UNIWERSYTET'



Pseudospin chiraność, ktywizna benego og elektroniki do dolinotroniki valestor roga od grafenu do struktur hybridonich ne uko

FACULTY OF PHYSICS AND APPLIED INFORMATICS University of Lodz

prof. dr hab Zbigniew Klusek



Inne Materiały 2D

Graphene family	Graphene	hBN 'white graphene'				BCN		Fluor	ograpi	nene	Graphene oxide		xide	
2D chalcogenides	MoS ₂ , WS ₂ , MoSe ₂ , WSe ₂ ZrS					Semiconducting ichalcogenides: MoTe ₂ , WTe ₂ , $_{2}$, ZrSe ₂ and so on			$\begin{tabular}{lllllllllllllllllllllllllllllllllll$					
	Micas, BSCCO		, wo ₃		Perovskite-ty LaNb ₂ O ₂ , (Ca,Sr),					Hydroxides: Ni(OH) ₂ , Eu(OH) ₂ and so on				
2D oxides	Layered Cu oxides	$\rm TiO_2,MnO_2,V_2O_5,TaO_3,RuO_2$ and so on				Bi ₄ Ti ₃	O ₁₂ , Ca) ₁₀ and s	so on	Others				
He He														
	nichalkog	genk	ki me	etal	li prz	ejśc	ciowy	ch	в	с	N	0	F	Ne
Fizyka	5	6	7	8	9	10	11	12	AI	Si	Ρ	s	СІ	Ar
	<u>,</u>	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
rafenowa	Nb	Мо	Тс	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Те	I	Xe
	Hf Ta	w	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	ті	Pb	Ві	Po	At	Rn
Fr Ra Ac-Lr	Rf Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	FI	Uup	Lv	Uus	Uuo

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki





2D — dichalkogenki metali przejściowych



D. Xiao et al., PRL 108, 196802 (2012)

 TMDCs złamana
symetria
inwersji
 Image: Comparison of the symetria
inwersji
 Image: Comparison of the symetria
inwersji
 Image: Comparison of the symetria
inwersji

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki

TMDC – struktura elektronowa - punkty K,K'

 $\hat{H}(-k) = \sigma_x \hat{H}(k) \sigma_x$

 $\hat{H}\left(-k\right) = \hat{H}^{*}\left(k\right)$

monowarstwa TMDC z SOC

UNIWERSYTET

ŁÓDZKI

$$\hat{H}_{0} = at\left(\tau k_{x}\hat{\sigma}_{x} + k_{y}\hat{\sigma}_{y}\right) + \frac{\Delta}{2}\hat{\sigma}_{z} - \lambda\tau \frac{\hat{\sigma}_{z} - 1}{2}\hat{s}_{z}$$



rozszczepienie spinowe jest konsekwencją złamania symetrii inwersji przestrzennej

symetria inwersji czasu wymaga aby rozszczepienie spinowe było przeciwne dla różnych dolin

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki





Dolinowo-spinowe optyczne reguły wyboru





Dolinotronika – krok bliżej rzeczywistości



Układ, w jakim udało się zrealizować elektryczną kontrolę spinu dolinowego składa się z monowartstwy półprzewodnika 2D umieszczonego na warstwie ferromagnetycznego półprzewodnika, który umożliwia zlokalizowanie nośników ładunku w jednej dolinie półprzewodnika 2D. Dzięki możliwości manipulacji spinem wstrzykiwanych nośników możliwa była polaryzacja dolinowa dwuwymiarowego półprzewodnika. Detekcja polaryzacji dolinowej w półprzewodnika 2D odbywała się optycznie - poprzez pomiar polaryzacji kołowej emitowanego z materiału światła.

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki

Dichalkogenki metali przejściowych

National Center for Scientific Research

FACULTY OF PHYSICS AND APPLIED INFORMATICS University of Lodz

UNIWERSYTET

ŁÓDZKI



KADEMICKIE CENTRUM IATERIAŁÓW Nanotechnologii agi

Badania hybryd grafen/TMDCS

Cite this: Chem. Soc. Rev., 2015, 44, 2643

K

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki

🕷 UMCS 🔀



Sprzężenie spin-orbita (SOC)



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej









Układy Hybrydowe



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki





Układy hybrydowe

Grafen i TMDC same w sobie nie są w stanie zapewnić odpowiednich parametrów w zastosowaniach dlatego łączymy je w układy hybrydowe.





Układy Hybrydowe





Układy hybrydowe



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Układy hybrydowe grafenu z TaS₂



PHYSICAL REVIEW B covering condensed matter and materials physics PHYSICAL REVIEW B 00, 005400 (2018)

Electronic structure of commensurate, nearly commensurate, and incommensurate phases of 1T-TaS₂ by angle-resolved photoelectron spectroscopy, scanning tunneling spectroscopy, and density functional theory

I. Lutsyk,¹ M. Rogala,¹ P. Dabrowski,¹ P. Krukowski,¹ P. J. Kowalczyk,¹ A. Busiakiewicz,¹ D. A. Kowalczyk,¹ E. Lacinska,² A. Binder,² N. Olszowska,³ M. Kopciuszynski,⁴ K. Szałowski,¹ M. Gmitra,⁵ R. Stepniewski,² M. Jalochowski,⁴ J. J. Kołodziej,³ A. Wysmolek,² and Z. Klusek^{1,*}

Pepariment of Solid State Physics, Faculty of Physics and Applied Informatics, University of Lode, Protonska 149155, 90-250 Lode, Folan ²Institute of Experimental Physics, Eaculty of Physics, University of Warssaw, Pusteura 5, 02-003 Warsaw, Poland ³Faculty of Physics, Astronomy, and Applied Computer Science, Jagiellonian University, Lojasiewicza 11, 30-348 Krakow, Poland [§]Institute of Physics, Maria Curie-Skłodowska University, PL M. Curie-Skłodowskiej 1, 20-031 Lublin, Poland [§]Department of Theoretical Physics and Astrophysics, Institute of Physics, Faculty of Science, P. J. Šafárik University, Park Angelinum 9, 040 01 Košice, slovakia

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



DFT: Grafen/1T-TaS₂



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Układy hybrydowe grafenu z TaS₂

Co jest interesujące w TaS₂ ?

Zaletą wybranego materiału jest obecność przejścia M-I-T które pomoże badać oddziaływanie grafenu z TMDC w fazie metalicznej i izolatorowej używając dokładnie tej samej próbki.



SCIENTIFIC REPORTS | 4 : 7302 | DOI: 10.1038/srep07302



Układy hybrydowe 1T-TaS₂









Układ do eksfoliacji+ walizka próżniowa



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



STM/AFM/KPFM/LEED/AES/XPS/UPS/ARPES



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki









LEED : 1T-TaS₂



I. Lutsyk, M. Rogala, P. Dabrowski, P. Krukowski¹, P.J. Kowalczyk, A. Busiakiewicz, D.A. Kowalczyk, E. Lacinska, J. Binder, N. Olszowska, M. Kopciuszynski, K. Szalowski, M. Gmitra, R. Stepniewski, M. Jalochowski, J.J. Kolodziej, A. Wysmolek and Z. Klusek, Phys. Rev. B (2018) in press.

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Raman : 1T-TaS₂







1T -TaS₂ – struktura elektronowa













ARPES M-I-T w TaS₂



M. Kopciuszynski, K. Szalowski, M. Gmitra, R. Stepniewski, M. Jalochowski, J.J. Kolodziej, A. Wysmolek and Z. Klusek, Phys. Rev. B (2018) in press.

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki









UNIWERSYTET Fale gęstości ładunku w 1T-TaS₂



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Fale gęstości ładunku w 1T-TaS₂



I. Lutsyk, M. Rogala, P. Dabrowski, P. Krukowski¹, P.J. Kowalczyk, A. Busiakiewicz, D.A. Kowalczyk, E. Lacinska, J. Binder, N. Olszowska, M. Kopciuszynski, K. Szalowski, M. Gmitra, R. Stepniewski, M. Jalochowski, J.J. Kolodziej, A. Wysmolek and Z. Klusek, Phys. Rev. B (2018) in press.

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki

Z. Klusek

revised Perdew-Burke-Ernzerhof Generalized Gradient Approximation

were used to include the exchange and correlation effects. The spin-

orbit coupling was fully taken into account.



Fale gęstości ładunku w 1T-TaS₂



I. Lutsyk, M. Rogala, P. Dabrowski, P. Krukowski¹, P.J. Kowalczyk, A. Busiakiewicz, D.A. Kowalczyk, E. Lacinska, J. Binder, N. Olszowska, M. Kopciuszynski, K. Szalowski, M. Gmitra, R. Stepniewski, M. Jalochowski, J.J. Kolodziej, A. Wysmolek and Z. Klusek, Phys. Rev. B (2018) in press.

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki

UNIWERSYTET ŁÓDZKI

Spektroskopia tunelowa TaS₂



I. Lutsyk, M. Rogala, P. Dabrowski, P. Krukowski¹, P.J. Kowalczyk, A. Busiakiewicz, D.A. Kowalczyk, E. Lacinska, J. Binder, N. Olszowska, M. Kopciuszynski, K. Szalowski, M. Gmitra, R. Stepniewski, M. Jalochowski, J.J. Kolodziej, A. Wysmolek and Z. Klusek, Phys. Rev. B (2018) in press.

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki






Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki





Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki





Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki





Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



FT-STS TaS₂ @ 100 K

38_03



FT-STS TaS2@ 100K



Symulacja ARPES, J. Cond. Matter 23, 2011, 213001



FT-STS TaS₂ @ 100 K

38_03



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



FT-STS TaS₂ @ 293 K



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



FT-STS TaS₂ @ 100K





Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Układy hybrydowe



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Układ hybrydowy grafen/1T-TaS₂



STM na próbce grafen/1T-TaS₂, T=293 K





Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki





Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

UNIWERSYTET Układy hybrydowe grafenu z TaS₂



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki

ŁÓDZKI



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Struktura OLED + grafen



Zalety

Grafen jest atrakcyjnym w roli przezroczystej i przewodzącej elektrody w zastosowaniach do organicznych diod elektroluminescencyjnych (organic light emitting diodes, OLED) i układów fotowoltaicznych (organic photovoltaics, OPV).

Problemy

Niestety, pomimo wymienionych zalet grafen w swojej czystej niezdomieszkowanej formie charakteryzuje się małą liczbą nośników ładunku, co prowadzi do niskiej przewodności elektrycznej, oraz niekorzystną wartością pracy wyjścia, która nie gwarantuje odpowiedniego dopasowania poziomów energetycznych w układach organicznych.

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Grafen jako elastyczna elektroda



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Grafen jako elastyczna elektroda



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Grafen – STM/AFM/Raman



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Gdzie są problemy ?



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Problem liczby nośników



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki

Ile możemy "wycisnąć" z grafenu ?



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki

UNIWERSYTET

ŁÓDZKI



Problem liczby nośników

domieszkowanie



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Problem liczby nośników



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



grafen/Ge(001)/Si



P. Dabrowski, M. Rogala, I. Pasternak, J. M. Baranowski, W. Strupinski, M. Kopciuszynski, R. Zdyb, M. Jalochowski, I. Lutsyk, Z. Klusek Nano Res. (2017). doi:10.1007/s12274-017-1575-6 First Online:06 May 2017

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Problem pracy wyjścia

Jaki jest problem z anodą grafenową?







OPEN

SUBJECT AREAS: ELECTRICALAND ELECTRONIC ENGINEERING NANOSCALE MATERIALS Metal Oxide Induced Charge Transfer Doping and Band Alignment of Graphene Electrodes for Efficient Organic Light Emitting Diodes

 Received
 Jens Meyer¹, Piran R. Kidambi², Bernhard C. Bayer², Christ Weijtens¹, Anton Kuhn¹, Alba Centeno³,

 8 April 2014
 Amaia Pesquera³, Amaia Zurutuza³, John Robertson² & Stephan Hofmann²



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki

UNIWERSYTET Hybryda grafen-półprzewodnik typu n





MoO₃ posiada właściwości półprzewodnikowe, wysoką wartość pracy wyjścia.

ReO₃ posiada właściwości półprzewodnikowe, wysoką wartość pracy wyjścia.



TiO_{2-x} jest półprzewodnikiem typu n z niską pracą wyjścia.

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Oddziaływanie grafen-ReO3



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Układy do nanoszenia cienkich warstw



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki





Osadzanie cienkich warstw

Sputtering vs naparowywanie



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Osadzanie cienkich warstw grafen-ReO₃



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki

UNIWERSYTET ŁÓDZKI ARPES – kątowo rozdzielcza fotoemisja elektronów





Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



UPS : Oddziaływanie grafen-ReO_{3-x}



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Planowane układy do badań



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Planowane układy do badań



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Koniec

Układ hybrydowy grafen/TaS₂





Układ hybrydowy grafen/TMO



0.2 µm

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki

Z. Klusek

0.2 µm



Ostatnie osiągnięcia w druku strumieniowym (ink-jet)



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Cel naszych badań



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki


Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Parametry wydruku



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki



Drukowana elektronika elastyczna



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej



Grafen i jego pochodne





grafan



tlenek grafenu









Potem redukujemy GO do rGO

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

LÓDZKI MODYFIKACJA Drukarki Mimaki GP





Redukcja GO -> rGO

Redukcja termiczna

Redukcja chemiczna

Redukcja promieniowaniem

Redukcja chemiczna w HBr









Parametry wydruku

GRAPH	thikness	Transmitance @ 550 nm	Resistance per square
	10 – 15 nm	84 %	150 kΩ/sq
	30 – 35 nm	52 %	10 kΩ/sq
	55 – 65 nm	34 %	4 kΩ/sq















Nadruki na tkaninach

Zgłoszenie patentowe Nr. P. 410786 z dnia 29.12.2014

Tytuł wynalazku: Drukowane antystatyczne wykończenia tekstyliów z użyciem rGO

Przedmiotem wynalazku jest sposób wykończenia tekstyliów, nadający im właściwości antyelektrostatyczne i przewodnictwo powierzchniowe. Tekstylia są wykończane z użyciem tlenku grafenu poprzez nadruk Ink-Jet, a optymalne właściwości funkcjonalne otrzymujemy po kąpieli w stężonym kwasie HBr.

CONCOURS LÉPINE 2015, 29.04. - 10.05. 2015, Paris





Przełączanie rezystywne w tlenku grafenu



UNIWERSYTET Typy pamięci - ograniczenia



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

ŁÓDZKI



Typy pamięci - ograniczenia



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej



Memrystor



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej



Memrystor





Memrystor



Prof. Stan Wiliams







Electronic devices comprising a Laboratory gett molecular monolayer sandwiched between planar platinum and titanium me over a $10^2-10^5 \Omega$ range under current of the provide the hysteretic switching and resistance tuning was qualitatively similar for the provide the p

D.R. Stewart, D. Ohlberg, P. Beck, Y. Chen, S. Wiliams at al. Nano Letters (2004), 4, 133







Prof. Stan Wiliams





Electronic devices comprising a Laboratory gett molecular monolayer sandwiched between planar platinum and titanium me over a $10^2-10^5 \Omega$ range under current. The probability of the hysteretic switching and resistance tuning was qualitatively similar for the second second

D.R. Stewart, D. Ohlberg, P. beck, Y. Chen, S. Wiliams at al. Nano Letters (2004), 4, 133



Memrystor

nature International weekly journal of science

The missing memristor found

Ktoś wpadł na pomysł aby nie używać molekuł





D. Strukov, G. Snider, D. Stewart, , S. Williams Nature (2008), 453, 80.

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej



D. Strukov, G. Snider, D. Stewart, , S. Williams Nature (2008), 453, 80.



Memrystor



 $U(t) = \left(R_{ON} \frac{w(t)}{D} + R_{OFF} \frac{D - w(t)}{D}\right)i(t)$ $M(q) = R_{OFF} \left(1 - \frac{\mu R_{ON}}{D^2} q(t) \right)$

przy zmianie skali urządzenia od um do nm efekty związane z memristorem rosną 1 000 000 razy !!!!

D. Strukov, G. Snider, D. Stewart, , S. Williams Nature (2008), 453, 80.



Ditlenek tytanuTiO₂

TiO₂ prototyp materiału memrystywnego







Faculty of Physics and Applied Informatics



STM/STS of TiO₂(110) surface (1x1)/(1x2)

Z. Klusek, P.K. Datta, P. Kowalczyk, S. Pierzgalski, A. Busiakiewicz, A. Basu, A. Brinkman, <u>Acta Phys. Pol.</u> 104, pp. 245-258, (2003). Z. Klusek, S. Pierzgalski, S. Datta, <u>Appl. Surf. Sci.</u> 221, pp. 120-128, (2004). Z. Klusek, A. Busiakiewicz, P.K. Datta, <u>Surf. Sci.</u> 600, pp. 1619-1623, (2006). Z. Klusek, A. Busiakiewicz, P.K. Datta, et al. <u>Surf. Sci.</u> 601, pp. 1513-1520, (2007).

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej



*STM/STS TiO*₂(100) (1x3)/(1x7)

Z. Klusek, P.K. Datta, P. Kowalczyk, S. Pierzgalski, A. Busiakiewicz, A. Basu, A. Brinkman, <u>Acta Phys. Pol.</u> 104, pp. 245-258, (2003). Z. Klusek, S. Pierzgalski, S. Datta, <u>Appl. Surf. Sci.</u> 221, pp. 120-128, (2004). Z. Klusek, A. Busiakiewicz, P.K. Datta, <u>Surf. Sci.</u> 600, pp. 1619-1623, (2006). Z. Klusek, A. Busiakiewicz, P.K. Datta, et al. <u>Surf. Sci.</u> 601, pp. 1513-1520, (2007).



*STM/STS TiO*₂(001)

Z. Klusek, P.K. Datta, P. Kowalczyk, S. Pierzgalski, A. Busiakiewicz, A. Basu, A. Brinkman, <u>Acta Phys. Pol.</u> 104, pp. 245-258, (2003). Z. Klusek, S. Pierzgalski, S. Datta, <u>Appl. Surf. Sci.</u> 221, pp. 120-128, (2004). Z. Klusek, A. Busiakiewicz, P.K. Datta, <u>Surf. Sci.</u> 600, pp. 1619-1623, (2006). Z. Klusek, A. Busiakiewicz, P.K. Datta, et al. <u>Surf. Sci.</u> 601, pp. 1513-1520, (2007).













Z. Klusek, P.K. Datta, P. Kowalczyk, S. Pierzgalski, A. Busiakiewicz, A. Basu, A. Brinkman, <u>Acta Phys. Pol.</u> 104, pp. 245-258, (2003). Z. Klusek, S. Pierzgalski, S. Datta, <u>Appl. Surf. Sci. 221, pp. 120-128,</u> (2004). Z. Klusek, A. Busiakiewicz, P.K. Datta, <u>Surf. Sci. 600, pp. 1619-1623,</u> (2006). Z. Klusek, A. Busiakiewicz, P.K. Datta, et al. <u>Surf. Sci.</u> 601, pp. 1513-1520, (2007).

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej







Przełączanie rezystywne TiO₂(110)

Ten sam obszar powierzchni





topografia [nm]

resistance

prąd [nA]

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

UNIWERSYTET Przełączanie rezystywne w TiO₂(110)





Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej





K. Szot, M. Rogala, W. Speier, Z. Klusek, A. Besmehn, R. Waser <u>Nanotechnology</u> 22, 2540001 (2011).

M. Rogala, Z. Klusek, K. Szot, <u>Appl. Phys. Lett.</u> (2013).





Grafen i jego pochodne





grafan



tlenek grafenu




Przełączanie rezystywne – GO



Przełączanie rezystywne – GO





M. Rogala, P.J. Kowalczyk, P. Dąbrowski, I. Własny, W. Kozłowski, A. Busiakiewicz, S. Pawłowski, G. Dobiński, M. Smolny, I. Karaduman, L. Lipińska, R. Kozinski, K. Librant, J. Jagiełło, K. Grodecki, J.M. Baranowski, K. Szot, Z. Klusek Applied Physics Letters 106, 263104 (2015)



Redukcja GO -> rGO







Redukcja GO -> rGO



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

Z. Klusek

UNIWERSYTET Elastyczne urządzenia przełączające



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

Z. Klusek

UNIWERSYTET Elastyczne urządzenia przełączające



Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

ŁÓDZKI

UNIWERSYTET Elastyczne urządzenia przełączające



Badanie zależności I(V) GP0044 2 G1



Badanie zależności I(V) GP0057 2 G3



Badanie zależności I(V) GP0057 2 G4





Systemy neuromorficzne





Systemy neoromorficzne







KONIEC

Cz.2

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytet Łódzki

