

Maria SZAŁAJKO

WYBRANE WŁASNOŚCI SIARCZKU GALU

Streszczenie. Siarczek galu (GaS) jest obiecującym materiałem optoelektronicznym ze względu na szeroką przerwę energetyczną. Przedstawiono możliwości jego zastosowania. Opisano budowę krystaliczną GaS oraz jego strukturę energetyczną. Pokazano wyznaczone szerokości przerwy energetycznej i jej zależności temperaturowe. Porównano charakterystyki widmowe współczynników załamania i absorpcji otrzymane przez autorkę niniejszej pracy z wynikami dostępnymi w literaturze. Stwierdzono niezgodności zarówno co do wartości współczynników absorpcji i załamania, jak i ich zależności widmowych. Przedstawiono także temperaturowe zależności przewodnictwa elektrycznego i cieplnego oraz ruchliwości i koncentracji nośników ładunku.

SOME PROPERTIES OF GALLIUM SULPHIDE

Summary. The crystalline structure of GaS and its electronic band structure were described in this paper. The width of energy gap, spectral characteristics of refractive coefficient and absorption coefficients obtained by few authors were presented. Many disagreements in values of these coefficients and their temperature dependencies were observed. The temperature dependencies of electrical and thermal conductivity, values of charge carriers mobility and concentration of free charge carriers were also reported.

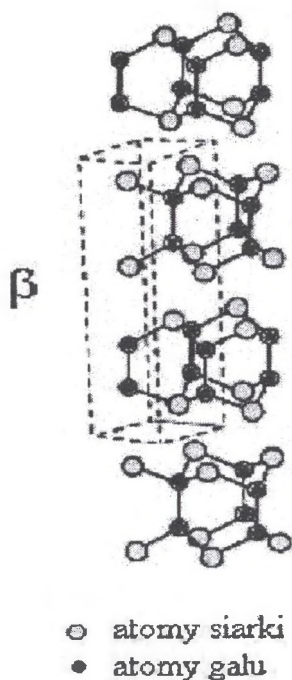
Siarczek galu (GaS) jest stosunkowo mało zbadanym półprzewodnikiem o szerokiej przerwie energetycznej, $E_g(T = 295 \text{ K}) = 2.5 \text{ eV}$ [10], należącym do grupy $A^{III}B^{VI}$. Jest barwy jasnożółtej, jego gęstość wynosi $3.86 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ [33]. Krystalizuje w strukturze warstwowej w układzie heksagonalnym o symetrii grupy przestrzennej D_{6h}^4 [30], której oś c jest prostopadła do warstw. Każdy atom galu jest tetraedrycznie związany z trzema atomami siarki i jednym atomem galu. Atomy galu tworzą dwie wewnętrzne warstewki, natomiast atomy siarki – dwie zewnętrzne, w wyniku czego powstają warstwy, a atomy siarki i galu są ułożone wzdłuż osi c , według sekwencji S-Ga-Ga-S. Układ atomów w warstwach jest charakterystyczny dla politypu β , jedyne spośród politypów półprzewodników warstwowych (β , γ , ε , δ), w których występuje GaS. Komórka elementarna zawiera atomy dwóch warstw (rys. 1), a jej parametry oraz odległości międzyatomowe, według różnych publikacji, przedstawia tabela 1. Wiązania pomiędzy atomami wewnątrz poszczególnych warstw są kowalencyjne z niewielkim udziałem sił jonowych, natomiast warstwy są związane siłami van der Waalsa. Słabe oddziaływania międzywarstwowe umożliwiają łupanie monokryształów i uzyskiwanie cienkich płytek monokrystalicznych o grubości rzędu mikrometrów.

Tabela 1

Stałe sieci krystalicznej i odległości międzyatomowe wyznaczone przez różnych autorów

Literatura	a_s [nm]	c_s [nm]	Odległości międzyatomowe				
			wewnątrz warstw			pomiędzy warstwami	
			S-Ga [nm]	Ga-Ga [nm]	S-S [nm]	S-S [nm]	Ga-S [nm]
[14]	0.3585	1.55	0.234	0.248	0.465		
[26]	0.3587	1.5492	0.2334	0.2447	0.4599	0.3768	0.4223
[25]	0.3592	1.5465					

Monokryształy GaS są otrzymywane głównie dwiema metodami. Są to: metoda Bridgmana-Stockbargera oraz metoda wzrostu kryształów z fazy



Rys. 1. Struktura GaS [14]

Fig. 1. Crystallographic structure of GaS [14]

gazowej za pomocą chemicznego transportu jodem [28]. Można je otrzymać także metodą sublimacji [23].

Siarczek galu jest obiecującym materiałem optoelektronicznym. Ze względu na szeroką przerwę energetyczną uważa się, iż może on znaleźć zastosowanie jako źródło i odbiornik promieniowania w zakresie widzialnym [5]. Badania pokazują, że wykazuje on własności luminescencyjne i elektroluminescencyjne [18], a intensywność luminescencji jest znacznie większa dla GaS domieszkowanego, zwłaszcza pierwiastkami z grupy ziem rzadkich (np. Yb, Nd, Er, Ho, Eu) [36]. Niewielka gęstość niewysyconych wiązań na powierzchni kryształu GaS umożliwia [32] użycie go do produkcji heterozłączy z małą gęstością powierzchniowych stanów zlokalizowanych.

Jedną z unikalnych technik wykonywania heterozłączy z użyciem półprzewodników warstwowych jest metoda tzw. kontaktu optycznego [6]. Po-

lega ona na łączeniu dwóch półprzewodników o powierzchniach bardzo wysokiej czystości przez ich wzajemne przycieranie lub przez wywieranie pewnego ciśnienia na położone jeden na drugim dwa półprzewodniki. Mechaniczna wytrzymałość takiego łączenia powierzchni, zbliżonych do siebie na odległość rzędu oddziaływania sił międzycząsteczkowych, jest porównywalna z wytrzymałością wewnątrz materiału. Kontakty optyczne z powodzeniem mogą być stosowane w optyce, pod warunkiem że powierzchnie łączonych półprzewodników mają nierówności nie większe niż 0.25 długości fali światła. Aby tak otrzymane heterozłącza miały charakterystyki elektryczne porównywalne z prawie idealnymi złączami typu p-n, wymagania dotyczące jakości powierzchni łączonych półprzewodników są znacznie wyższe (niewielka ilość defektów powierzchniowych, własności powierzchni porównywalne z własnościami w objętości, odległości między łączonymi powierzchniami nie większe od rozmiarów komórki elementarnej). Takie własności powierzchni najłatwiej uzyskać dla półprzewodników warstwowych.

Domieszkowanie kryształów GaS różnymi rodzajami domieszek prowadzi do zauważalnych zmian ich własności elektrycznych i fotoelektrycznych. Dzięki istnieniu stanów zlokalizowanych w zabronionej przerwie energetycznej domieszkowanego siarczku galu może on być zastosowany np. w układach przełączających [32].

Teoretyczną analizę struktury energetycznej stanów elektronowych siarczku galu przedstawiono w kilku publikacjach. W pracy [7] obliczono strukturę energetyczną GaS posługując się metodą półempiryczną i stosując przybliżenie silnego wiązania w modelu dwuwymiarowym. Stwierdzono, że GaS posiada skośną przerwę energetyczną i występuje ona pomiędzy punktami Γ_1^+ i P_1^+ , a jej szerokość wynosi 2.7 eV. Uwzględnienie oddziaływań międzywarstwowych nie wpływa w sposób istotny na otrzymane wyniki.

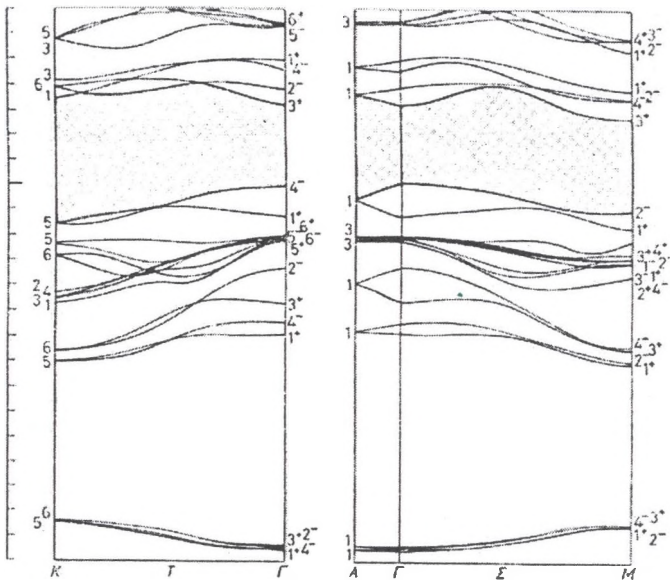
Wyznaczona struktura energetyczna różni się jednak od uzyskanej w pracy [20], której autorzy posłużyli się również metodą półempiryczną analogiczną do zastosowanej w pracy [7], uwzględnili jednak także dane doświadczalne współczynnika odbicia i absorpcji optycznej. Skośną prze-

rwę energetyczną określono pomiędzy punktami Γ i K , a jej szerokość to 2.8 eV.

Nieco zmodyfikowaną w stosunku do pracy [7] metodę wyznaczenia struktury energetycznej przedstawiono w pracy [15]. Autorzy wskazują, że wierzchołek pasma walencyjnego występuje w punkcie Γ , a minimum pasma przewodnictwa w punkcie M . Wyznaczono dwie przerwy energetyczne: skośną o szerokości 2.5 eV i prostą, nieco szerszą – 3.0 eV.

W pracy [14] obliczono strukturę energetyczną politypu β siarczku galu metodą empirycznego pseudopotencjału. Z obliczeń wynika, że skośne przejścia optyczne występują pomiędzy wierzchołkiem pasma walencyjnego w punkcie Γ a dnem pasma przewodnictwa w punkcie M , przy czym przerwa skośna jest o 0.7 eV mniejsza od przerwy prostej. Strukturę energetyczną przedstawioną w tej pracy pokazuje rysunek 2.

Autorzy powyższych publikacji nie podają danych doświadczalnych, nie ma więc możliwości skonfrontowania ich z wynikami teoretycznymi.



Rys. 2. Struktura pasmowa β -GaS [14]

Fig. 2. Electronic band structure of β -GaS [14]

Siarczek galu wykazuje anizotropię własności optycznych. Jest kryształem dwójłomnym jednoosiowym [29]. Jego oś optyczna pokrywa się z osią symetrii c . Niestety, dane literaturowe dotyczące jego własności optycznych wykazują istotne różnice.

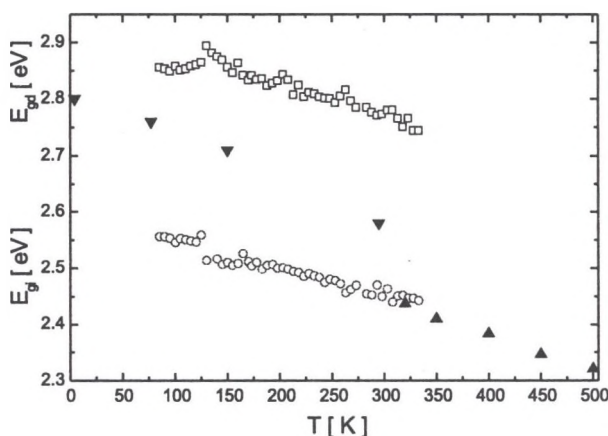
Szerokość przerwy energetycznej GaS była badana przez wielu autorów, w różnych temperaturach. Jednak podane przez nich wartości różnią się między sobą. Zestawienie szerokości przerwy energetycznej zawiera tabela 2.

Tabela 2

Szerokości przerw energetycznych GaS prostej i skośnej wyznaczone przez różnych autorów w badaniach optycznych

Literatura	Typ przerwy energ.	E_g [eV]			
		$T = 4.2$ K	$T = 77$ K	$T = 295$ K	$T = 300$ K
[16]	E_g^i	2.80 ± 0.01	2.76 ± 0.01	2.58 ± 0.01	
[10]	E_g^i	2.65 ± 0.05	2.62 ± 0.05	2.50 ± 0.05	
[28]	E_g^i			2.55	
[12]	E_g^i				2.376
[11]	E_g^i			2.62	
[4]	E_g^i		2.591 ± 0.002		
[28]	E_g^d			2.90	
[12]	E_g^d				2.9
[11]	E_g^d			3.1	
[19]	E_g				2.43

Temperaturowe zależności szerokości przerwy energetycznej w szerszym zakresie temperatur podane zostały jedynie w pracach: [16] – w temperaturach od 4.2 K do 295 K, oraz [19] – w temperaturach od 300 K do 500 K. Nie jest jednak sprecyzowane, czy wyznaczone szerokości przerwy energetycznej dotyczą przerwy skośnej czy prostej. Charakterystyki te w zestawieniu z wynikami uzyskanymi przez autorkę niniejszej pracy pokazano na rys. 3. W dostępnej literaturze brak jest potwierdzenia temperaturowych zależności przerwy energetycznej przez innych badaczy.



Rys. 3. Temperaturowe zależności szerokości przerwy energetycznej (\blacktriangle – [19], \blacktriangledown – [16], \square – E_g^d , \circ – E_g^i wyniki uzyskane przez autorkę niniejszej pracy)

Fig. 3. Temperature dependencies of the width of energy gaps (\blacktriangle – [19], \blacktriangledown – [16], \square – E_g^d , \circ – E_g^i the results obtained by author of this paper)

W pracy [21] stwierdzono, że zależność przerwy energetycznej od temperatury dla półprzewodników o szerokiej przerwie jest związana z rozszerzalnością cieplną kryształu i oddziaływaniami nośników ładunku z siecią krystaliczną. Związek ten wyraża się wzorem:

$$\left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_0 + \left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_V,$$

gdzie: $\left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_P$ – współczynnik temperaturowej zależności szerokości przerwy energetycznej przy stałym ciśnieniu, $\left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_V$ – składnik związany z oddziaływaniami nośników ładunku z drganiami sieci krystalicznej, $\left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_0 = -\frac{\beta}{\gamma_T} \left(\frac{\partial E_g}{\partial P}\right)_T$ – składnik związany z rozszerzalnością cieplną kryształu (β – współczynnik objętościowej rozszerzalności cieplnej, γ_T – średni współczynnik ściśliwości izotermicznej).

W pracy [21] podano również wartości powyższych współczynników. Wynoszą one:

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_P &= -5.5 \cdot 10^{-4} \text{ eV K}^{-1}, \\ \left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_0 &= 3.62 \cdot 10^{-4} \text{ eV K}^{-1}, \\ \left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_V &= -9.12 \cdot 10^{-4} \text{ eV K}^{-1},\end{aligned}$$

$\beta = 27.5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ $\gamma_T = 9.7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2\text{N}^{-1}$ (w temperaturze pokojowej).

Nieco inne wartości podaje praca [33] (w temperaturze pokojowej): $\gamma_{\perp} = 3.0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2\text{N}^{-1}$ w kierunku prostopadłym do osi optycznej, $\gamma_{\parallel} = 3.7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2\text{N}^{-1}$ w kierunku równoległym do osi optycznej.

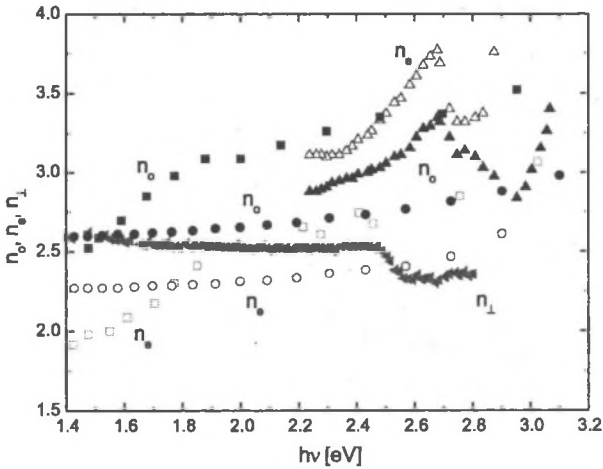
Szerokość przerwy energetycznej zależy również od ciśnienia. Zależność tę charakteryzuje współczynnik, którego wartość wynosi:

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial E_g}{\partial P}\right)_T &= -135 \cdot 10^{-12} \text{ eV Pa}^{-1} & [21], \\ \left(\frac{\partial E_g}{\partial P}\right)_T &= -110 \cdot 10^{-12} \text{ eV Pa}^{-1} & [21].\end{aligned}$$

Badania części rzeczywistej współczynnika załamania, przeprowadzone przez różnych autorów, wykazują rozbieżności dotyczące zarówno ich wartości, jak i oceny, czy kryształ jest optycznie ujemny (tzn. prędkość promienia zwyczajnego jest mniejsza od prędkości promienia nadzwyczajnego; $n_o > n_e$) czy dodatni. Zestawienie widmowych zależności współczynnika załamania przedstawionych w kilku pracach oraz uzyskanych przez autorkę niniejszej pracy pokazano na rysunku 4. W większości prac stwierdzono, iż GaS jest optycznie ujemny. Natomiast w pracy [1] autorzy wykazują, że GaS jest kryształem optycznie dodatnim.

Podane przez różnych autorów wartości części rzeczywistych współczynników załamania promienia zwyczajnego n_o i nadzwyczajnego n_e również są rozbieżne. Na przykład, dla światła o długości fali 500 nm (2.48 eV) wartości te, w temperaturze pokojowej, wynoszą: $n_o = 2.8$, $n_e = 2.4$ [29].

W dostępnej literaturze niestety brak danych na temat wpływu temperatury na współczynnik załamania GaS.



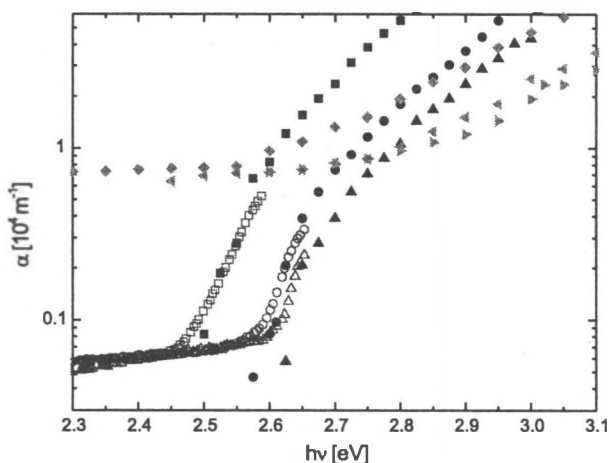
Rys. 4. Widmowe zależności części rzeczywistej współczynnika załamania GaS w temperaturze pokojowej (■ - n_o , □ - n_e [9], ● - n_o , ○ - n_e [29], ▲ - n_o , △ - n_e [1], ◄ - n_{\perp} wyniki uzyskane przez autorkę tej pracy dla światła padającego prostopadłe do warstw badanej próbki)

Fig. 4. Spectral dependencies of the refractive coefficients of GaS at room temperature (■ - n_o , □ - n_e [9], ● - n_o , ○ - n_e [29], ▲ - n_o , △ - n_e [1], ◄ - n_{\perp} the results obtained by author of this paper for light incident perpendicular to the layers of the sample)

W publikacjach występują także niezgodności dotyczące wartości współczynnika absorpcji. Przykładowo, wartość współczynnika absorpcji dla energii fotonów 2.8 eV w temperaturze pokojowej wynosi: $\alpha = 6 \cdot 10^4 \text{ m}^{-1}$ [8], $\alpha = 1.8 \cdot 10^4 \text{ m}^{-1}$ [16].

Niezgodności, które dotyczą przebiegu charakterystyk widmowych współczynnika absorpcji w kilku temperaturach zilustrowano na rysunku 5. Jak widać, wyniki uzyskane w [8] i przez autorkę tej pracy są zgodne w zakresie 2.45 eV ÷ 2.55 eV, natomiast znacznie się różnią od wyników pracy [16].

Badanie własności elektrycznych siarczku galu, szczególnie efektu Halla, przysparza wiele problemów ze względu na wysoką rezystywność i niewielką ruchliwość nośników ładunku elektrycznego. Ponadto wyniki pomiarów



Rys. 5. Widmowe zależności współczynnika absorpcji GaS w różnych temperaturach (■ - $T = 300$ K, ● - $T = 140$ K, ▲ - $T = 78$ K [8]; ◆ - $T = 295$ K, ◀ - $T = 150$ K, ▶ - $T = 77$ K [16]; □ - $T = 298$ K, ○ - $T = 140$ K, △ - $T = 80$ K - wyniki otrzymane przez autorkę niniejszej pracy)

Fig. 5. Spectral dependencies of the refractive coefficients of GaS at different temperatures (■ - $T = 300$ K, ● - $T = 140$ K, ▲ - $T = 78$ K [8]; ◆ - $T = 295$ K, ◀ - $T = 150$ K, ▶ - $T = 77$ K [16]; □ - $T = 298$ K, ○ - $T = 140$ K, △ - $T = 80$ K - the results obtained by author of this paper)

przewodnictwa elektrycznego, ruchliwości i koncentracji ładunków oraz ich zależności temperaturowych bardzo silnie zależą od metody i technologii otrzymywania monokryształów, a także od tego, czy pomiary są prowadzone przy grzaniu czy przy chłodzeniu badanych próbek [27]. Wartości przewodnictwa elektrycznego właściwego, ruchliwości oraz koncentracji nośników ładunku w temperaturze pokojowej, wyznaczone poprzez badanie efektu Halla lub foto-Halla przez różnych autorów, zawiera tabela 3.

Bardzo niewiele jest danych dotyczących anizotropii własności elektrycznych GaS, ze względu na trudności w otrzymaniu monokryształów o odpowiedniej grubości [23], a tym samym o wystarczająco dużej powierzchni równoległej do osi c .

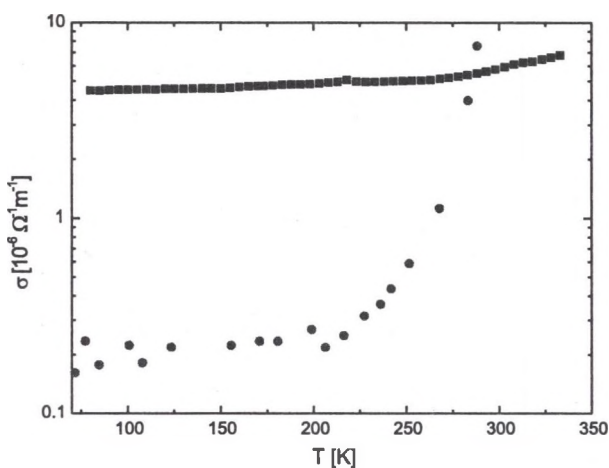
Tabela 3

Przewodnictwo elektryczne właściwe, ruchliwość i koncentracja nośników ładunku w temperaturze pokojowej wyznaczone przez różnych autorów

Literatura	Typ	σ_{\perp}	n_{\parallel}	$\mu_{n\perp}$	$\mu_{h\perp}$	n_e	n_h
		$[10^{-5} \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}]$		$[10^{-4} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}]$		$[10^{15} \text{ m}^{-3}]$	
[13]	<i>n</i>	1		25			
[3]	<i>n</i>	1		15 ÷ 40			
[31]	<i>n</i>	0.6		10		39	
[24]	<i>n</i>			16			
[23]*	<i>n</i>	4 ÷ 7		23 ÷ 27			
[27]	<i>n</i>	$5 \cdot 10^{-5} \div 10$				0.1 ÷ 1000	
[34]	<i>n</i>	0.1 ÷ 1.2		2 ÷ 25			
[27]	<i>p</i>	$5 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-2}$					0.05 ÷ 50
[24]	<i>p</i>			16	12		
[23]	<i>p</i>	0.02 ÷ 0.1	$3.3 \div 8 \cdot 10^{-4}$				
[23]*	<i>p</i>	0.3			4.3 ÷ 7.4		

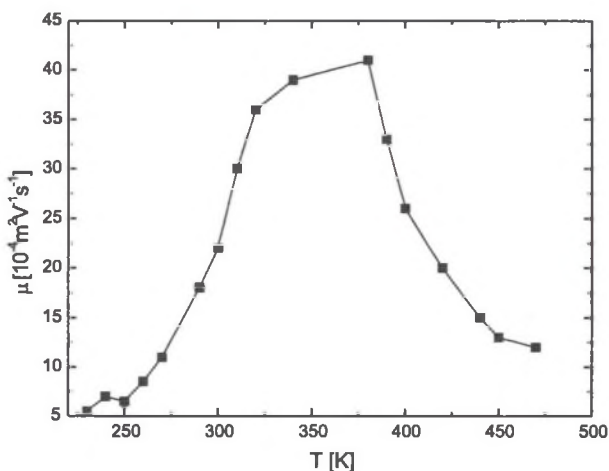
* pomiary wykonano dla próbki oświetlonej

Temperaturowe zależności przewodnictwa elektrycznego i koncentracji nośników ładunku dla siarczku galu typu *n* i typu *p* w zakresie 300 K ÷ 900 K badane były w pracy [27]. W [3] badano zależność temperaturową przewodnictwa elektrycznego GaS typu *n* w zakresie od 77 K do 500 K oraz ruchliwości nośników ładunku w zakresie od 200 K do 500 K (poniżej 200 K nie udało się jej wyznaczyć). Rysunek 6 pokazuje zależność temperaturową przewodnictwa elektrycznego właściwego dla GaS typu *n* otrzymane w pracy [3] oraz wyniki uzyskane przez autorkę niniejszej pracy w zakresie od 80 K do 300 K. Natomiast rysunek 7 przedstawia temperaturowe zależności ruchliwości elektronów w zakresie od 200 K do 500 K podane przez autorów [3].



Rys. 6. Temperaturowa zależność przewodnictwa elektrycznego właściwego (● – [3], ■ – wyniki otrzymane przez autorkę)

Fig. 6. Temperature dependence of conductivity (● – [3], ■ – the results obtained by author of this paper)

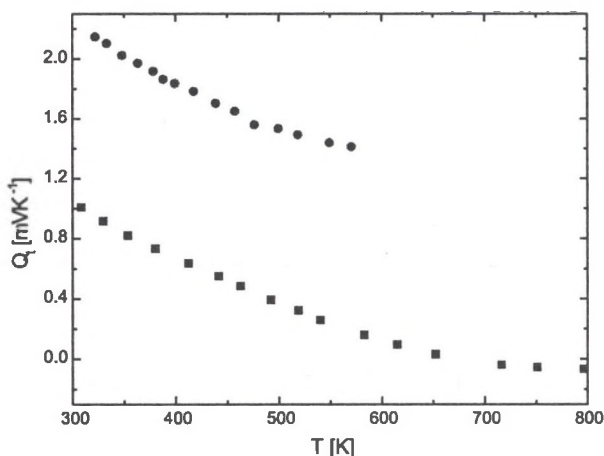


Rys. 7. Temperaturowa zależność ruchliwości elektronów [3]

Fig. 7. Temperature dependence of electron mobility [3]

Długość drogi dyfuzji nośników ładunku dla GaS podaje jedynie praca [17]; długość ta wynosi dla elektronów $12.62 \cdot 10^{-12}$ m, a dla dziur $17.26 \cdot 10^{-12}$ m.

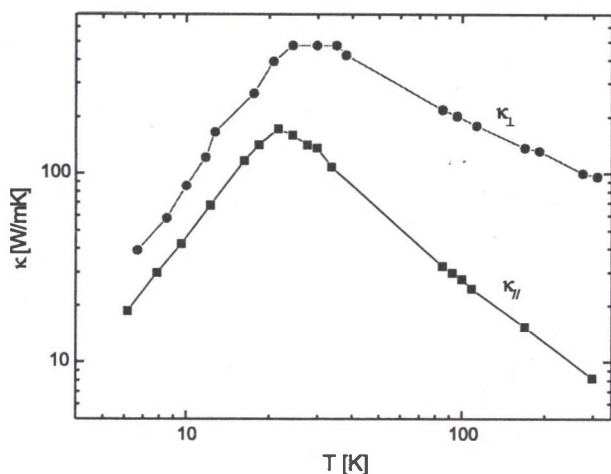
W pracach [22, 35] przeprowadzono pomiary temperaturowych zależności siły termoelektrycznej Q_t . Przedstawiono je na wykresie na rysunku 8. Wyniki tych badań nieco odbiegają od siebie.



Rys. 8. Zależność siły termoelektrycznej od temperatury (• – [22], ■ – [35])
Fig. 8. Temperature dependence of thermoelectric power (• – [22], ■ – [35])

Siarczek galu jest półprzewodnikiem wykazującym anizotropię własności optycznych i elektrycznych. Stwierdzono również anizotropię przewodnictwa cieplnego [2]. Ilustruje to rysunek 9.

Analiza dostępnych w literaturze wyników badań krystalicznego siarczku galu pozwala stwierdzić, że istnieje wiele rozbieżności dotyczących zarówno wartości jego parametrów optycznych, jak również ich charakterystyk widmowych i temperaturowych. Niewiele jest dostępnych wyników badań parametrów optycznych (współczynnika absorpcji i szerokości przerwy energetycznej) w szerokim zakresie temperatur. Dotyczy to również własności elektrycznych. Ponadto własności elektryczne GaS, według [27], silnie zależą od sposobu otrzymywania monokryształów oraz przyjętej metody ich badania. Siarczek galu wymaga więc bardziej szczegółowych i wnikliwych badań zarówno własności optycznych, jak i elektrycznych w szerokim zakresie temperatur, oraz jego anizotropii.



Rys. 9. Zależności współczynnika przewodnictwa cieplnego GaS od temperatury [2] (● – κ_{\perp} , ■ – κ_{\parallel} – współczynniki przewodnictwa cieplnego odpowiednio w kierunku prostopadłym i równoległym do osi optycznej)

Fig. 9. Temperature dependence of thermal conductivity GaS [2] (● – κ_{\perp} , ■ – κ_{\parallel} – thermal conductivity coefficients respective for directions perpendicular and parallel to c axis)

Literatura

1. Г. А. Ахундов, С. А. Мусаев, А. Э. Бахышев, Н. М. Гасанлы, Л. Г. Мусаева, *Анизотропия оптических констант GaS и GaSe вблизи края поглощения*, ФТП 9 (1975), 142–145.
2. М. А. Алиджанов, М. Д. Наджафзаде, З. Ю. Сеидов, *Теплопроводность сульфида галлия*, Физ. Тврд. Тела 41 (1999), 24–25.
3. V. Augelli, C. Manfredotti, R. Murri, R. Piccolo, L. Vasaneli, *Anomalous impurity conductivity in n-GaSe and n-GaS*, Nuovo Cimento B 38 (1977), 327–335.
4. E. Aulich, J. L. Brebner, E. Mooser, *Indirect energy gap in GaSe and GaS*, Phys. Stat. Solidi 31 (1969), 129–131.
5. А. Г. Багиров, С. Ю. Багиров, Э. Ю. Салаев, *Электрoluminescencия монокристаллов GaS при 300 K*, ФТП 16 (1982), 2166.

6. В. Л. Бакуменко, З. Д. Ковалюк, Л. Н. Курбатов, В. Г. Тагаев, В. Ф. Чишко, *Исследование гетеропереходов InSe-GaSe, приготовленных посадкой на оптический контакт*, ФТП **14** (1980), 1115–1119.
7. F. Bassani, G. Pastori Parravicini, *Band structure and optical properties of grafite and on the layer compounds GaS and GaSe*, Nuovo Cimento B **50** (1967), 95–128.
8. J. L. Brebner, *The optical absorption edge in layer structures*, J. Phys. Chem. Solids **25** (1964), 1427–1433.
9. J. L. Brebner, J. A. Deverin, *Les indices de refraction dans le GaS et la GaSe*, Helv. Phys. Acta **38** (1965), 651–652.
10. J. L. Brebner, G. Fischer, *The optical absorption edge of GaS*, Can. J. Phys. **41** (1963), 561–3.
11. М. С. Бродин, *Экситонные процессы в слоистых кристаллах*, Наукова Думка, Киев 1986.
12. I. M. Catalano, A. Cingolani, M. Terpore, *Direct and indirect multiphoton transitions in GaS*, Solid State Commun. **54** (1985), 87–89.
13. C. De Blasi, S. Galassini, C. Manfredotti, G. Micocci, L. Rugiero, A. Terpore, *Thermally stimulated currents in n-GaS*, Phys. Stat. Solidi A **55** (1979), 291–296.
14. Y. Depeursinge, *Electronic properties of the layer III-VI semiconductors: a comparative study*, Nuovo Cimento B **64** (1981), 111–150.
15. E. Doni, R. Girlanda, V. Grasso, A. Balzarotti, M. Piacentini, *Electronic properties of the III-VI layer compounds GaS, GaSe, Inse. I: Band structure.*, Nuovo Cimento B **51** (1979), 154–180.
16. G. Fischer, *Speculation on the band structure of layer compounds GaS and GaSe*, Helv. Phys. Acta **36** (1963), 317–333.
17. G. A. Gamal, M. N. Nassary, S.A. Hussein, Cryst. Res. Technol. **27** (1992), 995.
18. Г. Д. Гусейнов, И. Г. Аксянов, С. Г. Абдуллаева, *Электролюминесценция и фотолюминесценция монокристаллов GaS*, ФТП **14** (1980), 611–612.

19. Ф. И. Исмајлов, Э. С. Гусейнова, Г. А. Ахундов, *О крае оптического поглощения монокристаллов GaS и GaSe*, Физ. Тверд. Тела **5** (1963), 3620–3621.
20. H. Kamimura, K. Nakaо, *Band structures and optical properties of semiconducting layer compounds GaS and GaSe*, J. Phys. Soc. Japan **24** (1968), 1313–1325.
21. И. Г. Керимов, Н. Г. Алиев, М. М. Курбанов, *Влияние теплового расширения на ширину запрещенной зоны в талкогенидах галлия*, ФТП **7** (1973), 2366–2367.
22. A. H. M. Kipperman, *Thermoelectric power and electrical conductivity of layer compounds n-GaS and n-GaSe*, Solid State Commun. **9** (1971), 1825–1827.
23. A. H. M. Kipperman, G. A. Leeden, *Photoconductivity and photohall effect on gallium sulphide single crystals*, Solid State Commun. **6** (1968), 657–662.
24. A. H. M. Kipperman, C. J. Vermij, *Hall effect on gallium sulfide single crystals*, Nuovo Cimento B **63** (1969), 29–35.
25. A. Kuhn, A. Bourdon, J. Rigoult, A. Rimsky, *Charge-density analysis of GaS*, Phys. Rev. B **25** (1982), 4081–4088.
26. A. Kuhn, A. Chevy, R. Chevalier, *Refinement of the 2H GaS β -type*, Acta Cryst. B **32** (1976), 983–984.
27. R. M. A. Lieth, F. Maesen, *Dark conductivity as a function of temperature in GaS single crystals*, Phys. Stat. Solidi A **9** (1972), 483–490.
28. C. Manfredotti, A. Rizzo, A. Bufo, V. L. Cardetta, *Preparation and properties of GaS_xSe_{1-x} solid solutions*, Phys. Stat. Solidi A **30** (1975), 375–382.
29. T. A. McMath, J. C. Irvin, *Indices of refraction of GaS and GaSe*, Phys. Stat. Solidi A **38** (1976), 731–738.
30. M. Mejatty, A. Segura, R. Le Toullec, J. M. Besson, A. Chevy, H. Fair, *Optical absorption edge of GaS under hydrostatic pressure*, J. Phys. Chem. Solids **39** (1978), 25–28.

31. G. Micocci G., A. Rizzo, A. Tepore, *Trapping parameters in GaS_xSe_{1-x} solid solutions*, J. Appl. Phys. **58** (1985), 1274–1278.
32. M. A. Osman, *Trapping levels and anisotropy of electrical conductivity of Na-intercalated GaS single crystals*, Physica B **269** (1999) 386–394.
33. V. Riede, H. Neumann, H. X. Nguyen, H. Sobotta, F. Levy, Physica B **100** (1980), 355.
34. A. Rizzo, C. De Blasi, S. Galassini, G. Micocci, L. Ruggiero, A. Tepore, *Electrical properties of n-type GaS single crystals*, Solid State Commun. **40** (1981), 641–644.
35. П. Г. Рустамов, З. Д. Меликова, Я. Н. Насиров, М. А. Алиджанов, *Получение монокристаллов твердых растворов сплавов системы GaS-GaSe и изучение их физических свойств*, Неорг. Мат. **5** (1969), 881–884.
36. B. G. Tagiev, G. M. Niftiev, S. A. Abushov, *Intrashell Yb3+ transitions in gallium sulphide single crystals*, Phys. Stat. Solidi B **118** (1983), K13.

Maria Szalajko
Instytut Fizyki
Politechnika Śląska
Krasińskiego 8
40-019 Katowice

Abstract

Gallium sulphide (GaS) is the promising material for near-blue light emitting devices for its wide energy gap (2.5 eV at room temperature). Some possible applications of GaS were presented. The crystalline structure of monocrystals and some theoretical considerations of its electronic band structure were described in this paper. Some properties of monocrystalline GaS were presented. The widths of direct and indirect energy gaps at room temperature and their temperature dependencies obtained by few

authors were gathered. Spectral characteristics of refractive coefficient were compared with the results obtained by author of this paper and many disagreements were reported. The temperature dependencies of absorption coefficients obtained by few authors were compared. The disagreements were also ascertained in values of these coefficients and their temperature dependencies. The temperature characteristics of electrical and thermal conductivity, values of charge carriers mobility and concentration of free charge carriers were also reported. The electrical properties are probably dependent on conditions of preparing monocrystals.