

Wrocław, 01.03.2021

# Sprawozdanie

Projektowanie Struktur Półprzewodnikowych

Jakub Zolich

Nr. Albumu: 251120

Rok/semestr: III rok, 6 semestr

Materiały: AlGaAsSb

## Opis systemu materiałowego

Badany materiał można podzielić na związki grup III-V czyli tzw. „materiały binarne”: AlSb; GaSb; AlAs; GaAs.

- Antymonek glinu (AlSb) ma swoje zastosowanie w produkcji detektorów promieniowania rentgenowskiego oraz gamma. Szerokość przerwy wzbronionej wynosi 1,6 eV w temperaturze 300 K [1]
- Antymonek galu (GaSb) jest półprzewodnikiem stosowanym w produkcji detektorów podczerwieni, podczerwonych diod elektroluminescencyjnych, laserów oraz tranzystorów. Pracuje na średnich oraz długich falach podczerwonych. Szerokość przerwy wzbronionej wynosi 0,726 eV w temperaturze 300 K [2]
- Arsenek glinu (AlAs) jest bardzo podobny do arsenku galu, z tą różnicą, że ma szerszą przerwę wzbronioną (2,12 eV). Ma swoje zastosowanie w tworzeniu oprzyrządowania optoelektrycznego, takich jak diody elektroluminescencyjne. [3]
- Arsenek galu (GaAs) jest drugim, zaraz po krzemie, najczęściej wykorzystywanym półprzewodnikiem w elektronice. Jego zaletą jest wyższa odporność na działanie pola elektromagnetycznego. Urządzenia oparte na tym materiale mogą pracować nawet na częstotliwościach wysokości 250 GHz, a sam może służyć nawet jako emiter fal terahertzowych. Szerokość przerwy wzbronionej wynosi 1,424 eV w temperaturze 300 K [4]

Oprócz tego można podzielić badany materiał na materiały niebinarne, składające się z trzech pierwiastków: GaAlSb; GaAlAs; AlAsSb; GaAsSb.

- GaAlSb – jest to heterostruktura wykorzystywana do budowy laserów oraz detektorów, cechująca się bardzo niskimi stratami oraz niskim współczynnikiem dyspersji. [5]
- GaAlAs – jest to materiał półprzewodnikowy, którego szerokość przerwy wzbronionej waha się od 1,42 do 2,16 eV w zależności od domieszkowania. Jest wykorzystywany do budowy laserów opartych na arsenku galu (GaAs). Pracuje w zakresie fal podczerwonych. [6]
- AlAsSb – jest często wykorzystywany do budowy detektorów promieniowania rentgenowskiego oraz gamma oraz laserów kaskadowych emitujących fale o długości 4 – 5,4  $\mu\text{m}$ . [7]
- GaAsSb -materiał wykorzystywany do budowy diod podczerwonych oraz detektorów fal podczerwonych. Szeroko stosowany w aparaturze wojskowej, astronomicznej oraz mechatronice. [8]

## Opis modeli i metod

Interpolacja jest to metoda numeryczna polegająca na budowaniu w zadanym obszarze tzw. funkcji interpolacyjnej, która przyjmuje w nim z góry zadane wartości w ustalonych punktach nazywanych węzłami. Stosowana jest zarówno w metodach numerycznych (np. przy obliczaniu całek ze skomplikowanych funkcji), jak i w naukach doświadczalnych przy budowaniu funkcji na podstawie danych pomiarowych w skończonej liczbie punktów (np. w meteorologii przy sporządzaniu map synoptycznych).

Wzór stechiometryczny dla mieszanin trójskładnikowych III-V-V:

$$AB_xC_{1-x}$$

Wzór interpolacyjny dla mieszanin trójskładnikowych III-V-V:

$$P_{ABC}(x)=x\cdot P_{AB}+(1-x)\cdot P_{AC}-x\cdot(1-x)\cdot b_{ABC}$$

Wzór stechiometryczny dla mieszanin trójskładnikowych III-III-V:

$$A_xB_{1-x}C$$

Wzór interpolacyjny dla mieszanin trójskładnikowych III-III-V:

$$P_{ABC}(x)=x\cdot P_{AC}+(1-x)\cdot P_{BC}-x\cdot(1-x)\cdot b_{ABC}$$

Wzór stechiometryczny dla mieszaniny czteroskładnikowej:

$$A_xB_{1-x}C_yD_{1-y}$$

Wzór interpolacyjny mieszaniny czteroskładnikowej:

$$P_{ABCD}(x,y)=[x\cdot(1-x)\cdot(y\cdot P_{ABC}+(1-y)\cdot P_{ABD})+y\cdot(1-y)\cdot(x\cdot P_{ACD}+(1-x)\cdot P_{BCD})]\cdot(x\cdot(1-x)+y\cdot(1-y))^{-1}$$

## Wyniki i dyskusja

Dla czteroskładnikowego materiału AlGaAsSb zostały obliczone następujące parametry:

1. Wartości przerwy energetycznej  $E_g$
2. Parametr sieci  $a_{lc}$
3. Rozszczepienie spin-orbity  $\Delta_{so}$
4. Masa dziur ciężkich  $m_{HH}$
5. Masa dziur lekkich  $m_{LH}$
6. Masa efektywna elektronów  $m_e^*$
7. Wartość wierzchołka pasma walencyjnego VBO

Do obliczeń wykorzystano stałe dla materiałów binarnych, pozyskane ze źródeł literaturowych:  $E_g$ ,  $a_{lc}$ ,  $\Delta_{so}$ , VBO – [18];  $m_e^*$ ,  $m_{HH}$ ,  $m_{LH}$  – [19].

Nazwa	AlAs	GaAs	AlSb	GaSb
$E_g$ (eV)	3.099	1.519	2.386	0.812
$a_{lc}$ (Å)	5.6611	5.65325	6.1355	6.0959
$\Delta_{so}$ (eV)	0.28	0.341	0.676	0.76
VBO (eV)	-1.33	-0.80	-0.41	-0.03
$m_{HH}$	0.81	0.55	0.9	0.37
$m_{LH}$	0.16	0.083	0.13	0.043
$m_e^*$	0.124	0.067	0.14	0.039

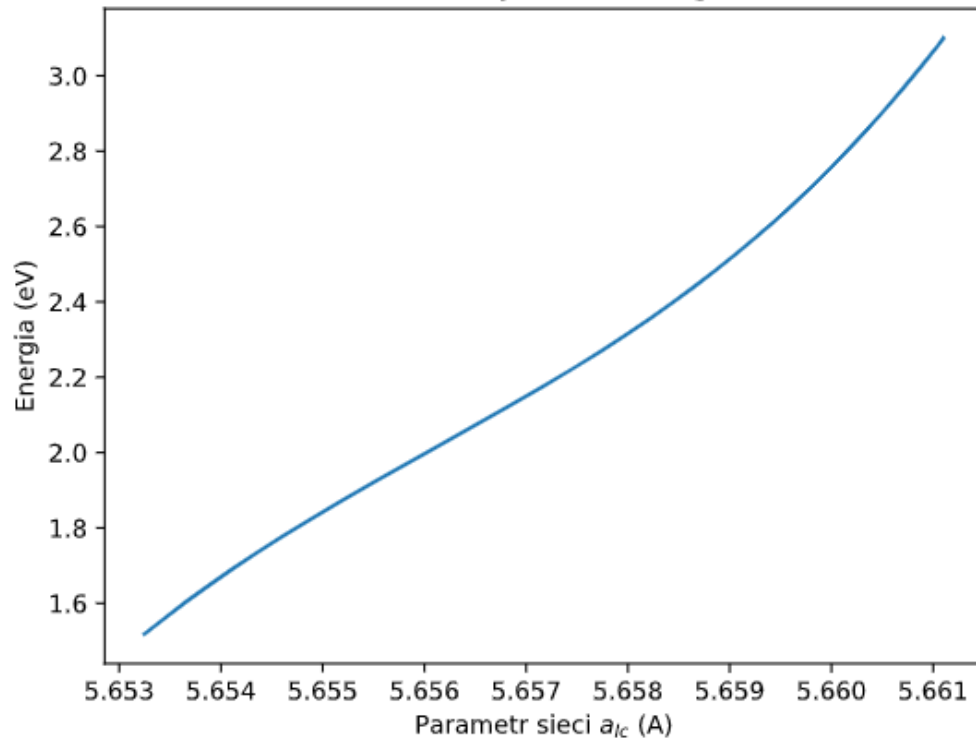
Tabela 1 – Parametry materiałów binarnych dla AlGaAsSb

Parametr	AlGaAs	AlGaSb	AlAsSb	GaAsSb
$E_g$ (eV)	-0.127+1.310x	-0.044+1.22x	0.8	1.43
$\Delta_{so}$ (eV)	0	0.3	0.15	0.6
VBO (eV)	0	0	-1.71	-1.06

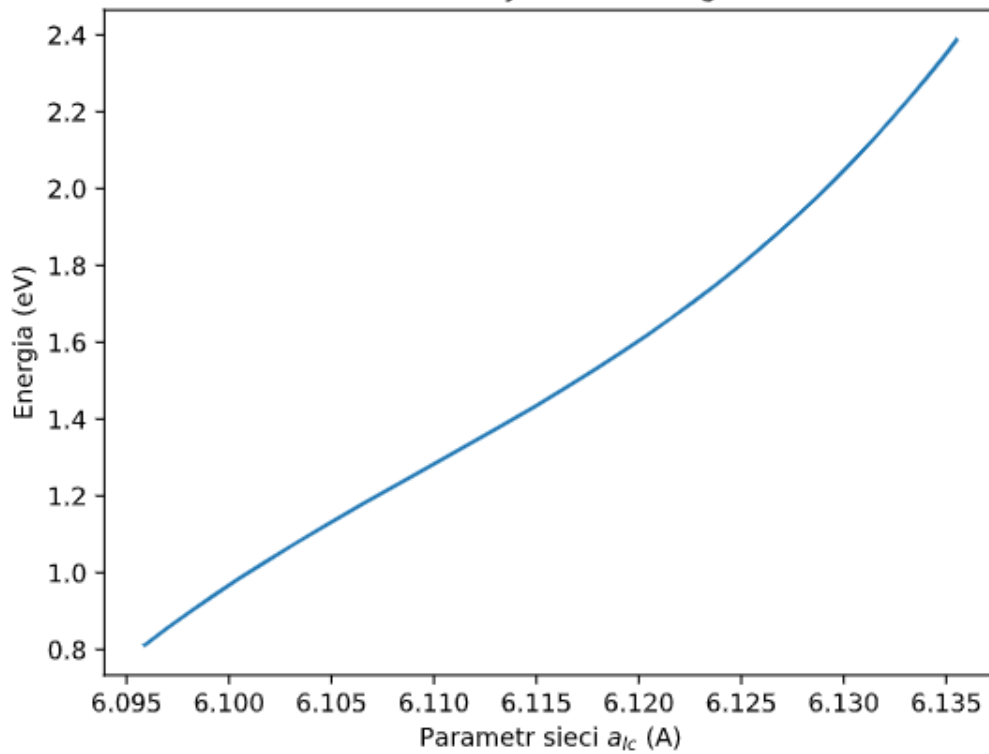
Tabela 2 – Parametry bowingu dla materiałów trójskładnikowych [18]

Obliczenia zostały wykonane dla domieszkowania składnikami z grupy III oraz V, dla odpowiedniej zawartości molowej. Krok zmiany zawartości molowej wynosił 0.2. Otrzymane wyniki zostały zaprezentowane na poniższych wykresach.

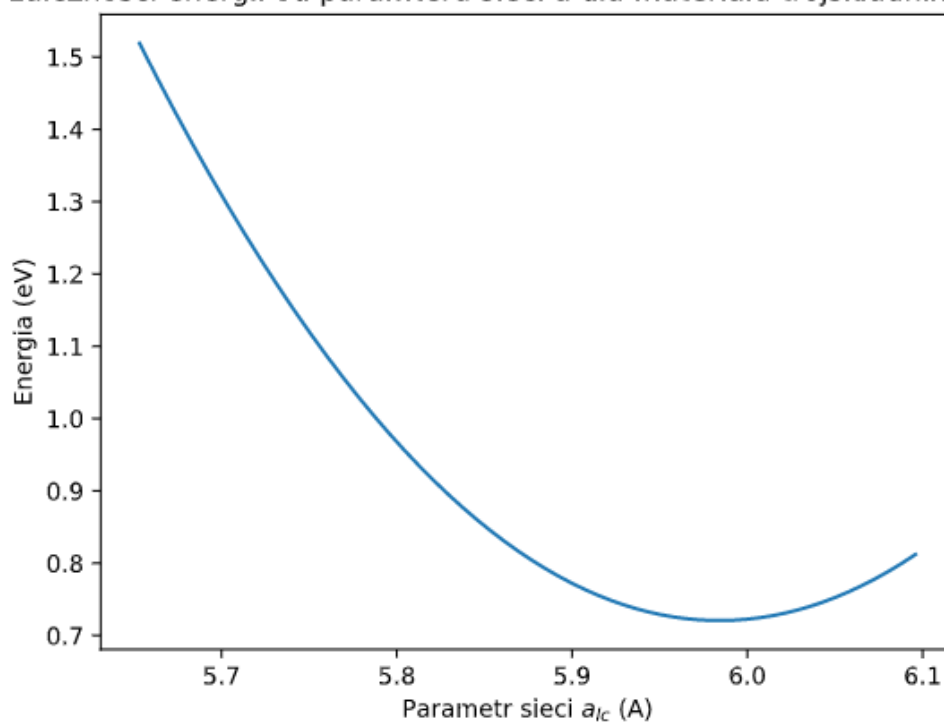
Wykres zależności energii od paramteru sieci  $a$   
dla materiału trójskładnikowego AlGaAs



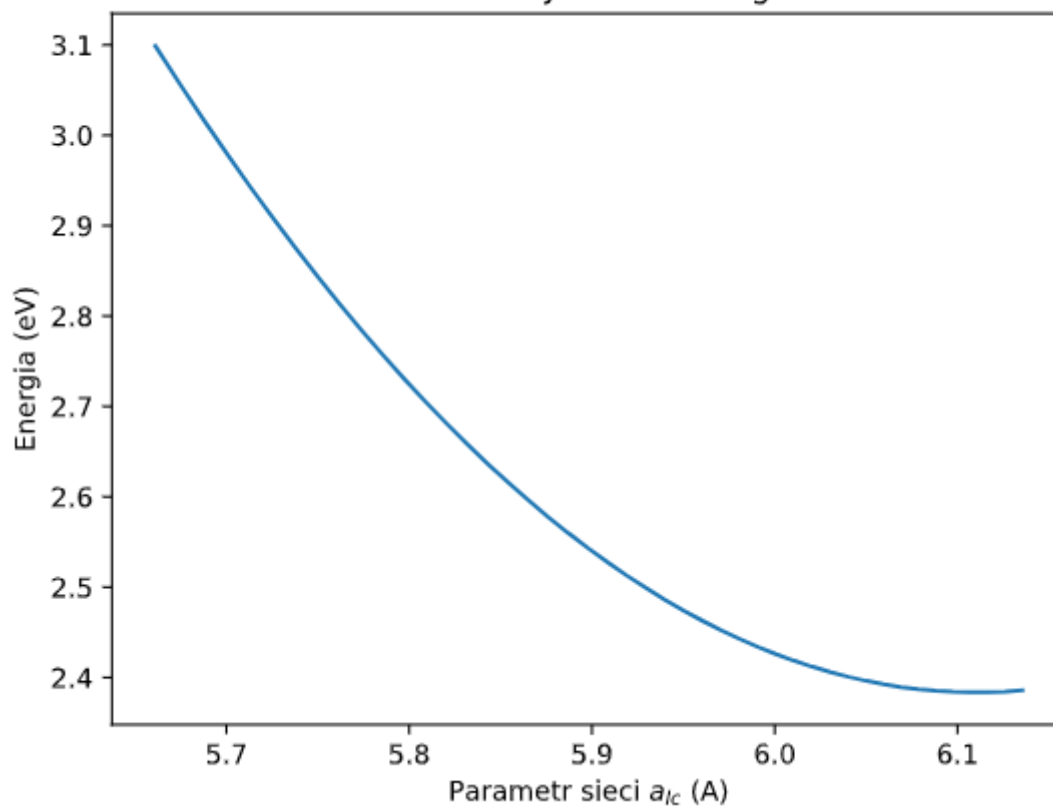
Wykres zależności energii od paramteru sieci  $a$   
dla materiału trójskładnikowego AlGaSb



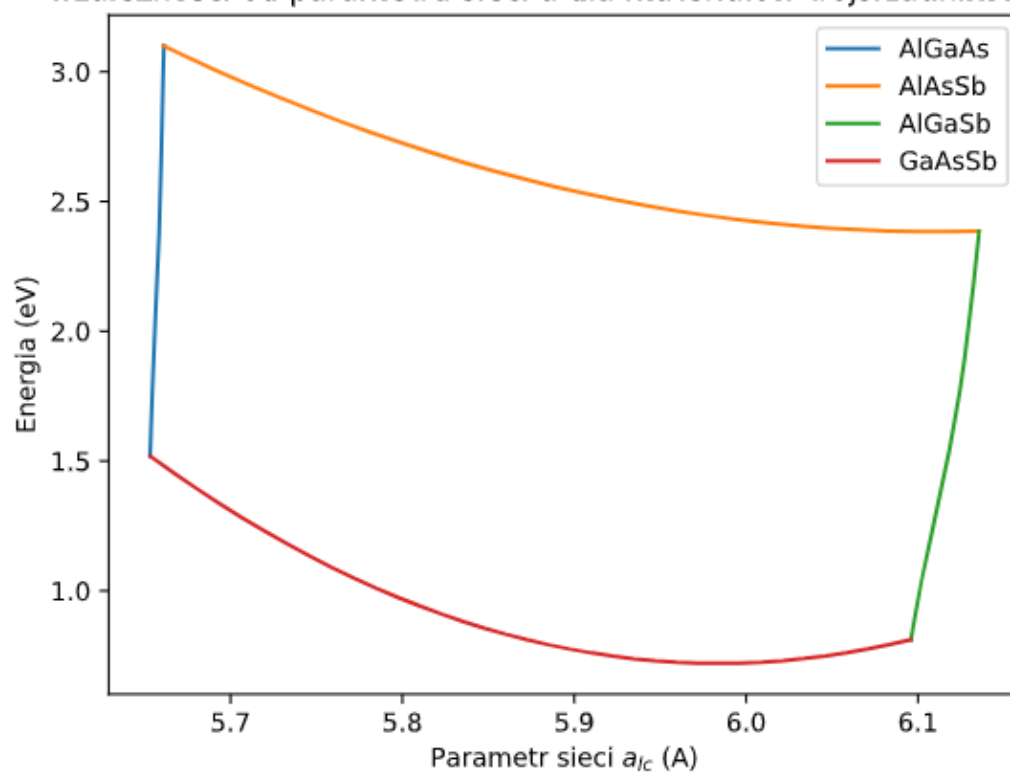
Wykres zależności energii od paramteru sieci  $a$  dla materiału trójskładnikowego GaAsSb



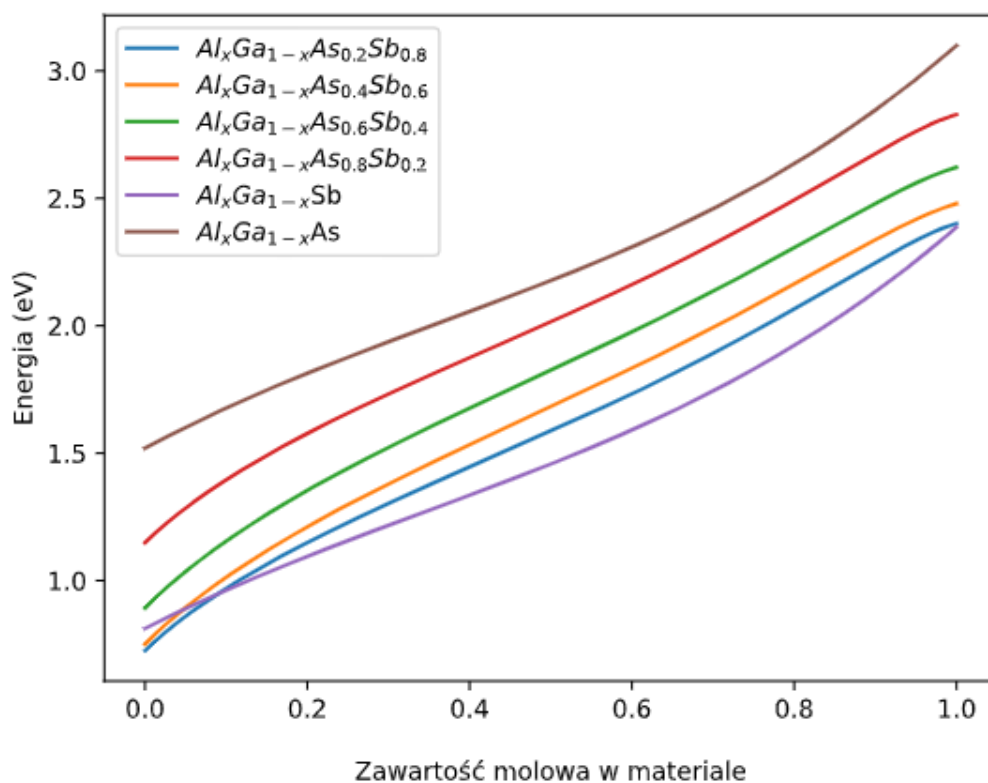
Wykres zależności energii od paramteru sieci  $a$   
dla materiału trójskładnikowego AlAsSb



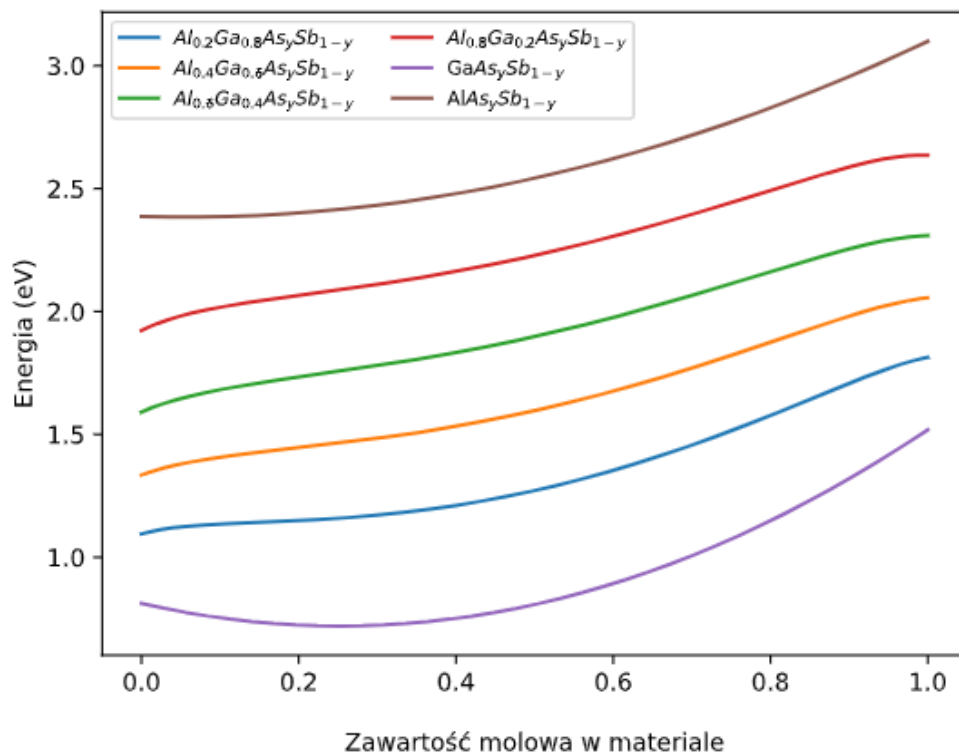
Wykres zmiay szerokości przerwy energetycznej  
wzależności od parametru sieci  $a_{lc}$  dla materiałów trójskładnikowych



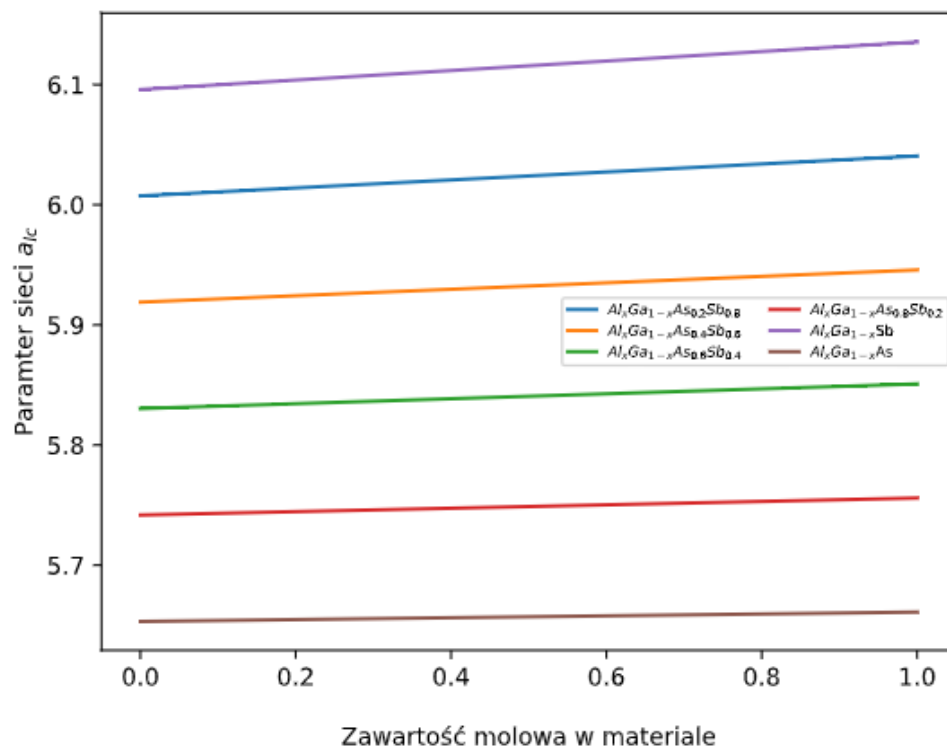
Wartość przerwy energetycznej  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy III



Wartość przerwy energetycznej  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy V

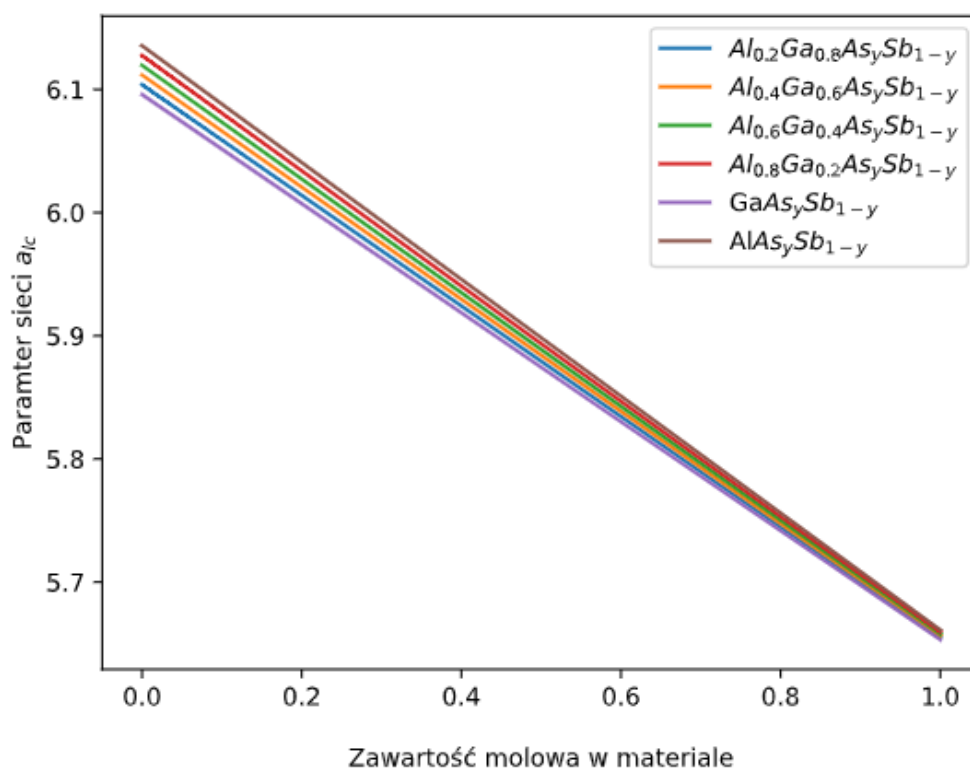


Wartość parametru sieci  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy III

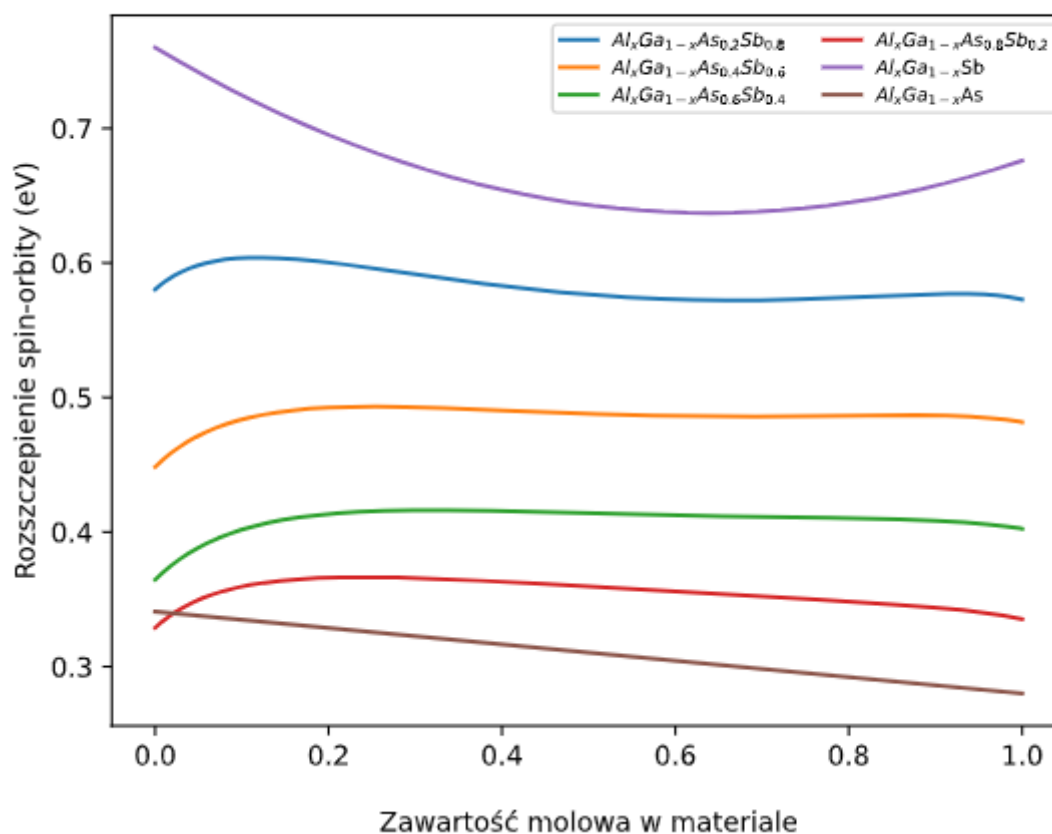




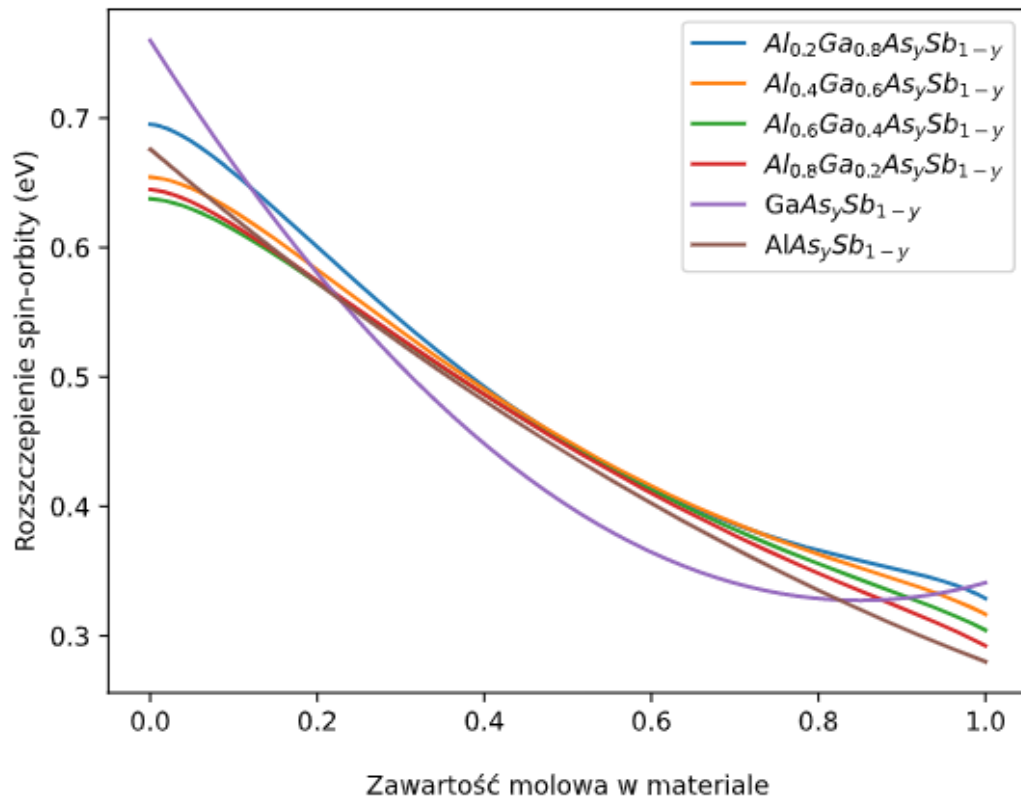
Wartość parametru sieci  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy V



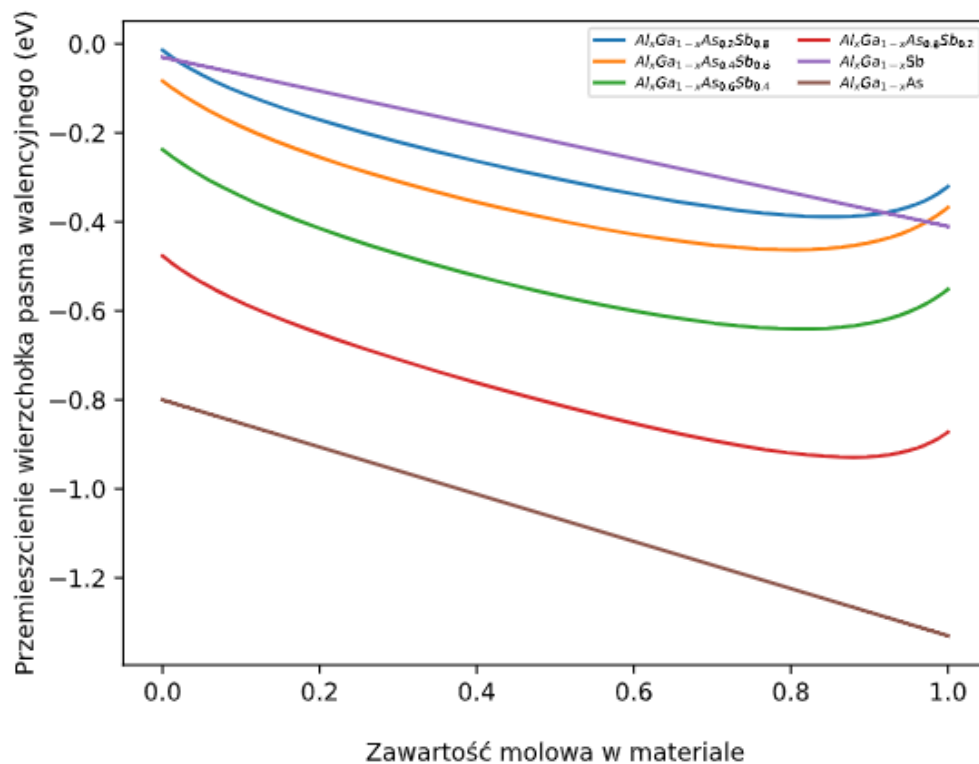
Rozszczepienie spin-orbity  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy III



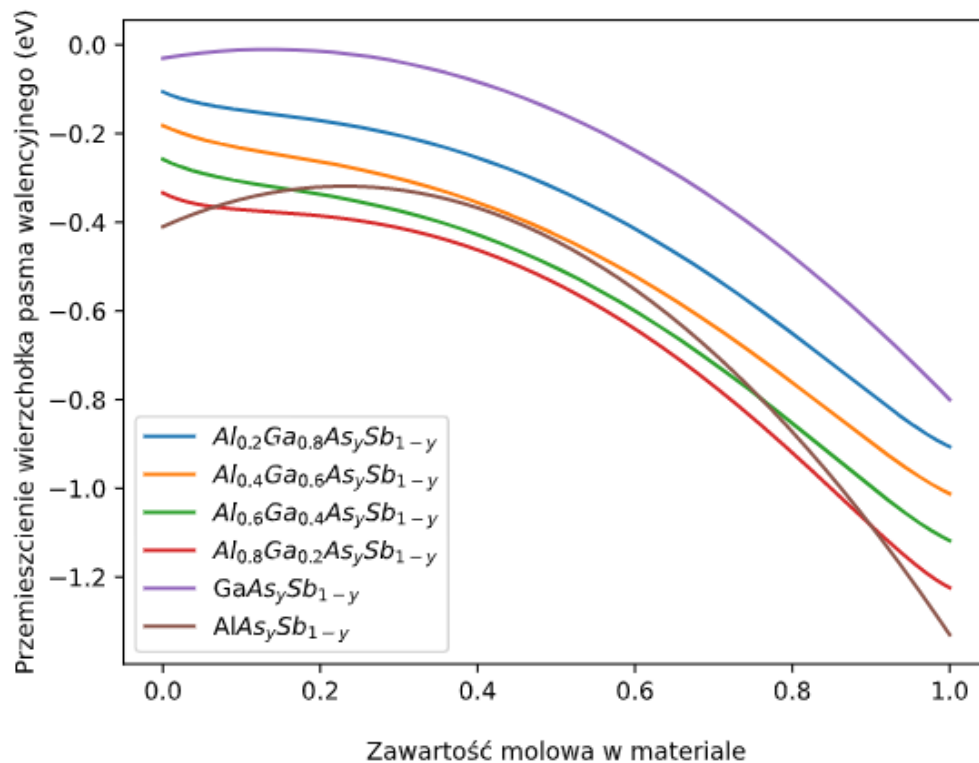
Rozszczepienie spin-orbity  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy V



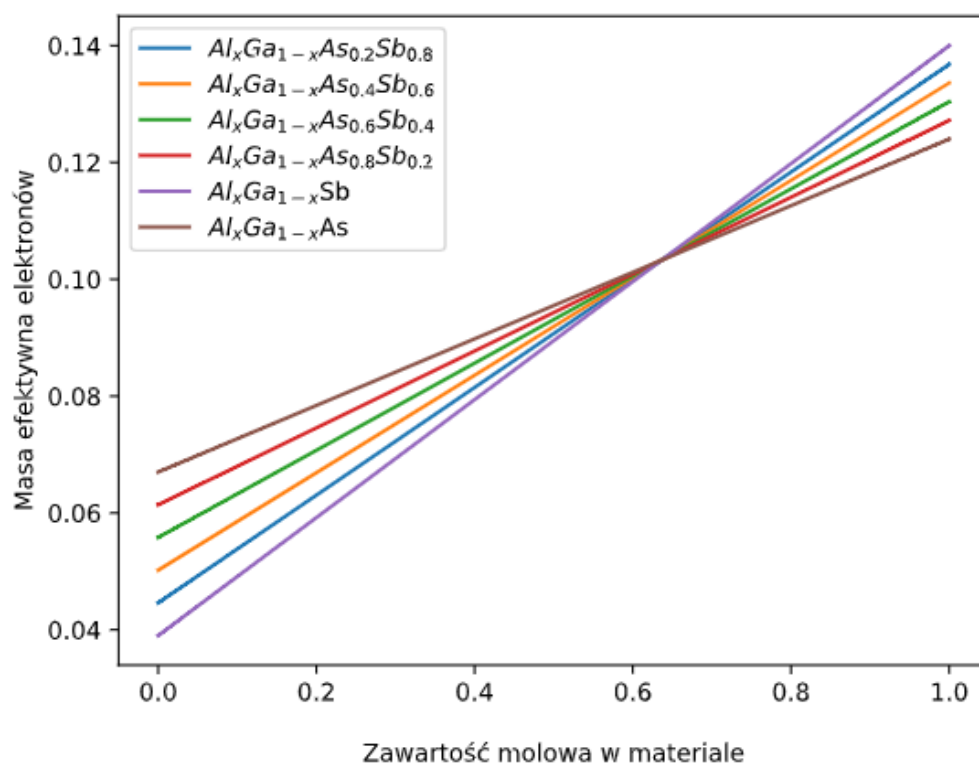
Przemieszczenie wierzchołka pasma walencyjnego  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy III



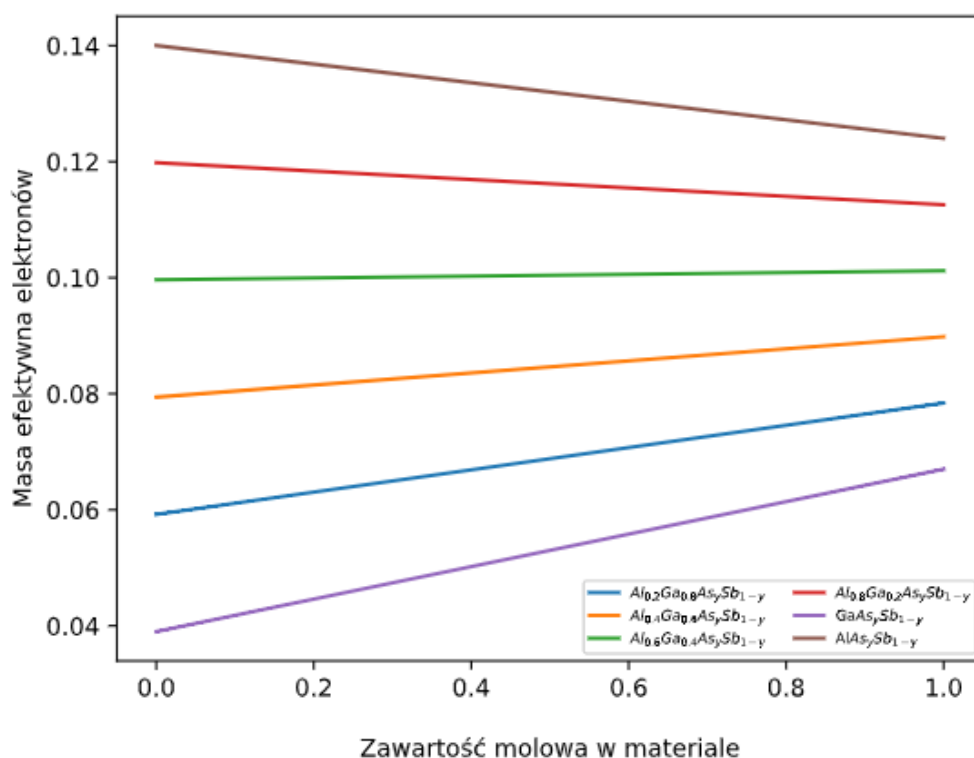
Przemieszczenie wierzchołka pasma walencyjnego  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy V



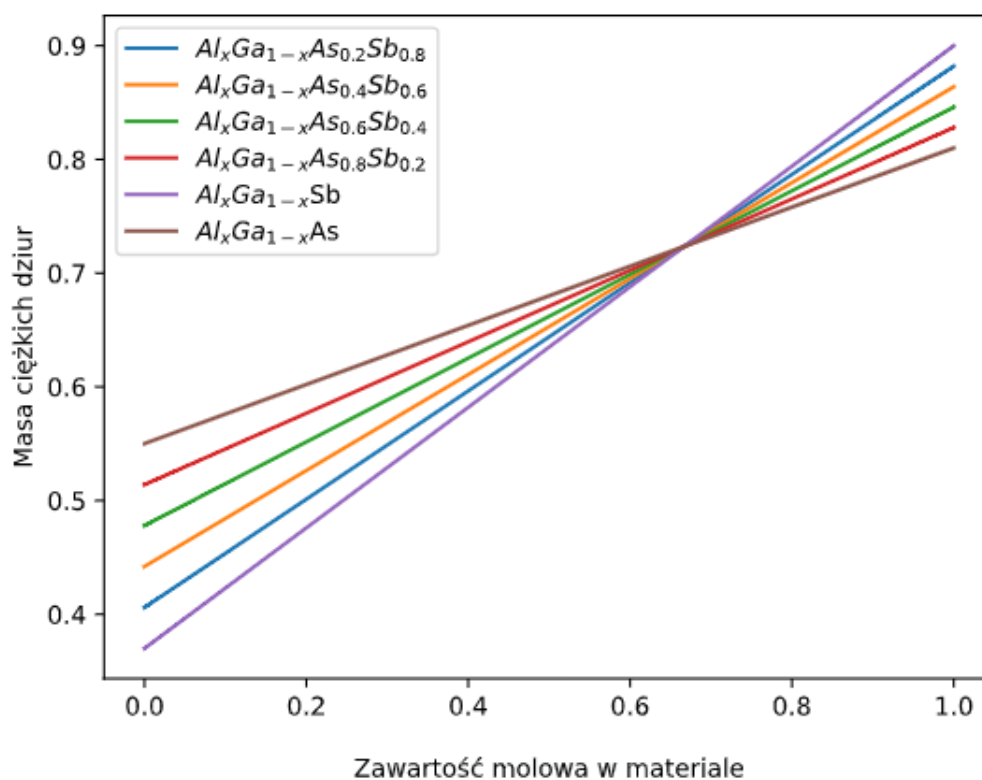
Zmiana masy efektywnej elektronów  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy III



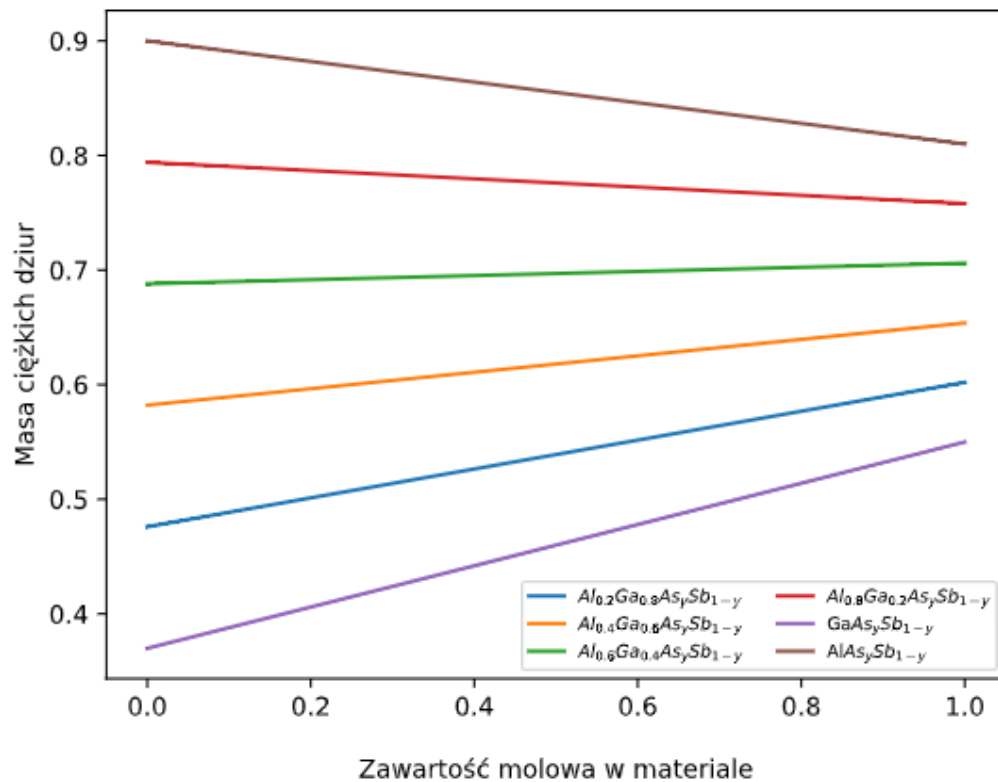
Zmiana masy efektywnej elektronów  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy V



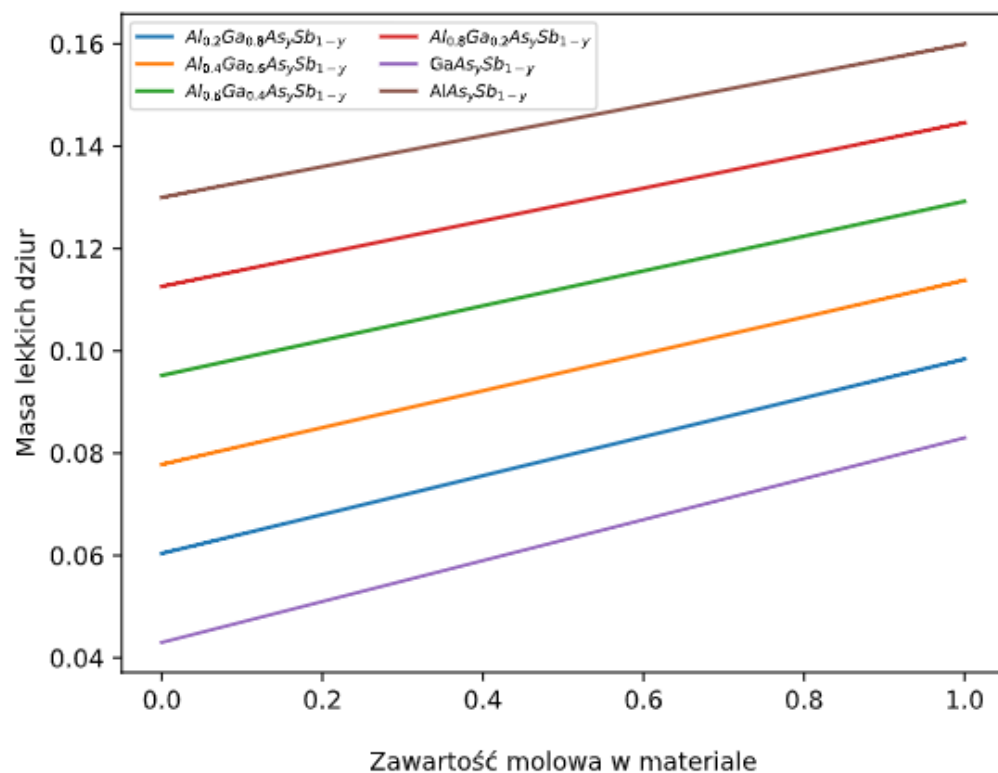
Zmiana masy ciężkich dziur  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy III



Zmiana masy ciężkich dziur  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy V



Zależność masy lekkich dziur  
w zależności od domieszkowania materiału pierwistakmi grupy V



## Źródła:

1. Juang, B.-C., Chen, A., Ren, D. K., Liang, B. L., Prout, D. L., Chatziioannou, A. F., Huffaker, D. L., Energy-Sensitive GaSb/AlAsSb Separate Absorption and Multiplication Avalanche Photodiodes for X-Ray and Gamma-Ray Detection. *Advanced Optical Materials* 2019, 7
2. Martyniuk, P., Michalczewski, K., Tsai, T., Wu, C. and Wu, Y. (2020), A Thermoelectrically Cooled nBn Type-II Superlattices InAs/InAsSb/B-AlAsSb Mid-Wave Infrared Detector. *Phys. Status Solidi A*, 217: 1900522.
3. S. J. Eglash, H. K. Choi, InAsSb/AlAsSb double-heterostructure diode lasers emitting at 4  $\mu\text{m}$ , 1994, *Applied Physics Letters*
4. D. G. Revin, L. R. Wilson, E. A. Zibik, R. P. Green, J. W. Cockburn, M. J. Steer, R. J. Airey, M. Hopkinson,  $\lambda\sim 4\text{--}5.3\text{ }\mu\text{m}$  intersubband emission from InGaAs–AlAsSb quantum cascade structures, 2004, *Applied Physics Letters*
5. I. Vurgaftman, J. R. Meyer, L. R. Ram-Mohan, Band parameters for III-V compound semiconductors and their alloys, 2001, *Journal of Applied Physics*, 89
6. Sadao Adachi, *Properties of Semiconductor Alloys: Group-IV, III–V and II–VI Semiconductors*, 2009 John Wiley & Sons Ltd
7. J. H. Yee, S. P. Swierkowski and J. W. Sherohman, "ALSB as a High-Energy Photon Detector," in *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 24, no. 4, pp. 1962-1967, June 1977, doi: 10.1109/TNS.1977.4329136.
8. Witt, A.F., Becla, P., Counterman, C., DiFrancesco, J., Landahl, G., Morse, K., & Sanchez, J. (Jan 1996). Top-seed solution growth and characterization of AlSb single crystals for gamma-ray detectors Final report, 1 October 1994 - 30 September 1995 (DOE/NV/11627--2). United States
9. Y. Zhang, N. Baruch, W. I. Wang, AlAs/AlGaAs X-valley quantum-well normal-incidence infrared detectors on Si substrates, 1994, *Journal of Applied Physics*
10. Krasnok, A. E., Miroshnichenko, A. E., Belov, P. A., & Kivshar, Y. S. (2012). All-dielectric optical nanoantennas. *Optics Express*
11. R. C. Miller, B. Schwartz, L. A. Koszi, W. R. Wagner, A high-efficiency GaAlAs double-heterostructure photovoltaic detector, 1978, *Applied Physics Letters*
12. A.M. Barnett, D.J. Bassford, J.E. Lees, J.S. Ng, C.H. Tan, J.P.R. David, Temperature dependence of AlGaAs soft X-ray detectors, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Volume 621, Issues 1–3, 2010, Pages 453-455
13. A. Köck, E. Gornik, M. Hauser, W. Beinstingl, Strongly directional emission from AlGaAs/GaAs light-emitting diodes, 1990, *Applied Physics Letters*
14. J. Koeth, T. Bleuel, R. Werner and A. Forchel, "GaAlSb based VCSEL and edge emitting lasers," *Conference Proceedings. LEOS'98. 11th Annual Meeting. IEEE Lasers and Electro-Optics Society 1998 Annual Meeting (Cat. No.98CH36243)*, Orlando, FL, USA, 1998, pp. 28-29 vol.1
15. Chin, R., AIR FORCE DEVELOPMENT TEST CENTER EGLIN AFB FL, GaAlAsSb APD Optimization, 1984
16. E. G. Dierschke, "High-efficiency GaAsSb/GaAlAsSb double-heterostructure hemispherical infrared emitting diodes," in *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 26, no. 8, pp. 1210-1214, Aug. 1979
17. Easley, J., Martin, C.R., Ettenberg, M.H. et al. InGaAs/GaAsSb Type-II Superlattices for Short-Wavelength Infrared Detection. *Journal of Elec Materi* 48, 6025–6029 (2019).
18. M.C. Veale, S.J. Bell, D.D. Duarte, M.J. French, A. Schneider, P. Seller, M.D. Wilson, A.D. Lozinskaya, V.A. Novikov, O.P. Tolbanov, A. Tyazhev, A.N. Zarubin, Chromium compensated gallium arsenide detectors for X-ray and  $\gamma$ -ray spectroscopic imaging, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Volume 752, 2014, Pages 6-14

19. G. Lioliou, A.M. Barnett, Gallium Arsenide detectors for X-ray and electron (beta particle) spectroscopy, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 836, 2016, Pages 37-45,
20. G. Zhao, R. N. Schouten, N. van der Valk, W. Th. Wenckebach, P. C. M. Planken, Design and performance of a THz emission and detection setup based on a semi-insulating GaAs emitter, 2002, Review of Scientific Instruments, 73
21. O.V Sulima, A.W Bett, Fabrication and simulation of GaSb thermophotovoltaic cells, Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 66, Issues 1–4, 2001, Pages 533-540
22. Luke Ferguson, Lewis Fraas, Matched infrared emitters for use with GaSb TPV cells, 1997, AIP Conference Proceedings, 169-179
23. Mohammedy, Farseeem M., Jamal Deen, M., Growth and fabrication issues of GaSb-based detectors, 2009, Journal of Materials Science: Materials in Electronics