

Új félvezetőeszköz, a MISS

ETO 621.3.049.776.43:621.282:621.318.57

A hetvenes évek elején Yamamoto [1] MIS struktúrák (Metal-Insulator-Semiconductor, fém-szigetelő-félvezető) vizsgálatánál érdekes jelenségre bukkant. Igen vékony (3–5 nm) szigetelőrétegek esetén negatív differenciális ellenállással rendelkező karakterisztikát kapott, ha a közelben egy p-n átmenet is volt. Hasonló jelenségről számolt be Kroger, Wagener [2], majd Simmons [3] és Buxo [4] is. A jelenség fizikai háttere egy ideig tisztázatlan volt, az első közelítő modellt Simmons alkotta meg, ez azonban több ellentmondással rendelkezett. A Shewchun [5] által leírt, a MIS diódákban lezajló erősítési folyamatot is magába foglaló két aktív eszközös modell ezeket az ellentmondásokat feloldotta.

A jelenség különböző szigetelő rétegek esetén is tapasztalható, mint szilíciumdioxid, szilíciumnitrid, poliszilícium, sőt óxid esetén is.

Az eszköz működése

Az eszköz vázlatos felépítése az 1. ábrán látható. Áll egy fém elektródából, mely általában alumínium, de néha más fém is lehet, egy vékony (3–5 nm) szigetelőrétegből, vagy vastagabb (100–200 nm) poliszilícium rétegből, egy n és egy erősen adalékolt p⁺ rétegből. A fémre negatív, a p⁺ rétegre pozitív feszültséget kapcsolva, a 2. ábrán látható áram–feszültség karakterisztikát nyerjük. A karakterisztika nagyon hasonlít a p⁺-n-p-n⁺ (Shockley) dióda karakterisztikájához, és három részből áll: egy nagy impedanciájú szakaszból, egy negatív ellenállású részből és egy kis impedanciájú szakaszból.

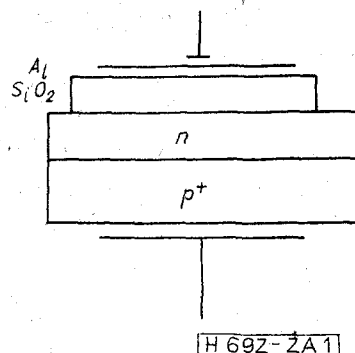
A nagy impedanciájú szakasz egyszerűen magyarázható. Növelve nulláról a feszültséget, a szigetelő-félvezető határfelületen kiürített réteg keletkezik. A szigetelő rendkívül vékony, így alagúthatás révén a kiürített rétegben generálódó töltéshordozók át tudnak menni rajta, nem keletkezik a szigetelő-félvezető határfelületen inverziós réteg, ellentétben a vastagabb szigetelő réteggel rendelkező MIS-diódákkal. Az így folyó (generációs) áram igen kicsi, ugyanakkor a kiürített réteg jelentős feszültséget vehet fel. A feszültség növelésével nő az áram, mivel nő a kiürített réteg szélessége és a generációs áram.

Az eszköz árama azonban lényegesen nagyobb, mint a Simmons által megadott érték, azaz a generációs áram. Ennek oka, hogy a generációval keletkező elektronok a kiürített rétegből a semleges n rétegbe jutnak, és nyitóirányba előfeszítik a p⁺ átmenetet. A p⁺ réteg így a generációs áramnál lényegesen nagyobb lyukáramot injektál az n réteg-

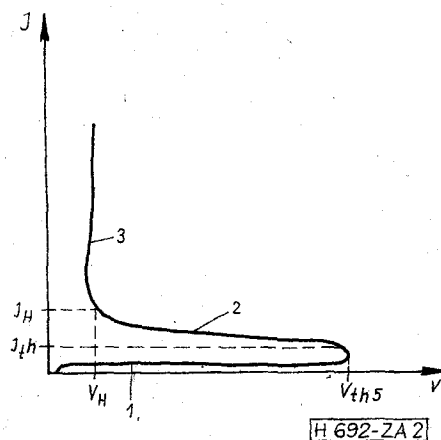
be. Ezek a lyukak átdiffundálnak ezen a rétegen, és a kiürített rétegben uralkodó télerősség összegyűjti azokat a szigetelő-félvezető határfelületen, majd átjutva a szigetelőn, a fémelektrodára kerülnek. Az eszköz p⁺n része (és + a félvezető-szigetelő határfelület) így egy tranzistorhatást eredményez, α₁ áramerősítési tényezővel. Az átfolyó tényleges áram

$$I = \frac{I_g}{1 - \alpha_1} \quad (1)$$

Növelve a feszültséget, a kiürített réteg jobban megközelíti a p⁺ réteget, és a semleges zóna az n rétegben csökken. Az Early-hatás eredményeképpen mind a p⁺-n átmenet emitterhatásfoka, mind a transzporthatásfok növekedni fog, így α₁ nő, és (1)-ben I I_g-nél lényegesen gyorsabban nő. Az átszúrás közelében (de annál gyakorlatilag mindig kisebb értéknél) az áram annyira megnő, hogy azt a szigetelő már nem tudja átbocsátani. Ekkor a szigetelő-félvezető határfelületen a lyukak felhalmozódnak, azaz pozitív tértöltéssel rendelkező inverziós réteg jön létre. Ekkor végére érünk a karakterisztika nagy im-



1. ábra. A MISS eszköz struktúrája



2. ábra. Jellegzetes MISS karakterisztika

pedanciájú szakaszának, és az eszköz a kis impedanciájú állapotába kerül. A kis impedanciájú állapot eléréséhez az szükséges, hogy az előbb említett tranzistoron kívül az eszköznek még egy aktív eleme legyen, s a két aktív elemet pozitív visszacsatolás kösse össze. A másik aktív elem a fém- (tunnelozó-) szigetelő-félvezető rendszer. Ezen konfiguráció erősítő tulajdonságát Shewchun mutatta ki. A fémre negatív feszültséget kapcsolva, a szigetelőn keresztül az elektronok mind a félvezető vezetési, mind a vegyértéksávjába beléphetnek. Ezen utóbbiba csak akkor, ha ott elegendő üres hely áll rendelkezésre, azaz a határfelületen lyukak tartózkodnak. Mind ezek alkotják a „szűk keresztmetszetet”, azaz ezek sűrűsége határozza meg ezen áramot. Ez az áramkomponens úgy is tekinthető, mint a szigetelőn áthaladó lyuk- (alagút-) áram. A szigetelőn áthaladó elektron és lyukáram arányát a kialakuló potenciál-gát alakja határozza meg.

Az inverziós réteg létrejötte után a MIS struktúrán átfolyó teljes áram szabályozható a kisebbségi (lyuk-) áram segítségével. Adott feszültség esetén a szigetelőn adott térerősség lép fel, ami meghatározza az átfolyó lyuk- és elektronáramot. Megnövelve a lyukáramot, az inverziós réteg töltése megnövekszik (mind több lyuk érkezik, mint amennyi áthalad a szigetelőn). Ez viszont azt okozza, hogy a teljes külső feszültség nagyobb hányada esik a szigetelőn és kisebb a félvezetőn, azaz megnövekszik a térerősség a szigetelőben. Ennek hatására nő a szigetelőn áthaladó lyuk-, valamint elektronáram, egészen addig, míg az így megnövekedett lyukáram egyenlő lesz az inverziós rétegbe befolyó lyukárammal. A MIS diódába injektált lyukárammal tehát vezérelni lehet az átfolyó teljes áramot, hasonló módon, ahogy egy tranzisztornál a bázisárammal vezérelni lehet az átfolyó teljes áramot. Ezen erősítő elem hasznos áramkomponense az injektált elektronáram. Ennek aránya a teljes áramhoz az áramerősítési tényező, α_2 . A pozitív visszacsatolás hurka tehát a következőképpen jön létre: a p^+n (bipoláris) részén az eszköznek az n rétegbe lépő elektronáram hatására a p^+ réteg lyukakat injektál. Ezen lyukáram hatására viszont a MIS rész (fém-szigetelő- n réteg) elektronáramot injektál az n rétegbe. Az eszköz működése így nagyon hasonlónak válik a négyrétegű (Schockley) diódához. Az n rétegen átfolyó áram a két injektált áram és a generációs áram összegével,

másrészt az eszközön átfolyó teljes árammal egyezik meg, azaz

$$I = \alpha_1 I + \alpha_2 I + I_g, \quad (2)$$

azaz

$$I = \frac{I_g}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (3)$$

Ha α_1 és α_2 összege meghaladja az 1-et, az eszköz a kis impedanciájú állapotba kerül. A bipoláris tranzistor, hasonlóképpen a négyrétegű diódához, telítésben lesz, így a középső n rétegben nagy mennyiségű lyuk, ill. elektron halmozódik fel. Ez a töltéstárolási effektusokat okozza. Ha két bekapcsolás gyorsan követi egymást, a küszöbfeszültség lecsökken, és a bekapcsolás gyorsabb lesz. Az n réteghez külön kivezetés készíthető, s ekkor háromkivezetéses eszközhöz jutunk. Ezen kivezetés segítségével a p^+n átmenet nyitóirányba előfeszíthető, így előidézhető a lyukinjekció és az inverziós réteg kialakulása. Az eszköz tehát a bekapcsolt állapotba billenthető anélkül, hogy a feszültséget megnöveltük volna a küszöbfeszültségig. Ezen háromkivezetéses eszköz jellege tehát hasonló a tirisztorhoz.

Alkalmazási lehetőségek

Kétállapotú eszköz lévén, digitális áramkörökben sokoldalú alkalmazásra nyílnak lehetőségek. A tirisztorral ellentétben, gyártástechnológiája kompatibilis a szilícium alapú integrált áramkörök gyártástechnológiájával. Ígéretes lehetőség a MISS-sel megvalósított, egyeleemes statikus tároló cella. Mivel fényre érzékeny elem, különböző optoelektronikai alkalmazására is lehetőség nyílik.

Köszönetnyilvánítás

Szerzők köszönetüket fejezik ki Dr. Dr.—Ing. H. C. Valkó Iván Péter egyetemi tanárnak munkájukban adott értékes segítségéért.

IRODALOM

- [1] T. Yamamoto,—Morimoto H.: Appl. Phys. Letters 20. 269 (1972)
- [2] H. Kroger,—Wegener H. A.: Appl. Phys. Letters 23. 397 (1973)
- [3] J. Simmons, G.—Badry A. El.: Solid State El. 20. 955 (1977)
- [4] J. Buzo, et al.: Revue de Phys. Appl. 13. Dec. 1978.
- [5] M. A. Green,—T. Shewchun Solid State El. 17. 349 (1974)