

UOT 621.315.592**Al₂O₃ NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNİN DEŞİLMƏSİNDƏ
MƏNFİ HƏCMİ YÜKLƏRİN ROLU****B.B.DAVUDOV, G.M.İSAYEVA***Bakı Dövlət Universiteti**ben.davud@gmail.com*

Nazik Al₂O₃ təbəqəli metal-dielektrik-metal (MDM) strukturunda dielektrik təbəqəsinin deşilməsi öyrənilmiş və göstərilmişdir ki, deşilmədə əsas rolu katoddan dielektrik təbəqəyə elektronların emissiyası oynayır. Struktura tətbiq olunan gərginliyin kiçik qiymətlərində cərəyan gərginlikdən, demək olar ki, xətti asılıdır, lakin gərginliyin qiyməti artdıqca cərəyanın gərginlikdən asılılığı zəifləyir. Sonuncu katodun ətrafında mənfi həcmi yüklərin yaranması ilə bağlıdır. Bu oblastda xarakteristikamı vakuum diodunda olduğu kimi məlum “3/2 qanunu” ilə approksimasiya etmək olar. Struktura tətbiq olunan gərginliyin qiyməti artdıqca mənfi həcmi yüklərin anoda doğru hərəkəti nəticəsində cərəyanın qiyməti kəskin artmağa başlayır və gərginliyin müəyyən qiymətinə çatdıqda MDM strukturu deşilərək özünün biristiqamətli keçiricilik xassəsini itirir.

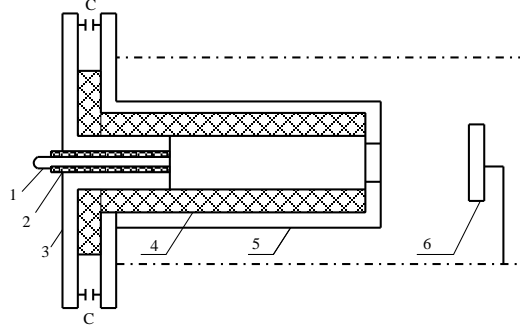
Açar sözlər: nazik təbəqə, MDM strukturu, həcmi yüklər, deşilmə mexanizmi

Müasir mikroelektronika cihazlarının hazırlama texnologiyasında müxtəlif nazik oksid təbəqələrindən geniş istifadə olunur. Bununla belə nazik təbəqələrin alınmasının praktikada geniş yayılmış stasionar üsulları-yaxşı adgeziyaya, yüksək elektrik möhkəmliyinə, böyük çökmə sürətinə malik olmasına heç də tam cavab vermir. Təbəqələrin elektrik xassələrini, onları təşkil edən inqrediyentlərin - metal və dielektrik fazalarının mikrohissəciklərinin daha narın nano ölçülü mikrohissəciklərlə əvəz etməklə yaxşılaşdırmaq və onların altlıq üzərində adgeziyasını artırmaq mümkündür.

Təcrübənin metodikası

İşdə keyfiyyətli, böyük müqavimətə malik kompozit (kermet) nazik təbəqələri almaq üçün müxtəlif metal və dielektrikləri, eyni zamanda buxarlandırmaq üçün daha sadə üsul olan impuls plazma buxarlandırma (İPB) meto-
dundan istifadə olunmuşdur [4-5]. İPB (şəkil 1.) 1,3,5 kaoksial – elektrodlar sistemindən ibarət olub 2,4 – kvarts və ya Al₂O₃ dielektriklərilə bir – birindən ayrılmışdır. 4 içi boş dielektrik silindirdir. O, həm də dielektrik boşalması

aralığı rolunu oynayır və buxarlandırılan maddələrdən (bizim təcrübələrdə Al_2O_3 oksidindən) hazırlanmışdır. İmpuls plazma buxarlandırıcısında yaranan plazma sel şəklində Al və Al_2O_3 materiallarından təşkil olunduğundan alınan nazik təbəqələr də bu elementlərdən ibarət olur. Plazma boşalmasına eyni zamanda xaricdən porsiyalarla oksigen qazı (O_2) verilmişdir.



Şək. 1. İmpuls plazma buxarlandırıcısının sxemi
1. alışdırıcı elektrod, 2.izolyator, 3.daxili elektrod,
4.buxarlandırılan material, 5.xarici elektrod, 6.altlıq

Al_2O_3 nazik təbəqələri, impuls plazma buxarlandırıcıları vasitəsilə alınan böyük sürətli ($v=10^4$ m/ san), kifayət qədər yüksək sıxlığa (yükli zərrəciklərin konsentrasiyası $n_e = n_i \approx 10^{16}$ sm^{-3}) və yüksək temperaturlu ($T_e \approx 30000$ K) impuls plazma selinin oksigen mühitində soyuq altlıq üzərinə kondensasiyası yolu ilə alınmışdır. Verilmiş rejimdə hər bir vahid impulsda $(1,5 \div 2) \cdot 10^{-3}$ mkm qalınlıqlı təbəqə alınır və müəyyən diapazonda ümumi qalınlıq impulsların sayı ilə mütənəsb olaraq artır.

Bu yolla alınan təbəqələrin adgeziyası kifayət qədər böyükdür və 50 kq/sm^2 -ə çatır. Bu metodda adgeziyanın yüksək olmasının səbəbi altlığın səthinin onun üzərinə düşən kifayət qədər böyük enerjili elektron və ionların zərbələri hesabına təmizlənməsi və onların altlıq səthinə nüfuz etməsi ilə əlaqədardır.

Al_2O_3 təbəqəsinin elektrik möhkəmliyini təyin etmək üçün metal–oksid – metal (MOM) strukturları yaradılmışdır. Bunun üçün sital altlıqlar üzərinə stasionar vakuüm termik buxarlandırma yolu ilə eni ≈ 1 mm olan 7 Al zolaqları çəkilmişdir. Sonra isə bu zolaqlı altlığın üzərinə impuls plazma buxarlandırma yolu ilə Al_2O_3 dielektrik təbəqəsi çəkilmişdir. Bundan sonra yenidən altlığa metal elektrodla perpendikulyar qoyulmuş 7 zolaqlı Al metal təbəqəsi çökdürülərək üst elektrodla alınmışdır. Beləliklə, 49 ədəd nazik təbəqəli kondensator (NKT) alınmışdır.

Kondensatorlar bir neçə dəfə deşilmədən sonra tədqiq olunmağa başlanmışdır. Məsələ burasındadır ki, ilk bir neçə deşilmə gərginliyinin qiyməti dielektrik təbəqəni yox, onda yaranan kobud defektləri xarakterizə edir. Sonrakı deşilmələrdə deşilmə gərginliyinin qiyməti sabit qalır ki, bu da bir NTK

üzərində bir neçə dəfə ölçmələr aparmaya imkan verir. Aparılan mikroskopik tədqiqatlar göstərir ki, alınan dielektrik təbəqələr müəyyən defektlərə malikdir. Bunlardan biri təbəqədə boşluqların (məsamələrin) mövcud olmasıdır. Boşluqların mövcudluğu deşilmə baxımından təbəqədə zəif yerlərin olması deməkdir. Təbəqələrin səthində mikroçatlar da müşahidə olunur. Bunların əmələ gəlməsi Al_2O_3 təbəqəsində yaranan mexaniki gərginliklərlə əlaqədardır. Təbəqələrin səthində, həmçinin silindrik formada dərin «çuxur» kimi defektlər də müşahidə olunur. Bu defektlər buxarlandırıcıdan çıxan mikrohissəciklərin, formalaşan təbəqənin səthini bombardman etməsi nəticəsində əmələ gəlir.

Bu göstərilən defektlər kiçik qalınlıqlarda MOM strukturunu qısa qapayır, nisbətən böyük qalınlıqlarda ($d=1$ mkm) isə NTK–da zəif yerlərin əmələ gəlməsinə və sonra da elektrik deşilməsinə səbəb olur. Üst metal elektrodun çökdürülməsi prosesində oksid təbəqədəki dərinliklər, çuxurlar metallarla dolur və dielektrik təbəqəsinin içərisinə doğru yönəlmiş mikroçixıntılar yaranır.

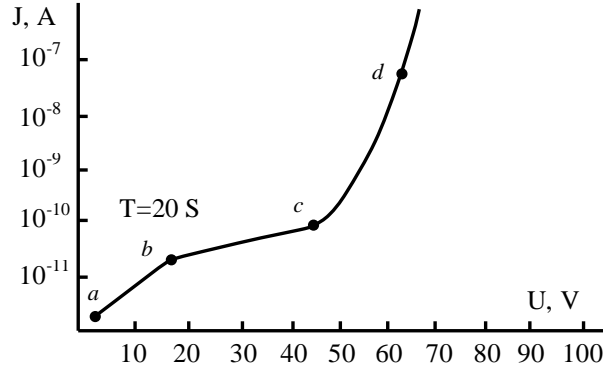
Bu səbəbdən, NTK–da yüksək dərəcədə qeyri-bircins olan elektrik sahəsi yaranır və məhz bu səbəbdən də ilk deşilmə gərginliyinə görə təyin edilən elektrik möhkəmliyi $E_{deş} = U_{deş} / d$ qeyri-stabil olur. Buna görə də metal-oksid-metal strukturun elektrik möhkəmliyinin qiymətləri bir neçə ilk deşilmələrdən sonrakı deşilmələr üçün təyin edilmişdir.

Təcrübənin nəticələri və onların təhlili

Nazik dielektrik təbəqələrin deşilmə mexanizminə bilavasitə baxmadan öncə, bu hadisənin başvermə səbəblərini öyrənmək və bunların nə dərəcədə ehtimalı olmasını qiymətləndirmək lazımdır. Bu cür səbəblərə misal olaraq dielektrik təbəqəsinə katoddan elektronların emissiyasını, atomların bir-birinə zərbəsi nəticəsində elektronların sayının artmasını, katod-anod aralığında mənfi həcmi yüklərin yaranıb yox olması proseslərinin formalaşması zamanı dielektrik təbəqələrində əmələ gələn defektləri, alınan təbəqələrin strukturunun təcrübə şəraitindən asılı olaraq dəyişilməsini və başqalarını göstərmək olar.

Dielektrik təbəqələrin deşilməsi prosesləri sırasında katoddan dielektrik təbəqəyə elektronların emissiyası mühüm rol oynayır. MDM strukturu xarici elektrik mənbəyinə qoşulan anda onu təşkil edən metal təbəqələrinin səthlərindəki mikroçixıntılarda elektrik sahəsinin intensivliyi kifayət qədər böyük qiymətlər ($E \approx 10^9 \div 10^{10}$ V/mm) alır ki, bu da onların təpələrindən çoxlu sayda elektronların dielektrik təbəqəsinin daxilinə emissiya olunmasına səbəb olur. Nəticədə dielektrik oksidi təbəqəsinin daxilində yükdaşıyıcıların konsentrasiyası və uyğun olaraq onun keçiriciliyi artmağa başlayır. Burada həm termo-elektron, həm də avtoelektron emissiyası hadisələri eyni zamanda baş verir.

Şəkil 2-də Al- Al_2O_3 -Al MDM strukturu üçün təcrübədə alınan Volt-Amper xarakteristikası göstərilmişdir.



Şək. 2. Nazik Al₂O₃ nazik təbəqəli strukturun (d=0,4 mkm) Volt-Amper xarakteristikası

Şəkindən görüldüyü kimi, struktura tətbiq olunan gərginliyin kiçik qiymətlərində cərəyan gərginlikdən, demək olar ki, xətti asılı olaraq dəyişir (şəkil 2-nin ab hissəsi). Bu oblastda cərəyanın dəyişməsi katodun səthindəki mikrotəpəciklərdən dielektrikin daxilinə elektronların emissiyası ilə əlaqədardır. Bu oblastda cərəyan Riçardson-Deşman, həm də Fayler-Nordqeym düsturlarına [5] uyğun dəyişir. Burada, həmçinin dielektrikdə elektronların atomlarla toqquşması nəticəsində elektronların sel şəklində artması prosesi də müəyyən rol oynaya bilər.

Gərginliyin qiymətinin sonrakı artımı ilə cərəyanın gərginlikdən asılılığı zəifləyir. (şəkil 2-nin bc hissəsi). Bu, katodun ətrafında mənfi həcmi yüklərin (MHY) yaranması ilə bağlıdır. Mənfi həcmi yüklərin yaranması və yox olması dielektrik təbəqələrdən cərəyankeçmə prosesində mühüm rol oynadığı bir çox tədqiqatçılar tərəfindən də qeyd edilmişdir [2,5]. Katoddan çıxan elektronların hamısı ondan uzaqlaşır anoda çatmır: onların bir qismi katod ətrafında xaoslu hərəkət edərək elektron buludu şəklində təxminən 0,01 mm məsafəsində mənfi həcmi yüklər təbəqəsi yaradır. Vakuumdiodunda olduğu kimi, normal şəraitdə MHY dinamik tarazlıq halında olur və onun sıxlığı dəyişmir. Strukturun ikinci metal elektroduna müsbət potensial verildikdə MHY-in bir qismi kompensasiya olunur və anodun üzərinə düşən elektronların sayını artırır.

MHY katoddan elektronların emissiyasını və eləcə də ona təsir edən elektrik sahəsini ekranlayaraq azaldır. Bu oblastda xarakteristikasını vakuumdiodunda olduğu kimi, təxminən “3/2 qanunu” ($i=kU^{3/2}$) ilə approksimasiya etmək olar. Struktura tətbiq olunan gərginliyin qiyməti artdıqca mənfi həcmi yüklər anodun sahəsi tərəfindən sorulur və strukturdan keçən cərəyanın qiyməti kəskin artmağa başlayır (şəkil 2-nin cd hissəsi). Cərəyanın qiyməti müəyyən böhran qiymətinə çatanda MDM strukturu dəşilir və özünün biristiqamətli keçiricilik xassəsini itirir.

Mikroelektronikada MDM strukturlarından çox kiçik ölçülü biristiqamətli keçiriciliyə malik olan cihaz - diod kimi istifadə oluna bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Косцов Э.Г., Влияние особенностей микрорельефа поверхности электродов на характер нарушения электрической прочности диэлектрических пленок, Изв. Вузов СССР, сер. Физ. №7, 32, 1970, s.74.
2. Воробьев Г.А., Мухагев В.А., Исследование импульсного пробоя диэлектрической пленки. ФТТ, 13, №9, 2693, 1970.
3. Блинов Г.А., Механизм пробоя тонких диэлектрических плёнок. ФТТ, 12, №8, 2487, 1970.
4. Давудов Б.Б. Получение и исследование тонких плёнок соединения силиката висмута ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$) методом импульсного плазменного испарения. BDU-nun xəbərləri, №1, 2011, s.165
5. Воробьев Г.А., Мухачев В.А., Физические процессы при пробое пленки монооксида кремния. Изв. Вузов СССР, сер. физ. №11, 1972, s.35

РОЛЬ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ОБЪЕМНЫХ ЗАРЯДОВ В ПРОБОЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Б.Б.ДАВУДОВ, Г.М.ИСАЕВА

РЕЗЮМЕ

Получены тонкие пленки окисла алюминия Al_2O_3 методом импульсного плазменного испарения и изучены причины электрического пробоя созданных металл-окисел-металл структур на их основе.

Показано, что в пробое основную роль играют электроны, эмитированные из катода в окисел алюминия. С увеличением потенциала на положительном электроде вольт-амперная характеристика структуры переходит к «закону $3/2$ » ($I = kU^2$), как в случае вакуумного диода. С дальнейшим увеличением этого напряжения отрицательные объемные заряды «рассасываются» электрическим полем анода. Это приводит к резкому увеличению тока через структуру и ее пробую.

Ключевые слова: тонкая пленка, МДМ-структура, отрицательный объемный заряд, механизм пробоя.

THE ROLE OF THE NEGATIVE VOLUME CHARGES IN THE MECHANISM OF THE Al_2O_3 THIN FILM

B.B.DAVUDOV, G.M.ISAYEVA

SUMMARY

In this paper the punching of the Al_2O_3 dielectrical layers in metal – dielectric – metal (MDM) structures has been investigated and the mechanism of punching is studied. It is shown that the emission of electrons from the cathode plays the main role in punching mechanism. At low applied voltages, there is linear dependence of current on the voltage. Dependence of current on the voltage decreases by increasing the applied voltage, that is due to the arising of the negative volume charges around the cathode. The characteristic in this region obeys to “law $3/2$ ” as in the case of vacuum diodes. The current value increases by transferring the negative volume charges to anode at increasing the applied voltage. At limit data of the applied voltage, the MDM structure is punching and does not show the one-side conductivity.

Key words: thin film, MDM structure, volume charges, mechanism of punching.

Redaksiyaya daxil oldu: 18.10.2013-cü il.
Çapa imzalandı: 27.12.2013-cü il.