

FAZNA MEJA KOVINA/POLPREVODNIK

Janez Kovač, Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko - ITPO, Teslova 30, 1000 Ljubljana

Metal/semiconductor interface

ABSTRACT

Electrical properties of metal/semiconductor junctions depend on characteristics of the interface between materials. Methods for surface characterisation can be used to investigate model interfaces as a thin adsorbed layer of metal that can present the initial stage of junction formation. This microscopic approach can be complementary to the measurements of electrical characteristics (I-U, C-U).

We present a study performed in order to improve the understanding of microscopic morphological effects during the formation and evolution of metal/semiconductor interfaces and electronic properties of these interfaces. For this purpose we studied the interaction between deposited Au thin films and interfaces Ag/Si(111) containing different morphological phases formed at elevated temperatures. By means of spatially resolved Si 2p, Ag 3d and Au 4f photoelectron spectra, obtained with the new photoelectron microscope at the Elettra synchrotron radiation facility, the composition and chemical status at interfaces were examined. The electronic properties of different phases were deduced from the shift of the Si 2p and valence band spectra.

POVZETEK

Elektronske lastnosti spoja kovina/polprevodnik so odvisne od narave fazne meje med materialoma. Z metodami za preiskavo površin lahko preiskujemo modelno fazno mejo, kot je tanka adsorbirana plast kovine, kar pomeni začetno fazo nastajanja spoja kovina/polprevodnik. Ta mikroskopski način je lahko komplementaren k meritvam električnih karakteristik spoja (I-U, C-U).

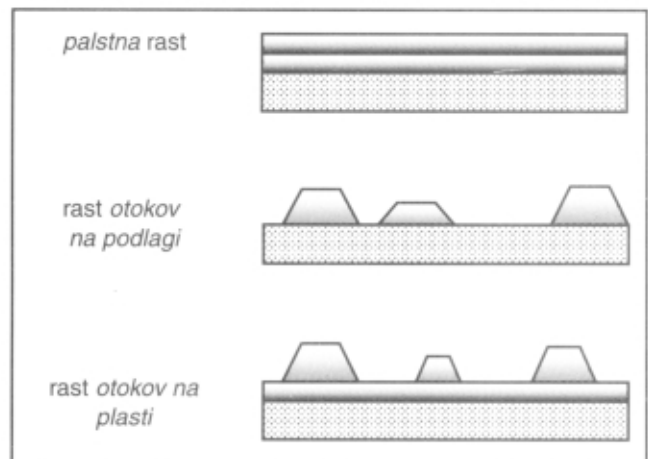
Da bi prispevali k razumevanju mikroskopskih vplivov morfologije na nastanek fazne meje kovina/polprevodnik in na elektronske lastnosti na meji smo preiskali interakcijo med naperjeno kovinsko plastjo Au in različnimi morfološkimi fazami na fazni meji Ag/Si(111), ki nastanejo pri povišani temperaturi. Iz fotoelektronskih spektrov Si 2p, Ag 3d in Au 4f, dobljenih s fotoelektronskim mikroskopom na sinhronu Elettra, smo sklepali na sestavo, kemijsko stanje in iz premika spektra Si 2p ter valenčnega pasu na elektronske lastnosti različnih faz.

1 Uvod

Spoj kovina/polprevodnik je pomemben sestavni del elektronskih in optoelektronskih elementov /1/. Kljub obsežnim preiskavam še vedno ni zadovoljivo pojasnjeno, kaj vpliva na kemijske, strukturne in elektronske lastnosti na fazni meji med kovino in polprevodnikom, ki določajo električne karakteristike spoja /2/. Problem je zanimiv s tehnološkega stališča izdelave elektronskih naprav, kakor tudi s stališča razumevanja osnovnih procesov, ki potekajo na faznih mejah.

Fazna meja med kovino in polprevodnikom ni inerten sistem. Med nastankom in delovanjem elektronske komponente lahko poteče kemična reakcija, nastanejo nove spojine ali pa pride do difuzije in mešanja atomov pri povišani temperaturi ali pod vplivom električnega polja. Interakcija na fazni meji vpliva na elektronske lastnosti ob meji, ki se razlikujejo od tistih v kovini in polprevodniški podlagi. Spoj kovina/polprevodnik lahko kaže usmerniške lastnosti in ga imenujemo Schottkyjeva dioda ali pa je ohmski kontakt. V Schottkyjevi diodi je višina potencialne pregrade (Schottkyjeva pregrada) ob fazni meji tista, ki odločilno vpliva na tokovne karakteristike spoja.

Za kvalitetno izvedbo spoja kovina/polprevodnik je zaželeno kontrolirana in plastna rast kovinske plasti na polprevodniku. Velikokrat pa takšne rasti ni mogoče doseči in nastane lateralno nezvezna kovinska plast, ki vsebuje faze z različno sestavo, strukturo in elektronskimi lastnostmi. Pri pripravi plasti v vakuumskem okolju potekajo med rastjo plasti različni procesi kot npr.: kondenzacija, difuzija atomov po površini, adsorpcija na posebnih mestih, nukleacija v otoke, interdifuzija, desorpcija itd. Pogoji, ki določa način rasti, je površinska napetost γ ali prosta energija, potrebna za nastanek enote nove površine. V splošnem razlikujemo tri načine rasti plasti, ki so prikazani na sliki 1.



Slika 1: Načini rasti kovinske plasti na podlagi

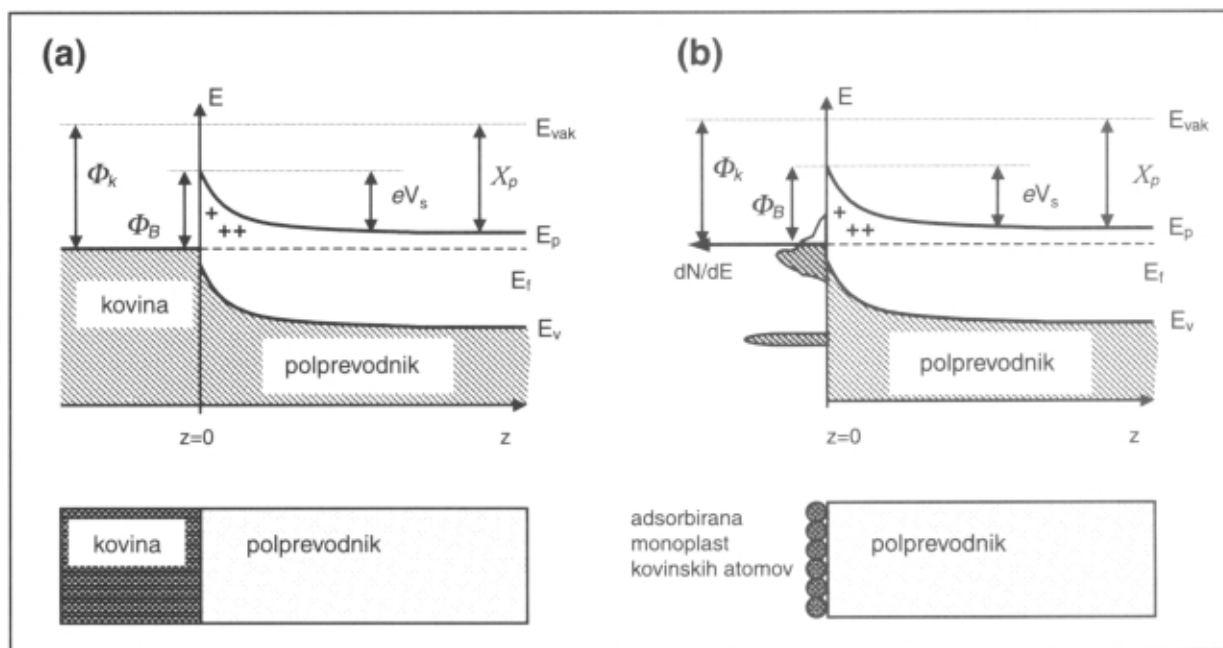
- 1) **Plastna rast**, imenovana tudi način Frank-van der Merve. Tu je interakcija med atomi iz podlage in atomi v plasti močnejša od interakcije med atomi v plasti. Vsaka naslednja plast začne rasti po končani prejšnji plasti.
- 2) Rast **otokov na podlagi**, imenovana tudi način Vollmer-Weber. Tu se nanese plast zbere v 3D-otokih, ki so neposredno na površini podlage. V tem primeru je interakcija med sosednjimi atomi v plasti močnejša od tiste med atomi iz plasti in podlage.
- 3) Rast **otokov na plasti**, imenovana tudi način Stranski-Krastanov, je vmesni primer. Po nastanku ene plasti (lahko tudi več) na njej nastajajo 3D-otoki. Vzrok za takšno rast je lahko neskladje med velikostjo in simetrijo mreže podlage in rastoče plasti. Zaradi tega se ne nadaljuje začeta rast prve atomske plasti v drugi. Nastajanje 3D-otokov lahko opazimo tudi pri segrevanju tankih plasti, ki so rasle pri nižjih temperaturah v plastnem načinu.

2 Modelne fazne meje kovina/polprevodnik

Osnovni problem pri pripravi spoja kovina/polprevodnik je, (i) kako na kontroliran način vplivati na elektronske lastnosti (npr. vpetje Fermijevega nivoja) in (ii) kako kontrolirano vplivati na rast kovinske plasti na polprevodniku. Pri iskanju odgovorov na ta vprašanja pomagajo študije na modelih faznih mej, kot je tanka adsorbirana plast kovine na polprevodniškem monokristalu. Pri takšnih plasteh še ne moremo govoriti o spoju kovina/polprevodnik, lahko pa v tem vidimo začetno fazo nastajanja takšnega spoja. Adsorbirana plast ima elektronsko strukturo, ki izraža interakcijo med atomi kovine in polprevodnika. V takšni plasti nastanejo nova lokalizirana elektronska stanja, ki lahko ležijo v energijski reži polprevodnika. Možni mehanizmi za nastanek teh stanj so bili že predstavljeni v tej reviji /3/. Ta stanja vplivajo na prenos naboja med polprevodnikom in kovinsko plastjo, posledično na vpetje Fermijevega nivoja in s tem na nastanek plasti spremenjenega naboja pod adsorbirano plastjo. Elektronska stanja na fazni meji so lahko porazdeljena zvezno okoli Fermijevega nivoja (imajo kovinski značaj) ali pa so nezvezna in jim pripišemo polprevodniški značaj. Ker je adsorbirana plast kovine dvodimenzionalni (2D) sistem, ne moremo neposredno primerjati električnih karakteristik takšne plasti in karakteristik že izoblikovanega spoja, kot je npr. tok v prečni smeri na fazno mejo. Lahko pa sklepamo iz elektronskih lastnosti teh 2D-faz na elektronske lastnosti spoja kovina/polprevodnik, ki nastane z nadaljnjim nanašanjem kovinske plasti. Slika 2 prikazuje ukrivitev energijskih pasov na fazni meji med kovino in polprevodnikom ter za tanko adsorbirano plast kovine na polprevodniku. S slike je razvidno, da sta ukrivitvi podobni in da je adsorbirana plast kovine primeren model za spoj kovina/polprevodnik.

Preiskave modelnih sistemov se začnejo s pripravo čiste površine monokristala polprevodnika, na katero z naprevanjem nanese ultra tanke kovinske plasti. Že na sami površini monokristala se navadno spremeni lega atomov v zadnji plasti glede na atomsko rešetko v notranjosti kristala. Vzrok je rekonstrukcija in relaksacija zadnje plasti zaradi tendence kristala, da bi zmanjšal površinsko energijo. Pri tem na površini monokristala nastanejo faze, ki se po strukturi, simetriji in elektronskih lastnostih razlikujejo od tistih v notranjosti kristala. Tako na primer na površini Si(111) označimo simetrijo rekonstruiranih 2D-faz s 7x7 ali 2x1, kar pomeni dimenzijo robov osnovne celice faze na površini, izraženo z velikostjo kristalne rešetke podlage.

Plasti, ki jih preiskujemo na opisanih modelih, so debele od dela atomske monoplasi do nekaj monoplasi in imajo značaj površine, zato jih lahko analiziramo z metodami za preiskavo površin. Zelo primerna metoda za preiskavo sestave, kemičnega stanja elementov in elektronskih lastnosti faz na fazni meji kovina/polprevodnik je fotoelektronska spektroskopija /4/. Metoda je občutljiva samo za nekaj atomskih monoplasi, kar omogoča, da v elektronskih lastnostih izločimo prispevek iz notranjosti kristala. Iz oblike fotoelektronskih vrhov in valenčnega pasu, sklepamo na interakcijo med atomi adsorbirane plasti in podlago. Iz zasedenosti elektronskih stanj tik pod Fermijevim nivojem, ki določa elektronska stanja z vezavno energijo 0 eV, lahko sklepamo na polprevodniški ali kovinski značaj opazovane faze na površini vzorca. Iz premika fotoelektronskega vrha iz materiala podlage pa lahko sklepamo na ukrivitev elektronskih pasov pod adsorbirano plastjo. Iz tega podatka lahko izračunamo višino Schottkyjeve pregrade na fazni meji. Poseben razmah te metode je bil dosežen z uporabo sinhrotronske



Slika 2: Energijski pasovi na fazni meji (a) kovina/polprevodnik in (b) za monoplast kovine na polprevodniku. Simboli na sliki pomenijo: Φ_k izstopno delo kovine, χ_p elektronska afiniteta polprevodnika, eV_s ukrivljenost pasov, Φ_B Schottkyjeva pregrada, E_{vak} energija vakuumskega in E_F Fermijevega energijskega nivoja ter E_P in E_V energiji robov prevodnega in valenčnega pasu.

svetlobe za vzbujanje fotoelektronov. Visoka intenziteta in monokromatičnost te svetlobe omogočata snemanje energijsko in lateralno visoko ločljivih spektrov.

Elektronske lastnosti nastalih faz na fazni meji lahko izmerimo tudi s tunelsko (STM) ali balistično elektronsko mikroskopijo (BEEM). S tunelskim mikroskopom in uklonom nizkoenergijskih elektronov (LEED) lahko določimo njihovo geometrijsko strukturo. S spektroskopijo Augerjevih elektronov (AES) lahko določimo sestavo na fazni meji. Kombinacija te metode in nizkoenergijskega elektronskega uklona (AES/LEED) je zelo učinkovita pri določanju faznih diagramov površinskih struktur na faznih mejah. Poseben pomen pri študiju modelov fazne meje imajo teoretične študije, ki na osnovi medatomskega potenciala in geometrijske strukture fazne meje poskusijo predvideti elektronsko strukturo meje.

Redkeje se na modelnih faznih mejah izvajajo meritve električnih karakteristik I-U in C-U. Za izvedbo meritev je potrebno nanesti plast kovine (okoli 100 nm), ki lahko vpliva na lastnosti opazovane fazne meje.

3 Primer preiskav faznih mej v sistemu (Au, Ag)/Si(111)-7x7

Nadalje predstavljamo rezultate nekaterih preiskav na heterogenih modelnih faznih mejah, ki smo jih izvedli, da bi pojasnili vlogo nehomogenosti na fazni meji in da bi preiskali medsebojni vpliv dveh kovin na preoblikovanje fazne meje /5-7/. Preiskave faznih mej med kovino in polprevodnikom so bile namreč v preteklosti večinoma omejene na enokomponentne kovinske plasti na polprevodniku. Pričakovati je, da bi lahko z uporabo dodatnega elementa dosegli želene lastnosti, kot so večja termična obstojnost, epitaksialna rast, drugačne elektronske lastnosti itd.

Odločili smo se za preiskave faznih mej, ki nastanejo po interakciji med eno- in dvokomponentnimi plastmi kovine Ag in zlitine AuAg ter podlago Si(111). Sistem AuAg/Si smo izbrali zato, ker pri interakciji med Si in Au ter Ag pri višjih temperaturah nastanejo v plasti na fazni meji nove faze z različno sestavo in strukturo. Novo nastale faze so mikrometrskih dimenzij in lahko delujejo kot izviri ali ponori materiala pri nadaljnjem nanosu kovinskih plasti.

V preteklosti sta bili fazni meji Ag/Si(111) in Au/Si(111) med najbolj preučevanimi /3, 8-10/. Zaradi ostre meje in metastabilnih reakcijskih produktov sta bili omenjeni fazni meji vzeti kot splošni prototip fazne meje med kovino in polprevodnikom. Oba sistema imata za primer kosovnega materiala evtektični fazni diagram, ki ne predvideva tvorbe stabilnih reakcijskih produktov. Čeprav sta Ag in Au plemeniti kovini in sta sorodni po elektronski strukturi, navedeni fazni meji kažeta različne lastnosti. Na fazni meji med plastjo Au in Si(111) pri sobni temperaturi pride do prekinitve močne kovalentne vezi Si-Si in do nastanka plasti Au-Si na plasti Au, ko debelina nanosa preseže kritično debelino 3-4 monoplasi. Nasprotno pa pri enakih razmerah fazna meja Ag/Si(111) ostane ostra. Pri temperaturah od 250 do 450 °C se tanki plasti Au in Ag na Si(111) preoblikujeta po načinu Stranski-Krastanov, kar pomeni, da se izoblikuje heterogena fazna meja; dvodimenzionalna (2D) faza z urejeno strukturo $(\sqrt{3}\times\sqrt{3})R30^\circ$ je prekrita s tridimenzionalnimi (3D) otoki. V nadaljevanju

bomo zaradi krajše pisave označili 2D-faze s strukturo $(\sqrt{3}\times\sqrt{3})R30^\circ$ z oznako $\sqrt{3}$ -Au/Si in $\sqrt{3}$ -Ag/Si. Elektronske lastnosti 2D-faz obeh sistemov se razlikujejo. Analiza valenčnega pasu je za fazo $\sqrt{3}$ -Ag/Si pokazala polprevodniški značaj, medtem ko za fazo $\sqrt{3}$ -Au/Si kovinskega.

Manj so poznane fazne meje med dvokomponentnimi kovinskimi plastmi AgAu in Si(111). V plasti ob meji so strukturne študije pokazale obstoj različnih 2D-faz in 3D-otokov in da vrstni red nanašanja kovin vpliva na njihove lastnosti /11, 12/. Bilo je ugotovljeno, da se ob takšnih mejah odvijajo naslednji procesi: (i) substitucija in odstranitev atomov Ag, vezanih z Si, z atomi Au; (ii) z Au pospešena difuzija atomov Si skozi kovinsko plast AgAu; (iii) nastanek urejene 2D-faze, ki vsebuje atome obeh kovin; (iv) nastanek plasti spojine Ag-Au-Si in (v) epitaksialna rast novo nanosenih plasti na fazah s strukturo $(\sqrt{3}\times\sqrt{3})R30^\circ$ pri sobni temperaturi. Zaradi slabe lateralne ločljivosti uporabljenih analitičnih metod do sedaj še ni bilo pojasnjeno, kakšno vlogo imajo pri tem mikrostrukture, kot so 3D-otoki.

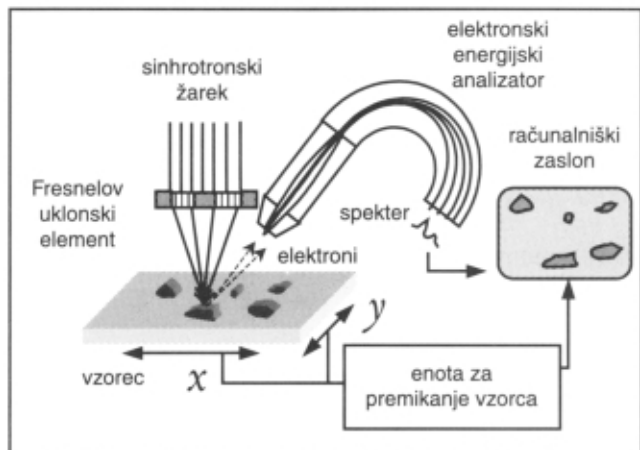
4 Priprava vzorcev

Vzorci smo pripravili v ultra visokem vakuumu na rezinah monokristala Si z orientacijo (111). Vsebovale so primesi tipa n (dušik) koncentracij od 10^{16} do 10^{17} atomov/cm³. Velikost vzorcev je bila 5 x 10 mm, njihova debelina pa 0,3 mm. Po rekonstrukciji površine smo preverili nastalo strukturo 7x7 z uklonom nizkoenergijskih elektronov in kontaminacijo površine s spektroskopijo Augerjevih elektronov. Fazno mejo Ag/Si(111) smo pripravili tako, da smo na površino Si(111)-7x7 naparili 4 monoplasi Ag in vzorec uporovno segreli na 530 °C za 15 minut. Debelino nanosene plasti smo preverili z razmerjem signalov kovine in Si iz spektrov Augerjevih elektronov. Po segrevanju smo preverili nastanek novih 2D-faz z uklonom nizkoenergijskih elektronov.

5 Preiskovalne metode

Slabo poznavanje pojavov na mikrometrski skali je deloma povezano tudi z do nedavnega nezadostno razvito instrumentalno tehniko. Zato smo pri svojih preiskavah na faznih mejah kovina/polprevodnik večinoma uporabljali novo metodo, fotoelektronsko spektromikroskopijo, ki ima visoko prostorsko ločljivost, elementno in kemijsko občutljivost ter zmožnost analize elektronske strukture /13/. Uporabili smo vrstični fotoelektronski mikroskop (Scanning Photoelectron Emission Microscope - SPEM), ki je postavljen na sinhrotronem pospeševalniku tretje generacije Elettra pri Bazovici v Italiji. Deluje na sinhrotronsko svetlobo v rentgenskem območju z energijo fotonov 500 eV, ki jo sevajo krožeči elektroni z energijo 2 GeV v shranjevalnem obroču sinhrotrona. V pot žarka te svetlobe je postavljen krožni Fresnelov uklonski element, ki fokusira svetlobo v gorišče. Slika 3 prikazuje vrstični fotoelektronski mikroskop. Z energijsko analizo izsevanih fotoelektronov je mogoče ugotoviti sestavo, kemijsko stanje in elektronske lastnosti površine z lateralno ločljivostjo 150 nm. Delovni tlak v fotoelektronskem mikroskopu je pod $5\cdot 10^{-10}$ mbar.

Poleg osrednje preiskovalne metode, fotoelektronske spektromikroskopije s sinhrotronsko svetlobo, smo uporabljali tudi metodi LEED in AES.

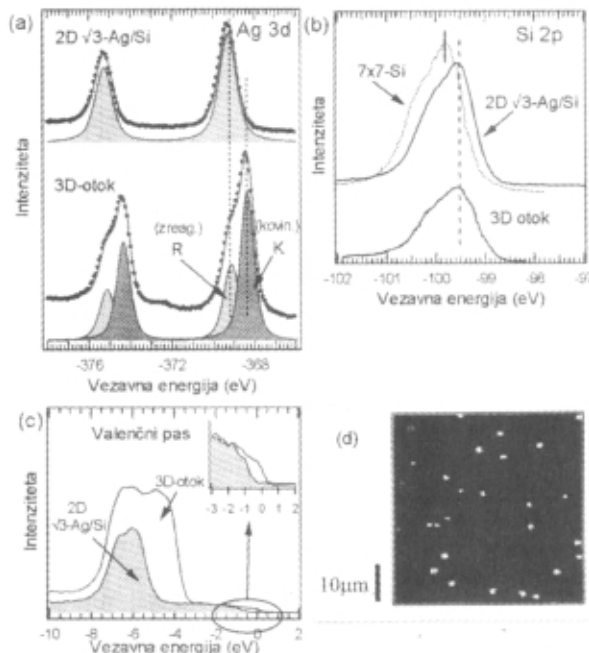


Slika 3: Vrščni fotoelektronski mikroskop na sinhrotronsko svetlobo

6 Rezultati in diskusija

Preiskava s fotoelektronskim mikroskopom in elektronskim uklonom je pokazala, da se je plast Ag na vzorcu Si(111) po segrevanju preoblikovala po načinu Stranski-Krastanov. Tvorila se je 2D-faza s strukturo $(\sqrt{3}\times\sqrt{3})R30^\circ$ in faza v obliki 3D-otokov. Slike 4 a, b in c prikazujejo spektre fotoelektronskih vrhov Ag 3d, Si 2p ter valenčnega pasu iz obeh faz. Slika 4d pa prikazuje površino vzorca, ki jo sestavlja 2D-faza in je prekrita s 3D-otoki.

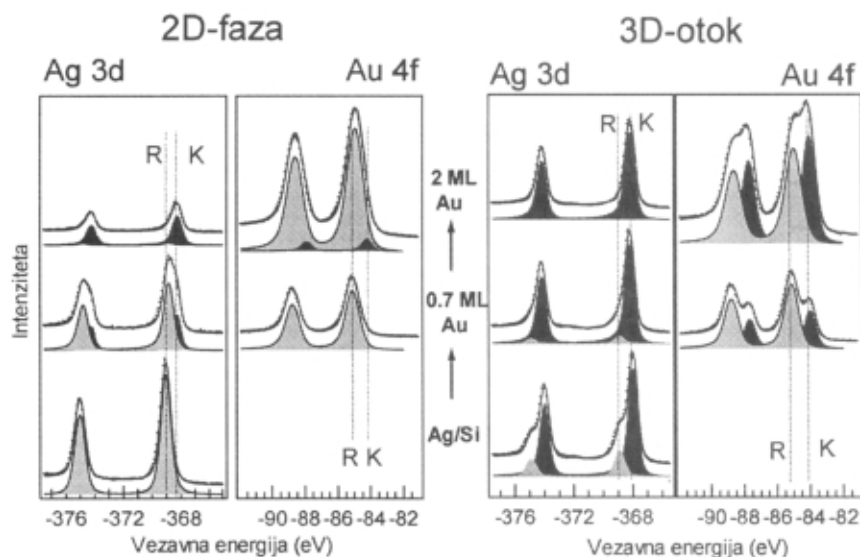
Iz spektra Ag 3d (slika 4a, zgoraj) smo izmerili kemijski premik vezavne energije fotoelektronskega vrha Ag 3d na fazi $\sqrt{3}$ -Ag/Si za 0,8 eV glede na vezavno energijo tega vrha v kovini, ki je -368,3 eV. Premik smo pripisali prenosu naboja v kemijski vezi med atomi Ag in Si v zreagirani plasti Ag-Si. Komponente v spektru Ag 3d iz 3D-otoka (slika 4a, spodaj) kažejo, da je v notranjosti 3D-otokov Ag tudi v kovinski obliki. Otoki so prekriti z zreagirano mešano plastjo Ag-Si, ki vsebuje dve monoplasi Ag in Si. V spektru valenčnega pasu na sliki 4c je razvidno, da so na 3D-otokih zasedena elektronska



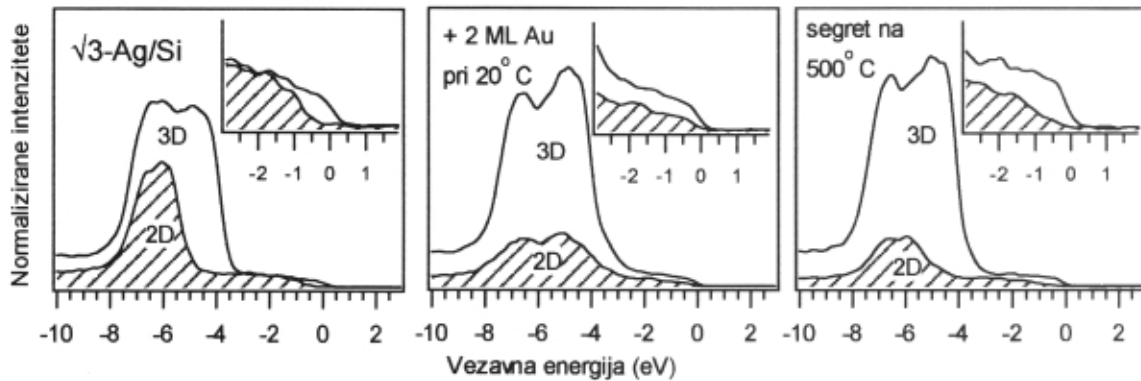
Slika 4: Spektre (a) Ag 3d, (b) Si 2p in (c) valenčnega pasu, dobljeni na 2D-fazi in 3D-otokih na vzorcu Ag/Si po segretju na 520 °C. (d) Plast Ag/Si posneta s fotoelektronskim mikroskopom.

stanja pod Fermijevo energijo, na 2D-fazi pa ta stanja niso zasedena. Iz tega smo sklepali, da ima 2D-faza polprevodniški značaj in 3D-faza kovinskega. Slika 4b prikazuje vrhove Si 2p na obeh fazah vzorca Ag/Si in vrh Si 2p, dobljen na vzorcu Si(111)-7x7. Iz premika vrha Si 2p v 2D-fazi po nanosu Ag smo sklepali na ukrivitev energijskih pasov in izračunana je bila vrednost $(0,8\pm 0,1)$ eV za višino Schottkyjeve pregrade za 2D-fazo $\sqrt{3}$ -Ag/Si. To se zadovoljivo sklada z rezultati, dobljenimi z drugimi metodami /9, 10/.

Vzorec, na katerem smo preiskali medsebojni vpliv kovin na lastnosti fazne meje v sistemu AuAg/Si, smo pripravili tako, da smo izhajali iz vzorca Ag/Si, nanj



Slika 5: Spektre Ag 3d in Au 4f, posneta pred nanosom (spodaj), po nanosu 0,7 (sredina) in 2,0 monoplasi Au (zgoraj) na fazno mejo Ag/Si pri 20 °C. Levi del slike prikazuje spektre iz 2D-faze, desni del pa spektre iz 3D-otokov. Kovinska komponenta (K) je temna, zreagirana komponenta (R) pa rahlo siva.



Slika 6. Normalizirani spektri valenčnega pasu iz 2D- (črtano) in 3D-faz. Ob njih so podrobneje prikazane tudi zasedenosti elektronskih stanj blizu Fermijeve energije.

nanegli plast Au debeline 0,7 in 2,0 monoplasi pri 20°C in nato vzorec segreti na različne temperature. Na sliki 5 so prikazani spektri Au 4f in Ag 3d za obe fazi po nanosu različno debelih plasti Au. Slika 6 prikazuje spektre valenčnih pasov po različnih korakih obdelave vzorca. Po nanosu 0,7 monoplasi Au sta v vrhu Au 4f in Ag 3d prisotni zreagirani komponenti (R). Poleg tega je uklonska slika pokazala nastanek nove urejene faze s strukturo $(2\sqrt{3}\times 2\sqrt{3})R30^\circ$. To kaže, da se v urejeno 2D-fazo $\sqrt{3}\text{-Ag/Si}$ pri 20 °C lahko vgradi dodatna plast Au debeline 2/3 monoplasi. Po nanosu plasti Au, ki je debelejša od 0,7 monoplasi, se pojavi kovinska komponenta v vrhu Ag 3d (K). To povezujemo z zamenjavo atomov Ag v vezi z Si z atomi Au. Pri tem nastane plast Au-Si, prekrita s "klastri" Ag. Proces zamenjave kaže na večjo reaktivnost Au do Si in s tem povezano manjšo stabilnost fazne meje Ag/Si od Au/Si. Tudi v plasti Ag-Si na površini 3D-otokov pride do zamenjave atomov Ag z Au pri tanjši plasti Au od tiste na 2D-fazi, kar ponovno izkazuje različno reaktivnost med 2D- in 3D-fazo. To pripisujemo vplivu strukture in različni jakosti vezi Ag-Si v zreagirani plasti v obeh fazah.

Po segretju na 590 °C se spremeni 2D-faza v začetno obliko $\sqrt{3}\text{-Ag/Si}$. Pri tem migrirajo atomi Au iz 2D-faze v 3D-otoke, kjer nastaja zlitina Ag-Au. Iz tega sklepamo, da sta pri preoblikovanju 2D-faze ključna naslednja procesa: (i) močnejša vez Au-Si od vezi Ag-Si pri 20 °C in (ii) transport atomov Au iz 2D-faze v 3D-otoke pri temperaturi nad 500 °C.

Po nanosu plasti Au se je faza $\sqrt{3}\text{-Ag/Si}$ z zamenjavo atomov Au z Ag spremenila v mešano 2D-fazo AgAu/Si, kar se je kazalo tudi v kovinskem značaju elektronskih stanj pod Fermijevim nivojem iz te faze. Zaradi spremenjenega kemijskega okolja atomov Si po zamenjavi atomov Au z Ag v vezi z Si ni bilo mogoče sklepati na spreminjanje višine Schottkyjeve pregrade v fazah, ki so nastale na površini Ag/Si po nanosu in segrevanju plasti Au.

7 Sklepi

Procesi na fazni meji kovina/polprevodnik, ki potekajo med nastajanjem spoja kovina/polprevodnik, vplivajo na električne karakteristike tega spoja. Poleg meritev električnih karakteristik (I-U, C-U) lahko na dogajanje na faznih mejah sklepamo tudi z meritvami na mikroskopskem nivoju. Pri tem z metodami za preiskavo površin na modelih faznih mej preiskujemo tanke adsorbirane plasti kovine na polprevodniškem monokristalu.

Predstavili smo primer preiskave modelne fazne meje kovina/polprevodnik. Lateralno heterogeno fazno mejo Ag/Si(111) smo preiskali s fotoelektronsko spektromikroskopsko metodo s sinhrotronsko svetlobo. Pri tem smo ugotovili, da na fazni meji Ag/Si(111) pri temperaturi nad 400 °C nastanejo 2D-faza s strukturo $(\sqrt{3}\times\sqrt{3})R30^\circ$ in 3D-otoki, ki vsebujejo kovino in so prekrte z zreagirano plastjo kovina-Si. Pri interakciji naparjene plasti Au z različnimi morfološki fazami na fazni meji Ag/Si(111) smo pokazali, da so pomembni procesi: vgradnja atomov Au v urejeno 2D-fazo Ag/Si, zamenjava atomov Ag, vezanih z Si v zreagirani plasti Ag-Si, z atomi Au, masni transport med 2D- in 3D-fazami in mešanje atomov v 3D-fazah. Potek teh procesov je odvisen od strukture in sestave posamezne faze ter jakosti kemijske vezi med Au, Ag in Si. Elektronske lastnosti 2D-faze Ag/Si imajo polprevodniški značaj in 3D faze kovinskega. Na fazni meji AgAu/Si(111) se elektronske lastnosti spreminjajo skladno s sestavo in strukturo posameznih faz. Na 2D-fazi Ag/Si s strukturo $(\sqrt{3}\times\sqrt{3})R30^\circ$ smo določili višino Schottkyjeve pregrade.

8 Literatura

- /1/ S. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, John Wiley and Sons, New York, 1981
- /2/ W. Mönch, Semiconductor Surfaces and Interfaces, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1995
- /3/ D. Korošak, B. Cviki, Vakuunist 18/2, 1998, 17
- /4/ I. Milošev, Vakuunist, 14/2, 1994, 8
- /5/ J. Kovač, Študij procesov na fazni meji kovina/polprevodnik in raziskave vpliva na električne karakteristike Schottkyjevih struktur v sistemu AgAu/Si(111), Doktorska disertacija, FER, Univerza v Mariboru, 2000
- /6/ J. Kovač, S. Günther, A. Kolmakov, M. Marsi, M. Kiskinova, Surf. Rev. Lett. 5, 1998, 605
- /7/ S. Günther, A. Kolmakov, J. Kovač, M. Marsi, M. Kiskinova, Phys. Rev. B, 56, 1997, 5003
- /8/ G. Le Lay et al., Surf. Sci. 307, 1994, 280
- /9/ A. Cros, P. Muret, Mater. Sci. Rep. 8, 1992, 271
- /10/ H. H. Weithering, J. P. Sullivan, R. J. Perez-Sandoz, W. R. Graham, R. T. Tung, J. Appl. Phys. 79, 1996, 7820
- /11/ J. Yuhara, M. Inoue, K. Morita, J. Vac. Sci. Technol. A 11, 1993, 2714
- /12/ T. Yamanaka, A. Endo, S. Ino, Surf. Sci. 294, 1993, 53
- /13/ J. Kovač, Vakuunist, 18/2, 1998, 4

Zahvala

Za sodelovanje se zahvaljujem raziskovalcem pri žarkovni liniji ESCA Microscopy na sinhrotronu Elettra v Trstu in prof. dr. A. Zalarju za spodbudo in pomoč pri nastajanju tega dela.