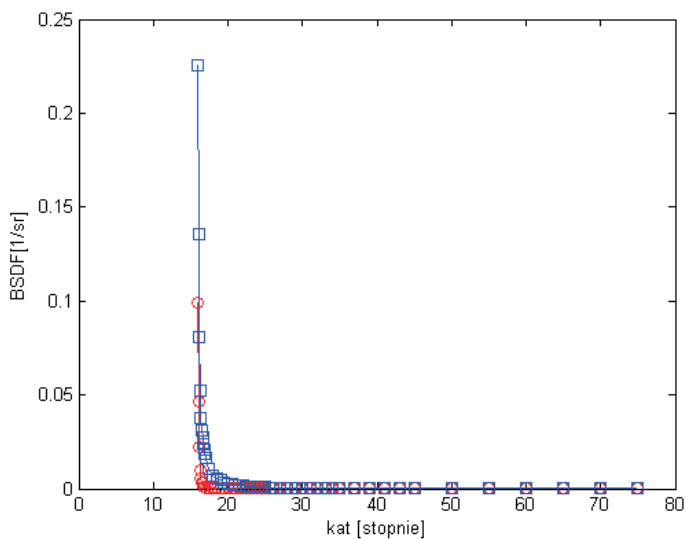


Rys. 5. Parametr m jako funkcja częstości f dla badanej powierzchni z krzemu

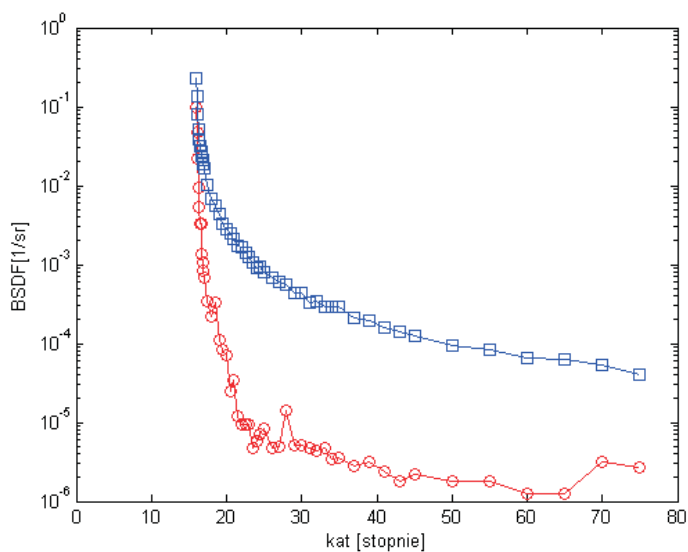


Rys. 6. Parametr l jako funkcja częstości f dla badanej powierzchni z krzemu

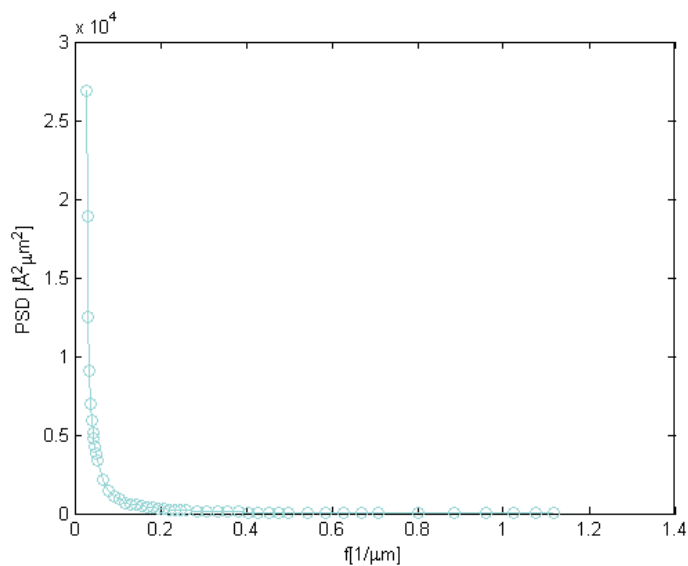
3.2. Wyniki pomiaru chropowatości dla powierzchni z germanu



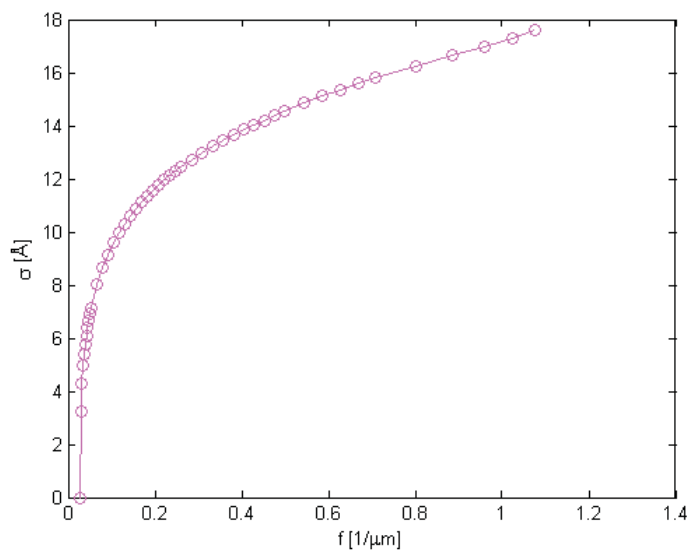
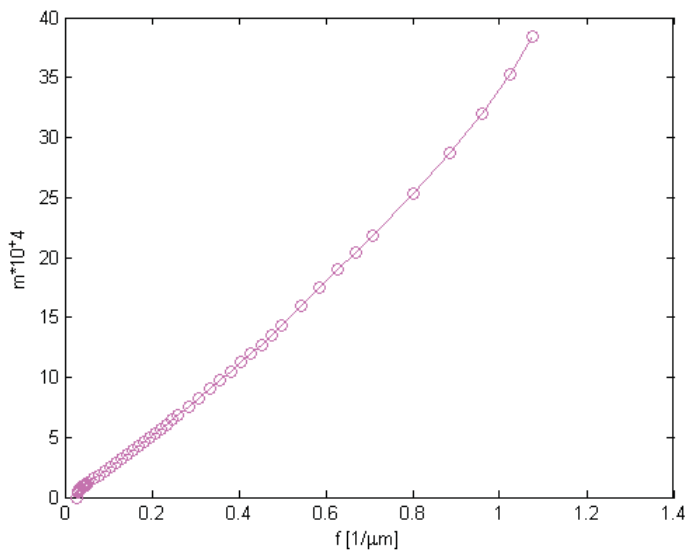
Rys. 7. BSRDF (niebieska) i BSRDF sygnatura (czerwona) w funkcji kąta rozproszenia θ_s dla badanej powierzchni z germanu

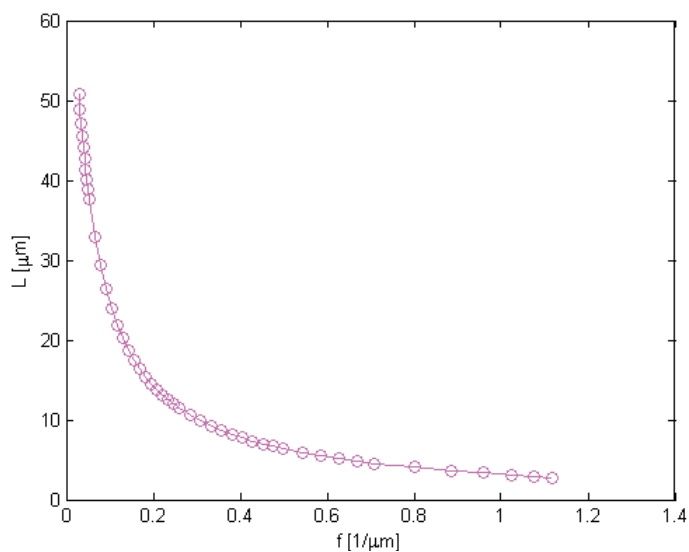


Rys. 8. BSRDF (niebieska) i BSRDF sygnatura (czerwona) w funkcji kąta rozproszenia θ_s (w skali logarytmicznej) dla badanej powierzchni z germanu



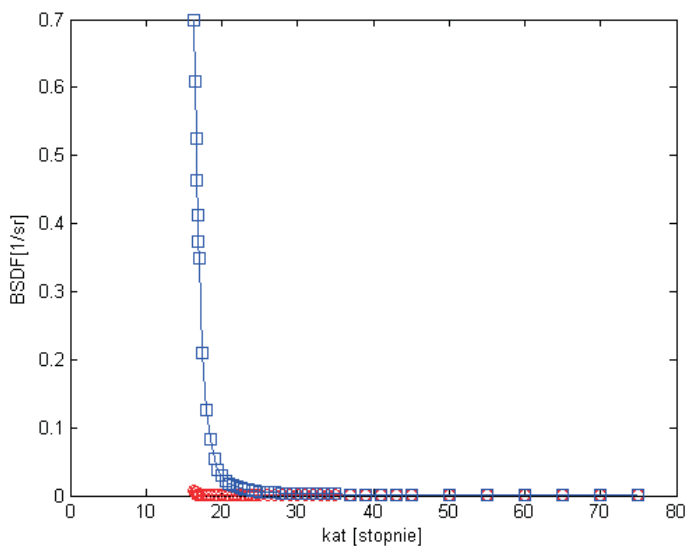
Rys. 9. PSD w funkcji częstości f dla badanej powierzchni z germanu

Rys. 10. Parametr σ jako funkcja częstości f dla badanej powierzchni z germanuRys. 11. Parametr m jako funkcja częstości f dla badanej powierzchni z germanu

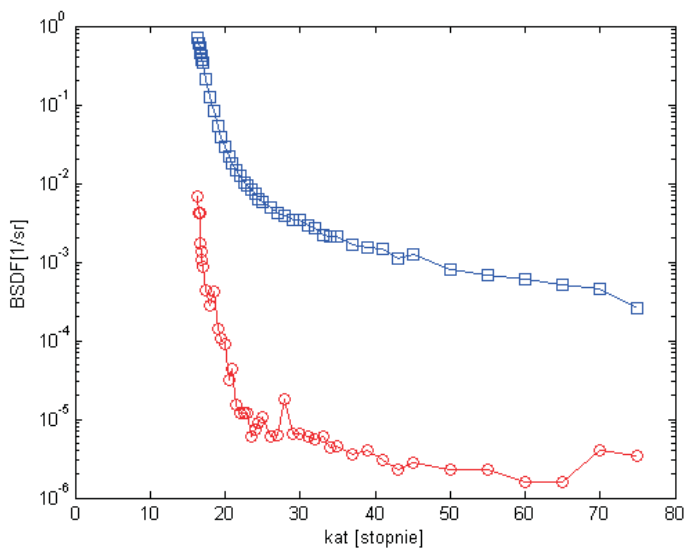


Rys. 12. Parametr l jako funkcja częstości f dla badanej powierzchni z germanu

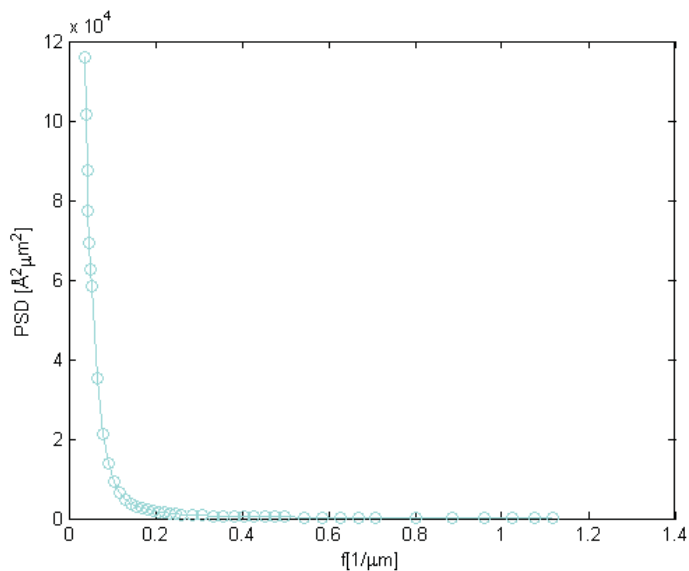
3.3. Wyniki pomiaru chropowatości dla powierzchni ze stali nierdzewnej



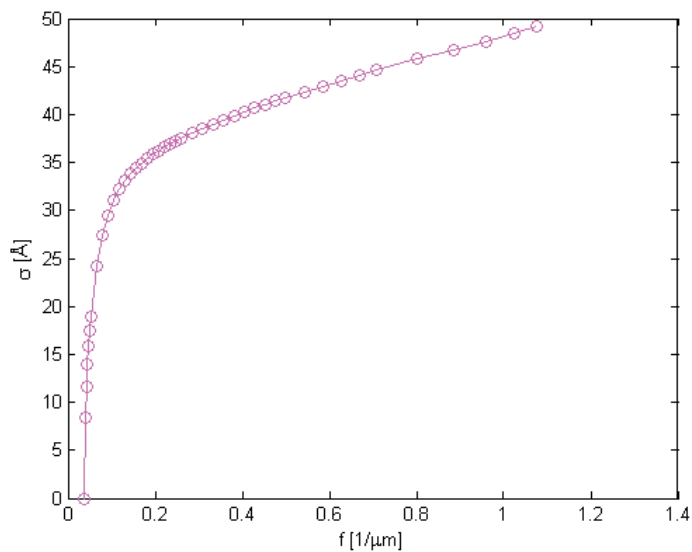
Rys. 13. $BSDF$ (niebieska) i $BSDF$ sygnatura (czerwona) w funkcji kąta rozproszenia θ_s dla badanej powierzchni ze stali nierdzewnej



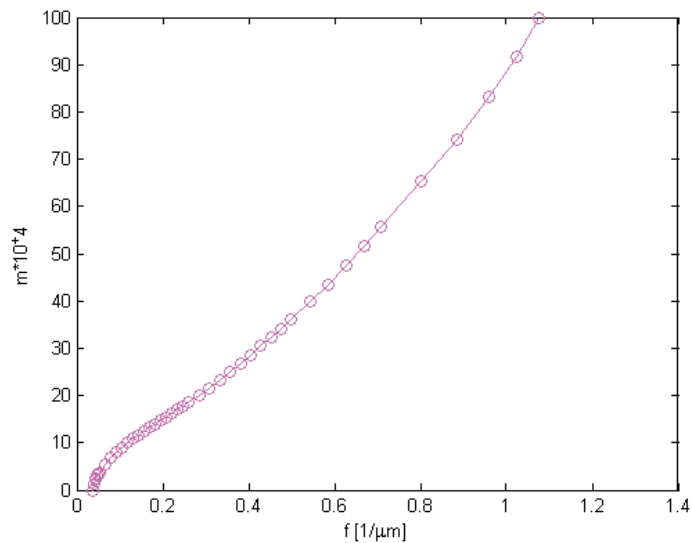
Rys. 14. *BSDF* (niebieska) i *BSDF* sygnatura (czerwona) w funkcji kąta rozproszenia θ_s (w skali logarytmicznej) dla badanej powierzchni ze stali nierdzewnej



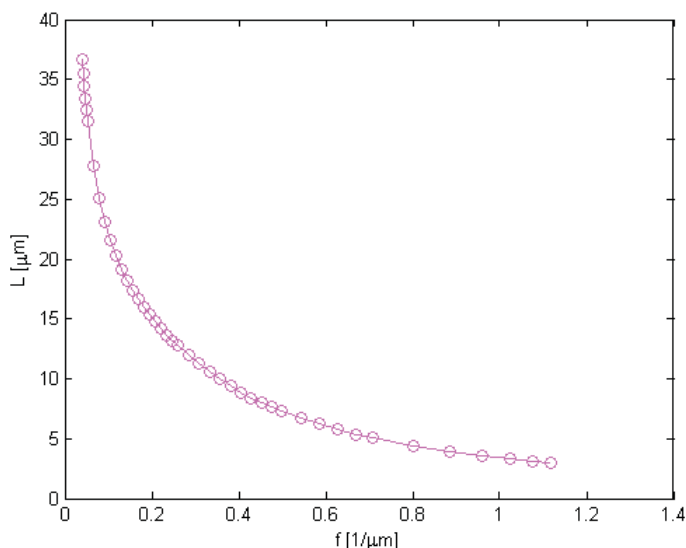
Rys. 15. *PSD* w funkcji częstości f dla badanej powierzchni ze stali nierdzewnej



Rys. 16. Parametr σ jako funkcja częstości f dla badanej powierzchni ze stali nierdzewnej



Rys. 17. Parametr m jako funkcja częstości f dla badanej powierzchni ze stali nierdzewnej



Rys. 18. Parametr l jako funkcja częstości f dla badanej powierzchni ze stali nierdzewnej

Porównując wartości funkcji $BSDF$ dla trzech wybranych powierzchni, widzimy, że najsłabsze rozproszenie (bliskie sygnaturze) występuje dla powierzchni z krzemu. Wartości funkcji $BSDF$ dla tej powierzchni są w zakresie: $(4 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-6}) \text{ sr}^{-1}$. Najsilniejsze rozproszenie natomiast występuje dla powierzchni ze stali nierdzewnej, wartości funkcji $BSDF$ tej powierzchni są w zakresie: $(0,7 - 2 \cdot 10^{-4}) \text{ sr}^{-1}$. Ma to swoje odzwierciedlenie w wynikach obliczeń parametrów chropowatości. Jak widzimy z rysunków:

- dla powierzchni z krzemu chropowatość σ wynosi ok. 2 \AA , nachylenie m wynosi ok. $4,5 \cdot 10^{-4}$, natomiast średnia powierzchniowa długość fali l to ok. 2 \mu m , dla zakresu częstości fal powierzchniowych $f = (0,029 - 1,119) \text{ \mu m}^{-1}$;
- dla powierzchni z germanu chropowatość σ wynosi ok. 18 \AA , nachylenie m wynosi ok. $40 \cdot 10^{-4}$, natomiast średnia powierzchniowa długość fali l to ok. 3 \mu m , dla zakresu częstości fal powierzchniowych $f = (0,027 - 1,119) \text{ \mu m}^{-1}$;
- dla powierzchni ze stali nierdzewnej chropowatość σ wynosi ok. 50 \AA , nachylenie m wynosi ok. $100 \cdot 10^{-4}$, natomiast średnia powierzchniowa długość fali l to ok. 4 \mu m , dla zakresu częstości fal powierzchniowych $f = (0,037 - 1,119) \text{ \mu m}^{-1}$.

4. Badania porównawcze

Dokonano weryfikacji poprawności wyników pomiarowych otrzymanych za pomocą skaterometru kąтового. W tym celu, z powodu braku wzorca chropowatości

powierzchni gładkiej, wykonano pomiary porównawcze chropowatości za pomocą przyrządu SCAT-4 zbudowanego w Instytucie Optyki Stosowanej. Przyrząd ten mierzy chropowatość powierzchni poprzez pomiar *TIS*, czyli całkowitego rozproszenia (obszar oświetlony wiązką laserową wynosi ok. 1 mm², minimalny zakres pomiarowy tego przyrządu wynosi 1 Å) [5].

Przygotowano powierzchnie z krzemu, germanu oraz stali nierdzewnej reprezentujące różne poziomy chropowatości. Wykonano serię 18 pomiarów chropowatości σ z różnych miejsc dla każdej powierzchni za pomocą SCAT-4 oraz skaterometru kąтового. Następnie obliczono wartość średnią chropowatości σ_{sr} oraz odchylenie standardowe σ serii pomiarów. Wyniki pomiarów i obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2
Wyniki pomiarów chropowatości i obliczeń parametrów statystycznych tych pomiarów dla trzech powierzchni uzyskanych za pomocą SCAT-4 i skaterometru kąтового

Powierzchnia	SCAT-4			skaterometr		
	σ_1 [Å]	σ_{1sr} [Å]	std (σ_1) [Å]	σ_2 [Å]	σ_{2sr} [Å]	std (σ_2) [Å]
krzem	2,5	2,7	0,2	2,7	3,1	0,7
	2,7			2,9		
	2,4			3,1		
	2,6			3,2		
	2,5			2,7		
	3,1			2,9		
	2,6			3,6		
	2,7			4,1		
	2,7			3,0		
	2,6			2,2		
	2,5			2,6		
	2,6			2,6		
	3,1			4,1		
	2,4			2,9		
	2,6			3,3		
	2,5			4,0		
	3,1			2,0		
	3,0			4,2		

cd. tabeli 2

german	26,1	28,0	2,3	28,2	26,3	4,7
	25,5			29,3		
	24,6			31,9		
	29,0			17,9		
	31,0			21,3		
	29,9			23,5		
	29,5			20,4		
	26,6			25,5		
	26,9			33,9		
	24,4			27,0		
	26,9			22,5		
	30,1			33,3		
	28,9			29,8		
	28,8			32,3		
	27,0			24,7		
	26,8			25,0		
	29,5			22,1		
	32,8			23,9		
stal nierdzewna	57,9	55,4	4,2	52,7	56,3	5,1
	57,4			52,4		
	50,7			57,3		
	54,1			51,3		
	58,4			51,8		
	53,1			50,9		
	49,5			54,4		
	52,0			69,3		
	57,7			59,2		
	47,0			56,7		
	59,3			61,7		
	55,0			55,4		
	57,6			65,1		
	53,6			56,7		
	55,1			58,2		
	61,8			55,9		
	54,1			55,4		
	63,7			49,7		

Badania porównawcze dotyczyły chropowatości średniej, ponieważ występują duże trudności przy pomiarze chropowatości dla tego samego obszaru na powierzchni próbki za pomocą dwóch różnych przyrządów (w tym wypadku jest to nawet niemożliwe ze względu na różnice w wielkości oświetlonego obszaru). Ponadto

mierząc chropowatość powierzchni, podaje się zwykle jej wartość średnią uzyskaną z pomiarów chropowatości w różnych miejscach na tej powierzchni.

Obserwuje się dość dobrą zgodność wyników σ_{sr} dla obu przyrządów. Porównując średnie wartości chropowatości powierzchni σ_{sr} uzyskane za pomocą skaterometru kąтового oraz scatteroscopu SCAT-4, widzimy, że:

- dla powierzchni z krzemu wynik σ_{2sr} (3,1 Å), otrzymany za pomocą skaterometru kąтового dla zakresu częstości fal powierzchniowych $f = (0,029-1,119) \mu\text{m}^{-1}$, różni się od wyniku σ_{1sr} (2,7 Å) otrzymanego za pomocą SCAT-4 o 0,4 Å i mieści się w przedziale $\sigma_{1sr} \pm 2 \cdot \text{std}(\sigma_1)$;
- dla powierzchni z germanu wynik σ_{2sr} (26,3 Å), otrzymany za pomocą skaterometru kąтового dla zakresu częstości fal powierzchniowych $f = (0,027-1,119) \mu\text{m}^{-1}$, różni się od wyniku σ_{1sr} (28,0 Å) otrzymanego za pomocą SCAT-4 o 1,7 Å i mieści się w przedziale $\sigma_{1sr} \pm 1 \cdot \text{std}(\sigma_1)$;
- dla powierzchni ze stali nierdzewnej wynik σ_{2sr} (56,3 Å), otrzymany za pomocą skaterometru kąтового dla zakresu częstości fal powierzchniowych $f = (0,037-1,119) \mu\text{m}^{-1}$, różni się od wyniku σ_{1sr} (5,4 Å) otrzymanego za pomocą SCAT-4 o 0,9 Å i mieści się w przedziale $\sigma_{1sr} \pm 1 \cdot \text{std}(\sigma_1)$.

Jeśli określimy względną różnicę pomiaru chropowatości średniej za pomocą skaterometru kąтового i SCAT-4 jako $(\sigma_{2sr} - \sigma_{1sr}) / \sigma_{1sr}$, to dla powierzchni krzemowej wynosi ona — 15%, dla powierzchni z germanu — 6%, natomiast dla powierzchni ze stali nierdzewnej — 2%. Wyraźnie większa wartość dla powierzchni krzemowej w porównaniu do pozostałych powierzchni może wynikać z większego wpływu różnicy zakresu częstości fal powierzchniowych skaterometru kąтового i SCAT-4 na pomiary chropowatości bardzo gładkiej powierzchni krzemowej (zakres częstości fal powierzchniowych dla SCAT-4 nie jest ściśle określony i wynosi ok. $f = (0,053-1,119) \mu\text{m}^{-1}$).

5. Powtarzalność pomiaru

Wykonano także badania powtarzalności pomiaru dla skaterometru kąтового. W tym celu zrobiono serię 16 pomiarów chropowatości σ tego samego obszaru dla powierzchni z krzemu, germanu oraz stali nierdzewnej reprezentujących różne poziomy chropowatości. Następnie dla każdego obszaru z tych trzech powierzchni obliczono σ_{sr} (średnią chropowatość) oraz $\text{std}(\sigma)$ — odchylenie standardowe serii 16 pomiarów. Każdy pomiar w serii rozpoczynał się justowaniem (na nowo) umocowanej w uchwycie próbki, czyli ustawieniem w płaszczyźnie padania kąta odbicia równego kątowi padania (kąt padania dla wszystkich trzech powierzchni wynosił 15°). Wyniki pomiarów i obliczeń przedstawiono poniżej w tabeli 3.

TABELA 3
Wyniki pomiarów chropowatości i obliczeń parametrów statystycznych dla wybranych powierzchni

powierzchnia	σ [Å]	σ_{sr} [Å]	std (σ) [Å]	std (σ)/ σ_{sr} [%]
krzem	3,6	3,6	0,1	2,8
	3,5			
	3,5			
	3,5			
	3,6			
	3,5			
	3,5			
	3,8			
	3,6			
	3,5			
	3,5			
	3,6			
	3,5			
	3,5			
3,7				
german	17,9	17,9	0,5	2,8
	17,9			
	18,9			
	19,1			
	18,3			
	18,0			
	17,8			
	17,8			
	17,8			
	17,6			
	17,5			
	17,6			
	17,6			
	17,5			
17,7				
17,7				

cd. tabeli 3

stal nierdzewna	39,5	39,2	0,3	1
	40,0			
	39,4			
	39,2			
	39,2			
	38,9			
	39,2			
	39,2			
	39,3			
	39,4			
	39,5			
	38,7			
	38,9			
	39,0			
	38,6			
	39,0			

Na podstawie powyższych wyników można przyjąć, że powtarzalność pomiaru chropowatości (na poziomie ufności 68%) określona zależnością std (σ)/ σ_{sr} dla zakresu pomiarowego (3,5-40) Å nie przekracza 3%.

6. Zakres pomiarowy zbudowanego skaterometru kąтового

Skaterometr kątowy mierzy chropowatość powierzchni przy założeniu, że badana powierzchnia jest czysta, odbiciowa i gładka [3]. Termin gładka określa, że zmiany wysokości powierzchni są małe w porównaniu do oświetlającej ją długości fali. Jako kryterium gładkości przyjmuje się zwykle kryterium Rayleigha [3]:

$$\left(\frac{4\pi\sigma \cos\theta_i}{\lambda} \right)^2 \ll 1. \quad (1)$$

Z tego kryterium wynika, że dla używanej długości fali $\lambda = 632,8$ nm (laser He-Ne) maksymalny zakres pomiarowy chropowatości σ skaterometru kąтового wynosi ok. 100 Å [3].

Minimalny zakres pomiarowy uwarunkowany jest rozróżnieniem i odjęciem (w programie obliczeniowym) od wyniku pomiaru rozproszenia (z badanej powierzchni) wyniku pomiaru sygnatury układu. Na podstawie dotychczasowych pomiarów (powierzchnia z krzemu) można przyjąć, że minimalny zakres pomiarowy dla tego skaterometru kąтового wynosi 2 Å.

Maksymalny zakres częstości fal powierzchniowych f dla tego skaterometru wynosi $(0,027-1,119) \mu\text{m}^{-1}$.

7. Podsumowanie i wnioski

W artykule opisano metodykę pomiaru funkcji $BSDF$, PSD oraz podstawowych parametrów chropowatości powierzchni za pomocą zbudowanego w IOE skaterometru kąтового. Przedstawiono wyniki pomiarów powyższych wielkości dla trzech wybranych powierzchni: z krzemu, z germanu i ze stali nierdzewnej. Wykonano badania porównawcze pomiaru chropowatości tych powierzchni za pomocą skateroskopu SCAT-4. Zaobserwowano dość dobrą zgodność wyników σ_{sr} dla obu przyrządów. Oszacowano powtarzalność pomiaru oraz zakres pomiarowy dla powyższego skaterometru kąтового. Przyjęto na podstawie wyników pomiarowych, że powtarzalność pomiaru wynosi 3%, natomiast zakres pomiarowy: $(2-100) \text{ \AA}$.

Zbudowane dotychczas w kraju przyrządy do pomiaru chropowatości powierzchni na podstawie pomiaru rozproszenia: SCAT-4 (Instytut Optyki Stosowanej) oraz SL 31 (Instytut Maszyn Matematycznych) mierzą chropowatość powierzchni σ poprzez pomiar TIS , czyli całkowitego rozproszenia. Zautomatyzowany skaterometr kątowy mierzy trzy parametry chropowatości (σ , m , l) poprzez pomiar funkcji $BSDF$, która w sposób pełniejszy opisuje obraz rozproszeniowy z badanej powierzchni. Dla jednoznaczności wyników pomiarowych, wartości zmierzonych parametrów chropowatości (niezależnie od przyjętej metody pomiarowej) powinno się podawać razem z zakresem częstości fal powierzchniowych f , dla którego prowadzono pomiary tych parametrów [3].

Praca była realizowana z PBW 858.

Artykuł wpłynął do redakcji 12.10.2010 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 27.01.2011 r.

LITERATURA

- [1] TMA Technologies, Inc. *TMA CASI Scatterometer System*, Technical Information, USA.
- [2] CHEEVER D.R., CADY F.M., KLICKER K.A., STOVER J.C., *Design review of a unique complete angle scatter instrument (CASI)*, Proceedings of the SPIE, vol. 818, 1987.
- [3] STOVER J.C., *Optical Scattering — measurement and analysis*, SPIE Optical Engineering Press, 1995.
- [4] PAWLATA A., *Zautomatyzowany skaterometr kątowy do badania chropowatości powierzchni gładkich*, IOE, Sprawozdanie roczne nr 2/2008.
- [5] CHABROS W., *Scatteroscope for testing polished surfaces*, Proceedings of the SPIE, vol. 5064, 2003.

A. PAWLATA

Examination of smooth surfaces roughness using angle scatterometer.

Part 2. The experimental procedure. The measurement results of chosen surfaces

Abstract. The experimental procedure for measurements of smooth surface roughness parameters using automated angle scatterometer, built at the Institute of Optoelectronics (IOE), is described. The results of measurements and their analysis for three chosen polished surfaces: silicon, germanium, and stainless steel are presented. The comparative investigations using scatteroscope SCAT-4 are performed. The repeatability and measurement range for built at IOE angle scatterometer is estimated.

Keywords: surface roughness, scattering, *BSDF* function, signature, scatterometer