

MERITVE MEHANSKIH NAPETOSTI TANKIH PLASTI PECVD SILICIJEVEGA NITRIDA IN OKSINITRIDA

Boštjan Gspan, Radko Osredkar

KLJUČNE BESEDE: tanke plasti, dielektrične plasti, silicijev nitrid, silicijev oksinitrid, PECVD plasti, mehanska napetost, merjenje, eksperimenti

VSEBINA: Meritve mehanskih napetosti tankih plasti plazemsko nanešenega silicijevega nitrída in oksinitrída kažejo, da so v obeh vrstah filmov po depoziciji napetosti tlačne. Rezultati kažejo na povezavo med vrednostmi lomnih količnikov filmov silicijevega nitrída in njihovimi mehanskimi napetostmi, medtem ko pri silicijevem oksinitridu take povezave ni.

MECHANICAL STRESS MEASUREMENTS IN THIN PECVD SILICON NITRIDE AND SILICON OXYNITRIDE FILMS

KEY WORDS: thin films, dielectric films, silicon nitride, silicon oxynitride, PECVD films, mechanical stress, measurement, experiments.

ABSTRACT: Results presented in this contribution show that thin films of silicon nitride and silicon oxynitride deposited on silicon substrates by plasma enhanced chemical vapour deposition (PECVD) possess comprehensive mechanical stress. It is demonstrated that there exists a correlation between the mechanical stress in silicon nitride film and its refractive index, while no such correlation is observed in silicon oxynitride films.

I. UVOD

Gotova monolitna vezja na silicijevih rezinah je potrebno zaščititi pred mehanskimi poškodbami, difundijo ionov in vlago. Poleg naštetih lastnosti zahtevamo še, da plasti primarne zaščite, oz. pasivacije dobro prekrivajo prehode med plastmi (step coverage), se lahko oblikujejo v vzorec in imajo dobro adhezijo na aluminij in druge prevodnike kot tudi na dielektrike (1). V zadnjih letih za primarno zaščito uporabljajo tanke plasti dielektrikov, nanešenih iz plinske faze s pomočjo plazme (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition - PECVD), ker dobro izpolnjujejo dane zahteve. Uporabljeni dielektriki so PECVD plasti silicijevega oksida, silicijevega nitrída in silicijevega oksinitrída. Za našete plasti je značilna znatna mehanska napetost, ki lahko povzroči razpoke v tankih plasteh in ukrivljanje silicijevih rezin z nanešenimi tankimi plastmi. Če je v tanki plasti razpoka, tanka plast vezja ne ščiti več pred vlago in difundijo ionov. Zaradi ukrivljanja silicijeva rezina lahko počí, ali pa se defekti v silicijevi rezini selijo na mesta z večjo mehansko napetostjo, kar spremeni električne lastnosti elementov, izdelanih na silicijevi rezini. Ker so mehanske napetosti v tanki plasti škodljive, jih moramo čim bolj odpraviti, kar pa pomeni, da jih moramo najprej izmeriti. S preprosto, hitro in natančno merilno metodo lahko potem tudi ugotovljamo vpliv naših posegov v proces depozicije na mehansko napetost. Ker so meritve debeline in lomnega količnika tankih plasti dobro izdelane in običajne pri depoziciji tankih plasti, smo želeli najti povezavo med lomnim količnikom in mehansko napetostjo. Spremembe sestave tanke plasti se kažejo v spremembah lomnega količnika tanke plasti.

2. MERITVE IN REZULTATI

Za depozicijo pasivacijskih tankih plasti iz plinske faze so možne le depozicije s pomočjo plazme, ker potekajo

pri temperaturah, ki so nižje od tališča aluminija, ki ga uporabljamo za povezave na integriranih vezjih.

Mehanske napetosti v tankih plasteh nastanejo, ker se molekule iz plinske faze vežejo na površino silicijeve rezine in šele potem se tanka plast zgosti (2.). Zunanji znak mehanske napetosti v tanki plasti je ukrivljenost rezine z nanešeno tanko plastjo. Za določitev mehanske napetosti moramo določiti ukrivljenost silicijeve rezine z nanešeno tanko plastjo. Na voljo je več metod za merjenje ukrivljenosti. Uporabili smo tako metodo, za katero ni potrebna merilna oprema. Kontaktna metoda so za tovrstne meritve neustrezne zaradi možnih sprememb ukrivljenosti med meritvami. Ukrivljenost smo poizkušali meriti tudi na osnovi interference. Pri meritvah bi na ta način dobili podatke o obliki površine cele rezine, vendar nismo mogli dobiti kvantitativnih podatkov, ker je število Newtonovih kolobarjev preveliko za ročno štetje. V literaturi (3.) predlagajo merjenje profila silicijeve rezine z metalurškim mikroskopom. Opisano metodo smo prilagodili glede na našo opremo. Ukrivljenost smo merili tako, da smo z mikrometrskim vijakom ostrili sliko površine silicijeve rezine. Po tej metodi smo dobili zadovoljive rezultate.

Za naše meritve smo potrebovali vzorce silicijevih rezin z nanešenimi tankimi plastmi različnih sestav. Pri PECVD postopkih sestavo deponiranih plasti enostavno spreminjamo. Sestava deponirane plasti je močno odvisna od razmerja plinov v mešanici reakcijskih plinov. S spreminjanjem razmerja plinov deponiramo tanke plasti z različno sestavo.

Tanke plasti smo deponirali s plazemskim reaktorjem Appellied Materials AMP 3300 II. ki je dobro poznan in opisan (4.,5.). Glavni deli reaktorja so: valjasta komora z grelci in dvema elektrodama, napeljava reakcijskih

plinov, katerih pretok kontrolirajo avtomatični regulatorji pretoka (Automatic Flow Controller - AFC) in pritekajo v reaktor v sredini spodnje ozemljene elektrode. Reakcijski plini tečejo radialno prek rezin, ki ležijo na ozemljeni elektrodi (susceptorju) do roba komore, kjer jih izčrpamo iz reaktorja. Na drugo elektrodo je prek prilagoditvenega vezja priključen izvor izmenične napetosti radijskih frekvenc (RF), s katerim vzbujamo plazmo. Za znižan tlak v reaktorju skrbi Rootsova vakuumska črpalka s spremenljivo hitrostjo črpanja, kar zagotavlja veliko neodvisnost hitrosti pretoka reakcijskih plinov od tlaka v reaktorju.

Depozicijo smo delali na devetih 50 mm (2 coli) rezinah Pensilco Co. orientacije (111). Med depozicijami smo rezine mokro jedkali. Naredili smo šest depozicij silicijevega nitrida in šest depozicij silicijevega oksinitrida. Debelino in lomni količnik smo merili z avtomatičnim elipsometrom Rudolph Research AutoEL II. Ukrivljenost smo merili z metalurškim mikroskopom Zeiss z 200-kratno povečavo. Meritve ukrivljenosti smo delali po depoziciji in po mokrem jedkanju. Ker je bil profil silicijevih rezin po jedkanju vedno enak, smo potrdili upravičenost predpostavke, da se mehanske napetosti v tanki plasti izravnavajo z elastično deformacijo silicijeve rezine.

Z izbiranjem najugodnejše lege rezin na susceptorju smo dosegli boljšo uniformnost deponiranih plasti kot je običajna za tak reaktor (1% uniformnost debeline in 3% uniformnost lomnega količnika.)

Deponirali smo tanke plasti z vrednostmi lomnega količnika med 1.748 in 2.455 za silicijev nitrid in med 1.55 in 2.05 za silicijev oksinitrid.

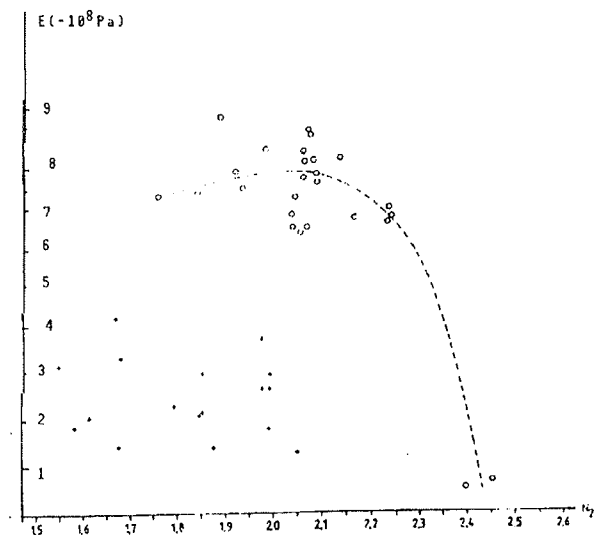
Mehansko napetost smo računali po (3.) formuli

$$\sigma = (10^{11}/3.013) * (d^2 s / d_i) * (z / r^2) Pa$$

kjer predstavlja σ mehansko napetost, ds je debelina silicijeve rezine, df je debelina tanke plasti, r je razdalja od sredine rezine in z je odmik od ravne rezine. Številčni člen predstavlja snovne konstante silicija, vstavljene v izraz $E/(1-\nu)$. V tem izrazu je ν Poissonov koeficient in E Youngov modul.

Mehanske napetosti v silicijevem oksinitridu niso odvisne od lomnega količnika. Mehanske napetosti so tlačne in po absolutni vrednosti manjše od mehanskih napetosti v silicijevem nitridu. Tudi v silicijevem nitridu so mehanske napetosti tlačne. Naše meritve so pokazale povezavo med lomnim količnikom in mehansko napetostjo v tanki plasti silicijevega nitrída. Mehanska napetost v tanki plasti rahlo narašča z lomnim količnikom približno do vrednosti 2.06, nato pa pada. (sl. 1.)

Relativna natančnost meritev je 10%. Za elipsometrične meritve debeline in lomnega količnika je značilna relativna natančnost meritve 0,5%. Pri merjenju profila silicijeve rezine je absolutna napaka $\pm 0,5 \mu m$. Ob upoštevanju velikosti merjenih odmkov relativna napaka merjenih napetosti ne presega 5%. Večji del relativne napa-



Slika : odvisnost napetosti tankih filmov PECVD silicijevega nitrída (krožci) in silicijevega oksinitrida (križci) od lomnega količnika tanke plasti

ke meritev izvira iz predpostavk in zanemaritev pri izračunu mehanskih napetosti.

3. ZAKLJUČEK

Deponirali smo PECVD tanke plasti silicijevega nitrída in silicijevega oksinitrida. Dosegli smo dobro uniformnost deponiranih plasti. Našli smo ustrezno brezkon-taktno metodo za merjenje ukrivljenosti rezin. Ukrivljenost silicijevih rezin z nanešeno tanko plastjo je znak mehanskih napetosti v tanki plasti. Iz ukrivljenosti smo izračunali mehansko napetost. Ugotovili smo povezavo med vrednostjo lomnega količnika in mehansko napetostjo v tanki plasti silicijevega nitrída. Pri tankih plasteh silicijevega oksinitrida nismo našli take povezave. V obeh vrstah tankih plasti so mehanske napetosti tlačne. V silicijevem oksinitridu je mehanska napetost opazno manjša kot v silicijevem nitridu. V silicijevem nitridu mehanska napetost rahlo narašča z lomnim količnikom do vrednosti 2,06 nato pa pada. Naši poizkusi kažejo, da je na osnovi znanega lomnega količnika tanke plasti možno napovedati velikost mehanske napetosti v tanki plasti. Za praktično uporabno tabele vrednosti lomnega količnika in pripadajočih mehanskih napetosti pa bi bilo potrebno občutljivost metode še povečati.

4. LITERATURA

1. D. Pramanik, Semiconductor international, pp. 94-99, June 1988
2. R.W. Hoffman, Surface and Interface Analysis, Vol.3, No. 1, pp 62-66, 1981.
3. R. Glang et al., The review of scientific instruments, Vol. 36, No. 1, pp. 7-10, January 1965
4. R.S. Rear et al., Solid State Technology, June 1976
5. Poročilo LMFE za RSS (1983)

Boštjan Gspan, dipl. ing.
dr. Radko Osredkar, dipl. ing.
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo
Ljubljana, Tržaška 25
Prispelo: 10.08.1989 Sprejeto: 28.08.1989