

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

Abstract of PhD Thesis

Diffúzió és szilárdtest reakciók vizsgálata nanoskálán iparilag fontos szilícium alapú rendszerekben: kísérletek és szimulációk

Investigation of diffusion and solid state reactions on the nanoscale in silicon based systems of high industrial potential: experiments and simulations

Parditka Bence

Témavezetők / Supervisors

Dr. Erdélyi Zoltán

Prof. Christophe Girardeaux

Debreceni Egyetem

Aix-Marseille Université



Debreceni Egyetem

Fizikai Tudományok Doktori Iskolája



Aix-Marseille Université

Physique et science de la matière (352)

Debrecen / Marseille

2013-2014

Készült

a Debreceni Egyetem Fizikai Tudományok Doktori Iskolájának
Szilárdtestfizika és Anyagtudomány programja keretében

Prepared at

the University of Debrecen
PhD school in Physics

Bevezetés

Újkori, szilícium alapú technológiákra épült társadalmunkban a vezető szerep a fém-szilicidké és a germánium - szilícium alapú elektronikai eszközöké, vagyis az ezekre épült iparágaké. Akár kontakt akár szerkezeti anyagokról beszéljünk is az imént említett fém-szilicidék jelentős szerepet töltenek be a modern elektronikai iparban.

A szilícium a legtöbb esetben valamely más anyaggal közösen van jelen a különféle elektronikai eszközökben, így az különböző összetevők között lejátszódó reakciók kétség kívül nagy érdeklődésre tartanak számot. A kobalt (Co), a nikkel (Ni), a réz (Cu), az ezüst (Ag) és a germánium (Ge) közös múltja messzire nyúlik a szilíciummal (Si) vagy épp csak most kezd szembesülni a tudomány legújabb határmezsgyéivel, melyek új megoldásokat, technológiákat kínálnak a jövő problémáira.

Célkitűzés és vizsgálati módszerek

Kísérleteink és szimulációink során 4 különböző anyagpárost vizsgálva tanulmányoztuk a diffúziót valamint az ahhoz kapcsolódó fizikai folyamatokat. Ezek a következő rendszerek voltak: Si-Ge, Ni-Si, Cu-Si és Ag-Si. Ezen 4 anyagpáros mindegyike szorosan kötődik a jelenlegi vagy épp fejlesztés alatt álló elektronikai alkalmazásokhoz egészen a nanométeres mérettartományig. Jelenlétük az elektronikában, az akkumulátorok, a napelemek és az optikai adathordozók területén tagadhatatlan. Minthogy jelen társadalmunk a szilícium alapú technológiákon nyugvó számítógépek, táblagépek és mobil telefonok iparágaira épül, eme anyagpárosok, technológiák és alkalmazások további kutatása és fejlesztése tekintélyes jelentőséggel bír.

Az alábbi munkában leírt mérésekkel és az azokban felsorolt eredményeinkkel szeretnénk hozzájárulni a már elődeink által kitaposott ösvény további szélesítéséhez a tudomány eme területén annak reményében, hogy az majd másokat is inspirálni fog a jövőben.

A feszültség hatása a diffúzió kinetikájára

Elméleti alapokon nyugvó számítógépes szimuláció segítségével – az egyszerűség kedvéért, sík geometriai modellel – vizsgáltuk a feszültség diffúzióra gyakorolt hatásait. Arra a kérdésre kerestük a választ, hogy milyen folyamatok eredményeként válik a Nernst-Planck limit dominánssá a Darken limittel szemben, mint ahogy arról korábban már beszámoltak [1]. Szimulációinkban Stephenson egyenleteit használtuk fel, amelyek egy egydimenziós, izotróp, n komponensű rendszerben írják le a diffúziós folyamatok által indukált feszültség növekedését valamint azok viszkózus folyással történő relaxációját [2,3]. A szimulációk egyaránt kiterjedtek azon esetekre, amikor a diffúziós aszimmetria hangsúlyos (erősen koncentrációfüggő diffúziós együttható, mely jelentős eltérést eredményez a diffúzió sebességében fázishatár két oldalán), és azokra az esetekre is, amikor szerepe elhanyagolható volt.

Fázisképződés kezdeti lépéseinek vizsgálata a Ni-Si rendszerben XSW alapú technikákkal

Németországban a Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB) intézet 3. generációs szinkrotron sugárforrásánál, szendvics szerkezetű mintákon (Ta/a-Si/Ni/a-Si/Ta//hordozó), röntgen állóhullám technikán (X-ray Standing Wave - XSW) alapuló méréseket végeztük Ni-Si rendszerben. Célunk a keletkező szilicid fázis kezdeti

növekedési szakaszának vizsgálata volt. A mérések során a Ni₂Si fázis kezdeti növekedését követtük, majd annak további szélesedését figyeltük meg. Az alacsony szögű röntgen fluoreszcencia (Grazing Incidence X-ray Fluorescence - GIXRF) mérés során a mintákra állandó energiájú nyalábot bocsajtottunk, mely nyaláb energiája a Ni abszorpciós éle közelében volt. Mérés során a gerjesztett Ni atomok legerjesztődése során kibocsajtott fluoreszcencia jelet mértük. A belépési szög változtatásával továbbá módunkban áll megváltoztatni a kialakuló állóhullám módusait, azaz a duzzadó helyek illetve csomópontok pozícióját, ami által meghatározható a jel eredetének helye. A mért fluoreszcencia jelből egy a Debreceni Egyetem csoportjának egy tagja által kifejlesztett program segítségével módunkban állt kiszámítani a Ni atomok koncentrációját a mintában. Ez egy meglehetősen új, roncsolás-mentes technika, amely segítségével lehetőségünk van mélységi analízist végezni nanométeres feloldással. Mindemellett EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure) méréseket is végeztünk, mely során a belépési szöget és az energiát egyaránt változtattuk annak érdekében, hogy egy adott hullám módus állandó maradjon a mérés során. Az EXAFS mérésből információt nyerhetünk a legközelebbi Si-Ni atomi távolságokról valamint megkaphatjuk a szomszédos Si atomok számát a Ni atomok körül. Mivel az EXAFS méréseket is állóhullám módban mértük, így a kapott információ az állóhullámok duzzadó helyeiről származik, ekképpen egy mélységi felbontású EXAFS mérést hajtottunk végre. Jelenlegi ismereteink alapján egyetlen egy ehhez hasonló mérésről tudunk, melyet ugyanennek a debreceni tanszéknek egy csoportja hajtott végre a Co-Si rendszeren, mely során a CoSi fázis kialakulását figyelte meg a csoport. Jelen mérés azonban nem csupán az imént említett korábbi mérések megismétlése egy másik rendszeren, hanem az XSW és EXAFS mérések adatainak összehasonlításával a technika megbízhatóságának továbbfejlesztéséhez is hozzájárult. Minthogy mindkét fent említett technika segítségével meghatározható a Ni₂Si/Ni arány az így kapott eredmények összehasonlítása javítja a mérés megbízhatóságát.

Fázisnövekedés vizsgálata amorf Si – Cu rendszerben SNMS, XPS, XRD és APT technikák kombinált alkalmazásával

A Cu - a-Si rendszer megannyi szilicid fázisa megannyi tudomány területen bukkant fel az elmúlt évtizedben akár a napelemekre akár egyéb energiaforrásokra vagy akár az optikai adathordozókra gondolunk. A Cu₃Si fázis például egyes kutatások szerint erősíti az újabb generációs akkumulátorokban található Si nanoszálak szerkezeti integritását és rugalmasságát. A Cu – a-Si rendszeren folytatott mérések során a fázisképződés korai szakasza és a fázis növekedés kinetikájának meghatározása egyaránt célunk volt. Munkánk során több különböző mérés technikát kombinálva végeztük méréseinket, melyek közt egyaránt megtalálható volt a röntgen diffrakciós mérés (X-ray Diffraction - XRD), atompróbas mérés (Atom Probe Tomography - APT), másodlagos semleges

tömegspektrometria (Secondary Neutral Mass Spectrometry - SNMS), profilométeres mérések és 4 pontos ellenállásmérés.

Szilicén

Ez a rész egy meglehetősen új, az elektronika területén nemrég megjelent anyaggal, a Szilicénnel foglalkozik. A miniaturizáció egyre erősödő hatása olyan új anyagok keresésére sarkallja a kutatói társadalmat mely felválthatná a szilíciumot, mely anyag új lökést adhatna mind az elektronika mind a számítástechnika területén. Az elmúlt évek során e törekvések egy új, Nobel-díj nyertes felfedezésben, a grafénben öltöttek alakot. A grafén fantasztikus tulajdonságokat mutatott az első mérések során, melyek forradalmasíthatnák megannyi tudományág jelen állapotát. Azonban a grafén integrálása a jelenleg létező szilícium alapú technológiába igencsak kérdéses. A periódusos rendszerben a grafént alkotó C atom közvetlen szomszédságában található két atom, név szerint a Si és a Ge mely elvileg hasonló 2 dimenziós, méhkas struktúra kialakítására alkalmas. Így a szilícium atomokból álló szilicén, mely a grafénhez igen hasonló, eszményi jelölt lenne a fent említett integrációs probléma megoldására. Ebből adódóan mind az elméleti mind pedig a gyakorlati vizsgálata ennek az új anyagnak meglehetősen fontos lehet. Éppen ezért kutatásainkat erre az anyagra fókuszáltuk. Méréseink során AES (Auger Electron Spectroscopy), LEED (Low Energy Electron Diffraction) és STM (Scanning Tunneling Microscopy) méréseket végeztünk azért, hogy meghatározzuk a különböző szilicén struktúrák stabilitását és a szilícium ezüstbe történő beoldódási limitét. Vizsgálataink során a (4×4) és a $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ szilicén struktúrák stabilitását vizsgáltuk megközelítőleg 1 atomi réteg ezüstre párologtatott szilícium segítségével.

Új tudományos eredmények

Az alábbi eredmények számos tudományos folyóiratban jelentek meg és képezték konferencia előadások és poszterek anyagát.

A feszültség hatása a diffúzió kinetikájára

Eredményeink alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a feszültség hatások nem járnak lényeges hatással a fázishatár eltolódás kinetikájára, azaz a parabolikus növekedés megmarad, bár a keveredési sebesség lelassul. A feszültségtér megnöveli a lassabb, míg lelassítja a gyorsabban atom áramát. Ebből adódóan kezdeti különbségük kiegyenlítődik, amely a Nernst-Planck limit kialakulásához vezet. Ennek kialakulása nagyon gyorsan bekövetkezik, még mielőtt bármiféle mérhető fázishatár eltolódás megjelenne. Ezek az eredmények összhangban állnak Schmitz és munkatársainak kísérleti eredményeivel.

Publikációk: [A1-3], [P1-3]

Fázisképződés kezdeti lépéseinek vizsgálata a Ni-Si rendszerben XSW alapú technikákkal

Méréseinkkel rámutattunk, hogy az EXAFS és GIXRF mérések eredményei segítségével, valamint ezen eredmények egybevetésével képesek vagyunk nyomon követni a fázis növekedés kezdeti szakaszát egy fém-szilicid rendszerben a minta roncsolása nélkül megbízható eredményeket szolgáltatva. Mind az EXAFS mind pedig a GIXRF mérések eredményei alapján kimutatható volt a Ni_2Si fázis megjelenése és későbbi növekedése. A két különálló mérési eljárás eredményei jó korrelációt mutattak. Munkánk során tovább fejlesztettük a már létező kiértékelési eljárást az EXAFS és GIXRF egymástól teljesen függtlen mérési eredményeinek összevetésével. Mindkét mérési eljárás lehetőséget nyújt a $\text{INi}_2\text{Si}/\text{INi}$ arány meghatározására a hőkezelési idő függvényében, mely eredmények összehasonlíthatók, így növelve a megbízhatóságát ennek az összetett mérési eljárásnak.

Publikációk: [A5], [P1-3]

Fázisnövekedés vizsgálata amorf Si – Cu rendszerben SNMS, XPS, XRD és APT technikák kombinált alkalmazásával

Alapvetően két igen érdekes eredmény született ezekből a méréseinkből. Elsőként kimutattuk, hogy a Cu/a-Si/hordozó szerkezetű minta esetén a fázisnövekedés lineáris kinetikát követett ellentétben a szakirodalomban fellelhető parabolikus növekedési kinetikával [4], amelyet 450-500 K hőmérsékleti tartományban végeztek. Ezt követően kimutattuk, hogy az imént említett lineáris fázisnövekedést megelőzően egy elképesztően gyors nukleáció következett be a legrövidebb hőkezelést követően, mely esetén éppen csak addig tartottuk a kívánt hőmérsékleten a mintát, amíg a felmelegítés során elértük az adott hőmérsékletet, amit aztán rögtön hagyjunk lehűlni. Meglepő módon még ekkor is egy mintegy 20 nm vastag fázis alakult ki a mintában. A jelenség tisztázása érdekében két újabb, eltérő szerkezetű mintát vizsgáltunk: Cu/a-Si/Cu/hordozó és a-Si/Cu/a-Si/hordozó. A méréseinkből kimutatható volt, hogy a fázisnövekedés azon fázishatárokon indult meg ahol a Cu az a-Si felett helyezkedett el, míg a másik fázishatár gyakorlatilag változatlan formában megőrződött. Ez a mérési eredmény jó példával szolgál annak demonstrálására, hogy az egyes rétegek gyártási sorrendje mennyire kritikus jelentőséggel bírhat a fázisnövekedésben. A jelenség ebben az esetben azzal magyarázható, hogy a Si szeret a felületen szegregálni ebben a rendszerben, így mikor a Si-ot porlasztjuk a Cu-re az termodinamikailag kívánatosabb, mint mikor a Si kerül a Cu alá. Ebből következőleg az utóbbi esetben, mikor a Si a Cu alatt helyezkedik el, a Si atomok bediffundálnak a Cu rétegbe, ezáltal egy kevert réteget létrehozva, míg a másik fázishatár alapvetően éles marad. A fázis megjelenése értelemeszerűen sokkal egyszerűbb abban az esetben ahol már alapvetően adott egy kevert zóna.

Publikációk: [A4-8], [K1-2] [P1-3], [P5]

Szilicén

Méréseink során az AES, LEED és STM mérések eredményei alapján meghatároztuk a Si beoldódási határát az Ag-ben. Eredményeinket a szilicén (4 X 4)-es struktúráján végzett méréseinkre alapoztuk. A beoldósási határ értékét 1.88 at% -nak találtuk 300 °C-on.

Publikációk: [P3]

Introduction

In our new, modern Si based technological world the leading role belongs to metal silicides, Si-Ge based electronic devices and the industries behind them. These metal-silicides whatever they are contact or structural materials play a significant role in the modern electronics.

In the applications silicon is usually in contact with different materials and the reactions that take place between them are worth to deal with. Materials like Cobalt (Co), Nickel (Ni), Copper (Cu), Silver (Ag) or Germanium (Ge) have a long last history with Silicon and some of them just started to face with new frontiers, finding a new solutions, new technologies for the future.

Objectives and methods

We studied the diffusion and diffusion related solid state reactions in four different material couples, namely in the Si-Ge, Ni-Si, Cu-Si and Ag-Si systems. Each of these four pair of materials tightly coupled to the present or the possible future applications of electronics even at the nanoscale. Their presence in the field of electronics, power sources, solar cells and optical data storage are undeniable. Since our modern society built upon the shoulders of the silicon based technology of the computers, tablets, mobile phones, ... etc, the further investigations and their possible developments are required and are of great importance.

We wanted to contribute with this work to the already existing wide range of knowledge revealed by our predecessors on these fields, hoping that our new findings will inspire other fellow researchers as well.

Stress effects on the kinetics of nanoscale diffusion processes

We analyzed theoretically – for the sake of simplicity, for planar model geometry – the role of stress in diffusion. We were looking for the cause for effects forcing the system to shift from the Darken to the Nernst–Planck regime as it is reported in [1]. In our simulations we started from Stephenson’s equations for a one-dimensional, isotropic n component system that describe the diffusion-induced stress development and stress relaxation by viscous flow [2,3]. We considered cases when the diffusion asymmetry was significant (strongly composition dependent diffusion coefficient resulting in significantly faster diffusion on one side of the interface than on the other) and also when it was negligible.

Investigation of the early stage of phase formation in Ni-Si system by XSW based techniques

To monitor the very beginning of silicide phase formation in the Ni-Si system, we performed X-ray Standing Wave (XSW) based experiments on sandwich structured samples (Ta/a-Si/Ni/a-Si/Ta//hordozó). The experiments were realized in the Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB) in Germany by using a

third generation synchrotron radiation source. We followed the phase formation and growth at a given temperature at which the Ni₂Si phase has formed and continued to grow.

In the Grazing Incidence X-ray Fluorescence (GIXRF) method the samples were irradiated by a beam with fix energy close to the absorption edge of Ni. Accordingly we excited the absorbent Ni atoms and measured the ejected fluorescent signal during their relaxation. By changing the angle of incidence of the beam we could change the transversal mode of the standing wave formed between the waveguide layers, i.e. the position of the nodal and anti-nodal points. This allowed us to tune the position from where the signal came. Afterward we used the software developed by one of our Hungarian team members to reconstruct the composition profile of Ni within the sample. This is a relatively new nondestructive depth profiling method with nanoscale resolution.

Subsequently, we performed Extended X-ray Absorption Fine Structure (EXAFS) measurements in fluorescence detection as well by changing the energy of the beam around the absorption edge of Ni and to keep a given transversal mode of the standing wave constant we also changed the angle of incidence of the beam adequately. This measurement provides information about the local environment of atoms; e.g. the next nearest Ni-Si distance and the number of next nearest Si neighbors of Ni atoms. As this measurement was also performed in the waveguide structure, the information came from not the whole sample but mainly from the position of the nodal points of the standing wave. Accordingly we realized a depth selective EXAFS measurement.

To our knowledge these methods were used first time in our Hungarian group to monitor compound phase formation, namely the formation of CoSi in the Co-Si system. The experiment reported in this thesis is the second example. This was, however, not only a repetition of the previous experiment in another system but we further developed the evaluation method by correlating the results obtained from the independent measurements of the GIXRF and EXAFS. From both analyses we were able to determine Ni₂Si/Ni ratio as a function of annealing time and compare them, which increases the reliability of this combined method.

Phase growth in amorphous Si-Cu system: combination of SNMS, XPS, XRD, and APT techniques

The Cu-Si system gains a foothold amongst others in the field of power sources and solar cells as well. For example the Cu₃Si phase turns out to increase the structural integrity, flexibility of Si nanowire/rod based secondary batteries. This third section thus contains the results that we obtained in the Cu-Si system, where we were interested not only in the very beginning of the phase formation but also in the growth kinetics of the phase. We performed a combination of experiments and techniques such as X-ray Diffraction (XRD), Atom Probe Tomography (APT), Secondary Neutral Mass

Spectrometry (SNMS), profilometer and 4 wire resistance measurements on sputtering deposited samples in order to follow the early stage of phase formation and growth in this system.

Silicene

This section deals with a quite new material in the field of electronics that is called silicene. The increasing effect of miniaturization and the demand for new candidates that could take the place of silicon and could give a push to the fields of computer technologies and electronics. These endeavors in the recent years combined in the discovery of a new material awarded by the Noble prize: the graphene. This material showed remarkable properties that could revolutionize the current state of electronic devices. However its integration into the recent technology is quite complicated. On the other hand, just in the neighborhood of the base material of the graphene, namely the carbon, there are two materials in the periodic table which could theoretically create the same honeycomb two-dimensional structure. These materials are the Ge based germanene and the Si based silicene. The silicene that is the silicon based homolog of the graphene could be the ideal solution for our problem. Investigations concerning this material are very important from both practical and theoretical point of view. In this manner, we investigated the dissolution of Si into Ag for two of the known possible existing silicene superstructures on the Ag(111) substrate, in order to extract more precise dissolution data for this system and, at the same time, to study the stability of these superstructures on elevated temperature. We performed a combination of AES, LEED, STM measurements depositing 1 monolayer of silicene on Ag(111) substrate with two different superstructure orientations, namely (4×4) and $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ superstructures.

New scientific results

The results enlisted here were published or submitted in different scientific journals and gave the basis of a number of conference speeches and posters.

Stress effects on the kinetics of nanoscale diffusion processes

We obtained that stress effects do not have any measurable effects on the kinetic coefficient of the interface shift, i.e. the parabolic growth rate is preserved. However, the intermixing rate decreases. The stress field enhances the atomic flux of the slower component but diminishes the other. As a consequence, their initial difference is equalized, leading to the establishment of the Nernst–Planck regime. The development of the Nernst–Planck regime is remarkably fast, finishing before any detectable shift of the interface. These results are in agreement with the experimental results of Schmitz et al. [1]

Publications: [A1-3], [P1-3]

Investigation of the early stage of phase formation in Ni-Si system by XSW based techniques

We demonstrated that using a combination of EXAFS and GIXRF measurements in waveguide structure and comparing their results, we could follow the very beginning of the phase growth in a metal silicide system in a non-destructive way achieving reliable results. Both the GIXRF and the EXAFS measurements equally pointed out appearance the later development of the Ni₂Si phase, moreover the GIXRF and EXAFS results showed good correlation.

We further developed the evaluation method that has already been existed by correlating the results obtained from the GIXRF and EXAFS independent measurements. From both analyses we were able to determine the INi₂Si/INi ratio in the function of annealing time and compare them, that increase the reliability of this combined method.

Publications: [A5], [P1-3]

Phase growth in amorphous Si-Cu system: combination of SNMS, XPS, XRD, and APT techniques

Essentially we achieved two interesting results from our investigations. First, we found that in case of the Cu/a-Si/substrate samples the phase formation was followed by a linear kinetics contrary to a result reported in literature, according to which the phase growth in the 450-500 K range was found to be parabolic [4]. Second, prior to the linear phase growth, we observed an extremely fast phase formation that appeared immediately after the very first and shortest annealing, that took only as long as the sample reached the desired temperature then was cooled down immediately afterwards. Even in this case a quite wide ~20 nm thick product layer was found. To clear up this phenomenon we prepared and investigated two types of samples: Cu/a-Si/Cu/substrate and a-Si/Cu/a-Si/substrate. We have found that the phase formation appeared only on that interface where the Cu was on top position while the other interface remained practically intact. This shows that the preparation sequence of the sample is a crucial point in phase formation processes. In the present case the phenomenon can be explained by the fact that the Si has surface segregation tendency in this system. Hence, during deposition of Si onto Cu the Si atoms prefer to stay on top, whereas deposition of Cu onto Si results in a thermodynamically non-favorable state. Consequently, Si atoms diffuse into the Cu layer forming a more diffused interface than in the reverse deposition case. Obviously, phase formation is easier and faster in an intermixed region than at a sharp interface.

Publications: [A4-8], [K1-2] [P1-3], [P5]

Silicene

We determined the dissolution limit of Si in Ag from data obtained from the AES measurements described above to be 1.88 at% at 300 °C in case of the (4 X 4) superstructure.

Publications: [P3]

Referencia / References

- [1] G. Schmitz, C.B. Ene, C. Nowak, *Acta Materialia* 57 (9) (2009) 2673–2683.
- [2] G. Stephenson, *Acta Metallurgica* 36 (10) (1988) 2663–2683.
- [3] D. Beke, P. Nemes, Z. Erdélyi, I. Szabó, G. Langer, *Material Research Symposium on Proceedings* 527 (1998)99–110.
- [4] R.R. Chromik, W.K. Neils and E.J. Cotts, *J. Appl. Phys.*, 86 (1999) 4273.

Publikációs Lista (Publication List)

Parditka Bence

Cikkek / Articles

- [A1] D. L. Beke, Z. Erdélyi, **B. Parditka**
Effect of Diffusion Induced Driving Forces on Interdiffusion - Stress
Development/Relaxation and Kinetics of Diffusion Processes
DEFECT AND DIFFUSION FORUM, Vol. 309 – 310, p113 (2011)
- [A2] Z. Erdélyi, **B. Parditka**, D. L. Beke
Stress effects on the kinetics of nanoscale diffusion processes.
SCRIPTA MATERIALIA, 64:(10) pp. 938-941. (2011)
- [A3] **B. Parditka**, Z. Erdélyi, D.L. Beke
STRESS EFFECTS ON THE KINETICS OF NANOSCALE DIFFUSION
PROCESSES
ACTA PHYSICA DEBRECINA, XLV, 156 (2011)
- [A4] **B. Parditka**, M. Verezhak, Z. Balogh, A. Csik, G. A. Langer, D. L. Beke, M. Ibrahim,
G. Schmitz, Z. Erdélyi
Phase growth in an amorphous Si–Cu system, as shown by a combination of SNMS,
XPS, XRD and APT techniques
ACTA MATERIALIA, 61 7173–7179 (2013)
- [A5] **B. Parditka**
PHASE GROWTH ANALYSIS IN METAL SILICIDES
ACTA PHYSICA DEBRECINA, (2013) submitted
- [A6] M. Ibrahim, Z. Balogh, P. Stender, R. Schlesiger, G.-H. Greiwe, G. Schmitz,
B. Parditka, G.A. Langer, A. Csik and Z. Erdélyi
On the influence of the stacking sequence in the nucleation of Cu₃Si: experiment and
the testing of nucleation models
ACTA MATERIALIA, (2014) accepted
- [A7] Z. Balogh, M. Ibrahim, A. B. Fuhrich, **B. Parditka**, R Schlesiger, P. Stender,
Z. Erdélyi, G. Schmitz
Interfacial reaction and phase growth for various metal/amorphous silicon system

TMS2014 ANNUAL MEETING SUPPLEMENTARY PROCEEDINGS,
1049-1056 (2014)

- [A8] **B. Parditka**, Mariana Verezhak, Mohammed Ibrahim
Phase growth in amorphous Si-Cu and Si-Co systems: combination of SNMS, XPS,
XRD, and APT techniques
DEFECT AND DIFFUSION FORUM, (2014) accepted
- [A9] H. Jamgotchian, Y. Collignon, B. Ealet, **B. Parditka**, J-Y. Hoarau, C. Girardeaux, B.
Aufroy and J-P. Bibérian
Silicene on Ag(111): domains and local defects of the observed superstructures
EMCMRE-2, Conference, Istres (07/2013),
INSTITUTE OF PHYSICS PUBLICATION, Proceedings (2014)

Konferencia előadások / Conference Presentations

- [K1] 2012/09/27-29
B. Parditka*, M. Verezhak, Z. Balogh, A. Csik, G. A. Langer, D. L. Beke, M.
Ibrahim, G. Schmitz, Z. Erdélyi
Preliminary study of phase growth in amorphous Si-Cu system
Diffusion, Solid State Reactions and Phase Transformations on Nanoscale /
International Workshop
Eger, Magyarország
(Absztrakt kiadvány) 2012
- [K2] **2013/06/24-28**
B. Parditka*, M. Verezhak, Z. Balogh, A. Csik, G. A. Langer, D. L. Beke, M.
Ibrahim, G. Schmitz, Z. Erdélyi
Phase growth in amorphous Si-Cu system: combination of SNMS, XPS, XRD, 4W
resistance techniques
9th International Conference on Diffusion in Solids and Liquids – DSL2013
Madrid, Spanyolország
(Konferencia kiadvány) accepted 2014

Poszterek / Posters

- [P1] **2012/05/24-25**
B. Parditka, C. Girardeaux, Z. Erdélyi, A. Portavoce
Investigation of diffusion and solid state reactions in thin layers: experiments and simulations
Journées de l'Ecole Doctorale Physique et Sciences de la Matière
Luminy, Franciaország
(+ Absztrakt kiadvány) 2012
- [P2] **2012/07/10-11**
B. Parditka, C. Girardeaux, Z. Erdélyi, A. Portavoce
Investigation of diffusion and solid state reactions in thin layers: experiments and simulations
Journées de l'Im2np conference
Cassis, Franciaország
- [P3] **2013/05/30-31**
B. Parditka, C. Girardeaux, Z. Erdélyi, A. Portavoce
Investigation of diffusion and solid state reactions in thin layers: experiments and simulations
Journées Scientifiques de L'Ecole Doctorale 352 „ Physique et Sciences de la Matière”
Luminy, Franciaország
- [P4] **2013/07**
H. Jamgotchian, Y. Collignon, B. Ealet, **B. Parditka**, J-Y. Hoarau, C. Girardeaux, B. Aufray and J-P. Bibérian
Silicene on Ag(111): domains and local defects of the observed superstructures
EMCMRE-2
Istres, Franciaország
- [P5] **2013/08/21-24**
B. Parditka, M. Verezhak, M. Ibrahim
Fázisnövekedés amorf Si – Cu rendszerben; SNMS, XPS, XRD valamint APT technikák kombinált alkalmazása
Magyar Fizikus Vándorgyűlés
Debrecen, Magyarország
(+ Absztrakt kiadvány)