

KARAKTERIZACIJA V VAKUUMU NAPARJENIH TANKIH PLASTI ALUMINIJA NA SILICIJEVE REZINE.

B. Praček, S. Muštra

Institut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: mikroelektronika, tehnologija polprevodniška, plasti tanke, rezine silicijeve, napajanje vakuumsko, nanašanje aluminija, oksidacija termična, AES Auger spektroskopija elektronska, C-V metoda kapacitivno napetostna, interferometrija

Povzetek: Že dolgo časa predstavlja nanašanje tankih plasti aluminija na silicijeve rezine pomemben del polprevodniške tehnologije. V članku so prikazani rezultati karakterizacije teh plasti s spektroskopijo Augerjevih elektronov, C-V metodo in interferometrijo. Prikazani rezultati so dobjeni s preiskavo šestih karakterističnih vzorcev. Na tri vzorce so bile tanke plasti aluminija nanešene s pomočjo elektronskega topa, na preostale tri vzorce pa z indirektnim uporovnim ogrevanjem na volframski spirali. Na po enem vzorcu od obeh skupin je bila, pred nanosom aluminija, na silicijevih rezinah s termično oksidacijo izdelana samo tanka plast silicijevega dioksida, oba vzorca pa sta bila n-tip. Na drugih dveh je z difuzijo bora izdelan np spoj ter na preostalih dveh z difuzijo fosforja pn spoj. Debelina, kemična sestava in elektronske lastnosti tako naparjenih plasti aluminija se razlikujejo: največje razlike so v plasteh, ki so nanešene na silicijev dioksid, zaradi znane redukcije tega z aluminijem. Prav tako smo opazili, da so plasti nanešene z elektronskim topom veliko boljše glede na gibljive in negibljive naboje, katere vnašajo v oksid.

Characterization of Thin Aluminium Films Vacuum Evaporated on Silicon Substrates

Key words: microelectronics, semiconductor technology, thin films, silicon wafers, vacuum evaporation, aluminium deposition, thermally grown silicon oxide, AES, Auger electron spectroscopy, capacitance-voltage method, interferometry

Abstract: For a long time vacuum evaporation of thin aluminium films has been a constitutive part of semiconductor technology. This article presents some results on characterization of these films by Auger electron spectroscopy, capacitance-voltage and interferometric methods. The results presented have been obtained by examining six characteristic samples. On three of them aluminium has been evaporated by electron beam technique; other three were coated with aluminium by evaporation from tungsten spiral. In each group of samples one of samples has been previously covered by thermally grown silicon oxide; second sample has been doped by boron and third by phosphorus. Thickness, chemical composition and electronic properties of these films are different; films deposited on the silicon dioxide show the most prominent differences because of the well known reduction of silicon dioxide by aluminium. Also, it has been confirmed that electron beam evaporated samples show better characteristics concerning the contents of fixed and mobile charges in the underlining oxide.

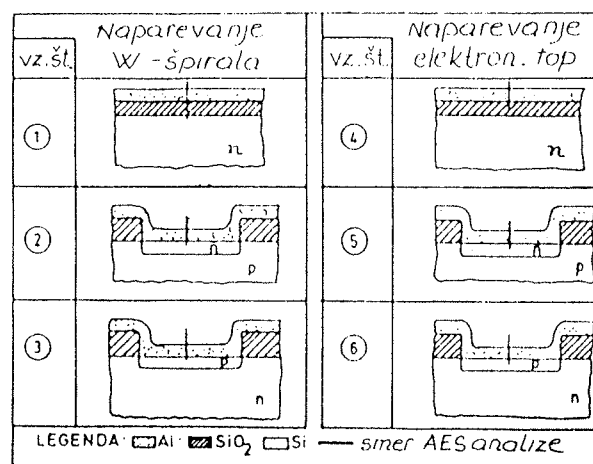
1. Uvod

Vakuumsko naparjene plasti aluminija so že dolgo nepogrešljiv sestavni del polprevodniške tehnologije. Dobro nanašanje in legiranje, dobra električna prevodnost, možnost fotolitografskega postopka in nizka cena so zelo zaželeni lastnosti v proizvodnji polprevodnikov. Aluminij se uporablja tako za vmesne plasti kot tudi za kontaktiranje silicija z ohišji (ožičenje). Uporabne lastnosti nanešenih plasti aluminija bodo odvisne od njihove končne kemične sestave in strukture. V članku podajamo rezultate karakterizacije tankih plasti aluminija, ki so nanešene v vakuumu z dvema različnima metodama: napajanjem iz volframske spirale in nanašanjem s pomočjo elektronskega topa.

2. Izdelava vzorcev

Vsi vzorci so izdelani na podlagah iz silicijevih rezin z orientacijo $\langle 111 \rangle$ in premera 2". Vzorca št.1 in št.4 sta termično oksidirana do debeline silicijevega dioksida okoli 0.4 μm in sta bila n tipa z upornostjo 3-5 ohm cm.

Plast aluminija je na vzorec št.1 naparjena iz volframske spirale na vzorec št.4 pa nanešena s pomočjo elektronskega topa. Vzorca št.2 in št.5 sta imela za podlago silicijevi rezini p-tipa, upornost je znašala 3-5 ohm cm in



Slika 1: Shematski prikaz prereza vzorcev

sta bili oksidirani do debeline SiO_2 okoli $1 \mu\text{m}$. S fotolitografskim postopkom sta bili pri obeh vzorcih v oksidu narejeni odprtini, sledil je postopek dopiranja s fosforjem in nato nanašanje aluminija. Plast aluminija je na vzorec št.2 naporjena iz volframske špirale na vzorec št.5 pa nanešana s pomočjo elektronskega topa. Vzorca št.3 in št.6 sta imela za podlago silicijeve rezine n-tip oksidirani in pripravljeni na enak način kot vzorca št.2 in št.5 sta pa po odpiranju odprtin dopirana z borom pred nanašanjem aluminija. Plast aluminija je na vzorec št.3 naporjena iz volframske špirale na vzorec št.6 pa je nanešana s pomočjo elektronskega topa. Shematski prikaz preseka na opisani način izdelanih vzorcev z označeno smerjo ionskega jedkanja pri AES profilni analizi kaže slika 1.

3. Interferenčna in optična karakterizacija

Interferometrične meritve so pokazale, da je pri vseh šestih vzorcih debelina nanešenih plasti aluminija dokaj enaka in da znaša okoli $0.4 \mu\text{m}$. Prav tako je optična interferometrija pokazala, da je debelina termično izdelanega silicijevega dioksida na podlagah vzorcev št.1 in št.4 pred nanašanjem aluminija, znašala okoli $0.38 \mu\text{m}$. Preiskave z optičnim mikroskopom pri 500 kratni povečavi niso pokazale bistvenih razlik v izgledu in strukturi plasti.

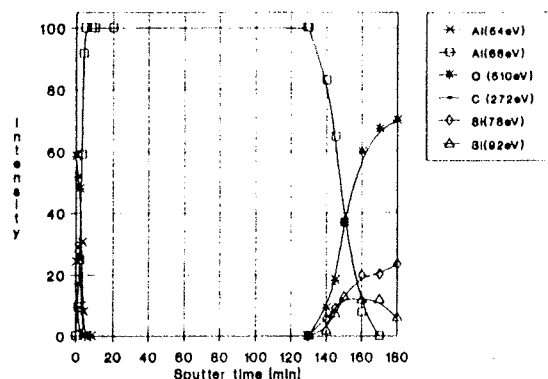
4. AES karakterizacija

Vzorci smo pritrdili na nosilec vzorcev z nagibom 60 stopinj in vgradili v spektrometer Augerjevih elektronov (Physical Electronics Ind. SAM 545 A). Vakuumski sistem je nato evakuiran do tlaka pod 2.5×10^{-7} Pa. Za analizo je uporabljen statični curek primarnih elektronov energije 3 keV in tok elektronov $0.5 \mu\text{A}$. Vpadni kot curka primarnih elektronov glede na normalo na površino je znašal 30 kotnih stopinj. Vzorca so jedkani z dvema sovpadajočima curkoma ionov argona z energijo 1 keV, ki sta rastrirala na površini $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ pri vpadnem kotu 47 kotnih stopinj. Hitrost jedkanja Cr/Ni standarda je bila okoli 3 nm/min . Podatki dobljeni iz spektrov Augerjevih elektronov posnetih med profilno analizo so uporabljeni za izdelavo profilnih diagramov prikazanih na slikah 2-7. Na ordinati diagramov so nanešene intenzitete Augerjevih vrhov in na abscisi čas ionskega jedkanja. V legendi zraven diagrama je za vse detektirane elemente označeno pri kateri energiji se v spektru Augerjevih elektronov nahaja njihov vrh.

4.1 Rezultati AES profilne analize

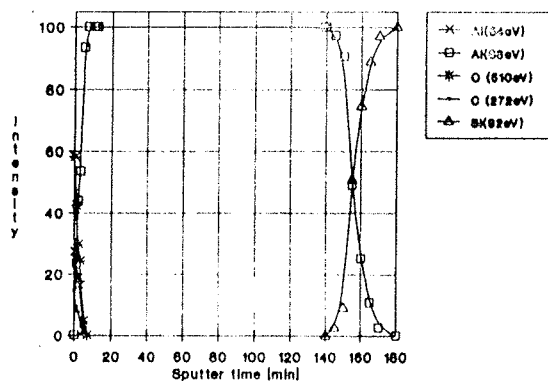
Profilni diagram vzorca št.1 (slika 2.), plast aluminija debeline $0.4 \mu\text{m}$ naporjena iz volframske špirale na $0.38 \mu\text{m}$ debelo plast silicijevega dioksida, kaže na površini prisotnost tanke oksidne plasti. Vrh aluminija pri energiji 54 eV pripada aluminiju vezanemu v Al_2O_3 . Na površini in deloma tudi v tanki oksidni plasti zaznamo manjšo

koncentracijo ogljika kot kontaminanta. Tanka površinska oksidna plast, debeline okoli 10 nm izgine že po štirih minutah ionskega jedkanja. Vse do 130-te minute jedkanja se nahaja plast čistega aluminija, ko se pojavijo vrhovi: Si(78eV), ki pripada siliciju vezanemu v SiO_2 , vrh Si(92eV) pripada elementarnemu siliciju in vrh kisika O(510eV). Mejo med Al in SiO_2 dosežemo po 150-tih minutah jedkanja (debelina okoli $0.45 \mu\text{m}$).



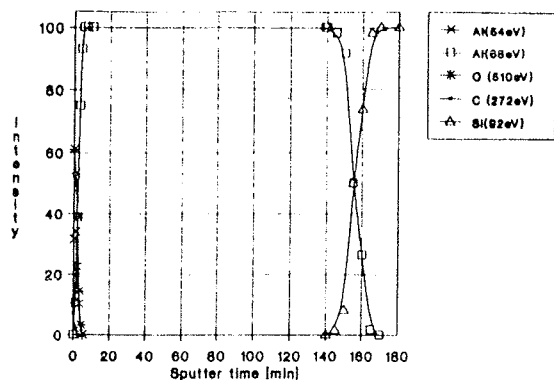
Slika 2: Profilni diagram vzorca št. 1

Profilni diagram vzorca št.2 (slika 3.), plast aluminija debeline $0.4 \mu\text{m}$ naporjena iz volframske špirale na silicijevo rezino dopirano z fosforjem kaže, da je na površini tega vzorca skoraj dvakrat debelejša plast Al_2O_3 kot na vzorcu št.1, kontaminacija površine in oksidne plasti z ogljikom pa je temu zelo podobna. Po 140-tih minutah ionskega jedkanja se pojavi vrh elementarnega Si(92eV). Mejo med čisto plastjo Al in Si dosežemo po 155-tih minutah jedkanja (okoli $0.46 \mu\text{m}$). Fosforja kot dopanda nismo zaznali, ker je v koncentracijah pod mejo občutljivosti AES metode.

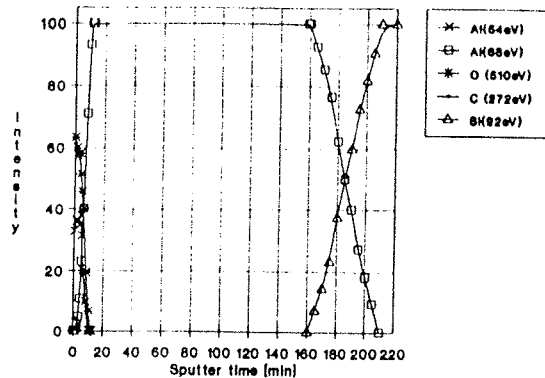


Slika 3: Profilni diagram vzorca št. 2

Profilni diagram vzorca št.3 (slika 4.), aluminij naporjen iz volframske špirale na silicijevo rezino, ki je bila dopirana z borom. Na površini vzorca št.3 je oksidna plast aluminija za malenkost tanjša kot pri vzorcu št.2 in tudi kontaminacija z ogljikom je nekoliko manjša. Čas ionskega jedkanja, ko zaznamo pojav elementarnega Si(92eV) in čas, ki je potreben, da dosežemo mejo Al/Si pa je polnoma enak. Bora prav tako ne zaznamo zaradi koncentracije, ki je pod mejo detekcije.

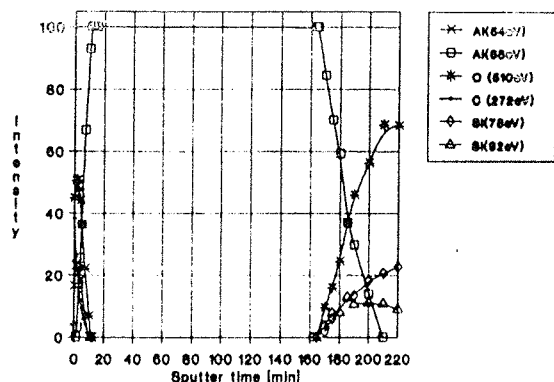


Slika 4: Profilni diagram vzorca št. 3



Slika 6: Profilni diagram vzorca št. 5

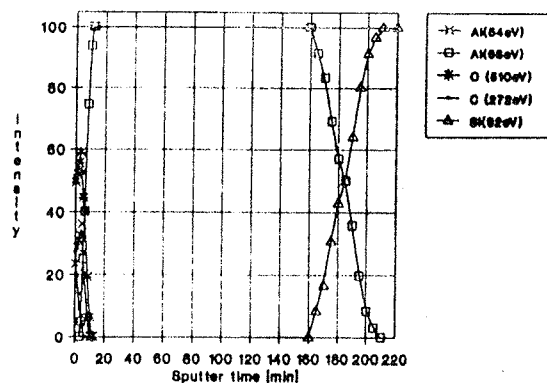
Profilni diagram vzorca št.4 (slika 5.), plast aluminija debela 0.4 μm nanešena na 0.38 μm debelo plast silicijevega dioksida s pomočjo elektronskega topa kaže, da je na površini tega vzorca plast Al_2O_3 skoraj trikrat debelejša, koncentracija ogljika pa dvakrat večja kot pri vzorcih št. 1, 2 in 3. Po 165 minutah jedkanja zaznamo vrhove Si(78eV), Si(92eV) in O(510eV). Mejo med Al in SiO_2 dosežemo po 185 minutah jedkanju (okoli 0.56 μm).



Slika 5: Profilni diagram vzorca št. 4

Profilni diagram vzorca št.5 (slika 6.), plast aluminija debela 0.4 μm nanešena na silicijevo rezino dopirano z fosforjem ima na površini tanko plast aluminijevega oksida, ki izgine že po 10-minutnem jedkanju (okoli 30 nm). Tudi tanka plast Al_2O_3 tega vzorca je kontaminirana z ogljikom vendar dosti manj kot plast na vzorcu št.4 in nekoliko manj, kot na vzorcih št.1, 2 in 3. Vrh elementarnega kisika se pojavi po 160 minutah jedkanja, mejo med Al in Si pa dosežemo po 185 minutah jedkanja (okoli 0.54 μm).

Profilni diagram vzorca št.6 (slika 7.), plast aluminija debela 0.4 μm nanešena na silicijevo rezino dopirano z borom s pomočjo elektronskega topa je zelo podoben diagramu vzorca št.5 (slika 6.) razen, da je približno enako debela tanka plast Al_2O_3 dosti bolj kontaminirana z ogljikom.



Slika 7: Profilni diagram vzorca št. 6

5. CV karakterizacija

Vzorca št.1 in št.4 smo uporabili tudi za meritve količine gibljivih in negibljivih nabitih delcev s pomočjo TBS metode [1]. Vzorec št.1 na katerega je bila 0.4 μm debela plast aluminija neparjena iz volframske špirale na 0.38 μm debelo plast SiO_2 je v oksidu vseboval $Q = 3.41 \times 10^{11} \text{ q/cm}^2$ negibljivih in $Q = 5.37 \times 10^{11} \text{ q/cm}^2$ gibljivih nabitih delcev.

Vzorec št.4 na katerega je bila 0.4 μm debela plast aluminija nanešena s pomočjo elektronskega topa na 0.38 μm debelo plast SiO_2 , pa je v oksidu vseboval $Q = 2.05 \times 10^{11} \text{ q/cm}^2$ negibljivih in $Q = 1.83 \times 10^{11} \text{ q/cm}^2$ gibljivih nabitih delcev.

5. Diskusija

Znano je, da se na površini aluminija takoj po nanašanju v vakuumu, tvori tanka plast Al_2O_3 [2]. Proces oksidacije površine poteka v dveh fazah: prva je kemisorbcija kisika in za to kemična reakcija, ki tvori oksid. Vsi z AES metodo analizirani vzorci so imeli na površini tanko oksidno plast aluminija na in v kateri smo zasledili različno vsebnost ogljika. Medsebojne razlike v debelini tanke oksidne plasti aluminija na površini, pri vzorcih na katere je naparevan aluminij iz volframske špirale in tistimi na katere je nanašan s pomočjo elektronskega topa so posledica več vzrokov: različni tlak (vakuum) pri