

METALLOKSID YUPQA PLYONKALAR ASOSIDA METALL-DIELEKTRIK - YARIMO‘TKAZGICH TUZILMALAR TAYYORLASH VA ULARNING FIZIK XOSSALARI

 <https://doi.org/10.70728/tech.v3.i04.008>

Solijonov Davronbek Otabek o‘g‘li
Andijon Davlat Universiteti
A‘zamjonova Gulyora Nodirbek qizi
Namangan Davlat Universiteti
e-mail: solijonovdavronbek38@gmail.com

ANNOTATSIYA Mazkur maqolada metalloksid yupqa plyonkalar asosida metall–dielektrik–yarimo‘tkazgich (MDY) tuzilmalarni tayyorlash texnologiyalari hamda ularning fizik xossalarini tadqiq etish masalalari ko‘rib chiqiladi. Hozirgi kunda mikroelektronika, optoelektronika va nanoteknologiya sohalarining jadal rivojlanishi yuqori sifatli yupqa plyonkali materiallar va ular asosida yaratiladigan ko‘p qatlamli tuzilmalarga bo‘lgan talabni keskin oshirmoqda. Ayniqsa, metalloksid asosidagi yupqa plyonkalar yuqori dielektrik doimiysi, termik barqarorligi, kimyoviy mustahkamligi hamda elektr xossalarining keng diapazonda boshqarilishi mumkinligi bilan ilmiy va amaliy jihatdan katta qiziqish uyg‘otmoqda. Tadqiqotda metall–dielektrik–yarimo‘tkazgich tuzilmalarning shakllanish jarayoni, ularni tayyorlashda qo‘llaniladigan zamonaviy texnologiyalar hamda plyonkaning strukturaviy, morfologik va elektr xossalariga ta‘sir etuvchi omillar tahlil qilinadi. Metalloksid yupqa plyonkalarni hosil qilishda atom qatlamli cho‘ktirish, kimyoviy bug‘ fazasida cho‘ktirish, sol-gel texnologiyasi, termik oksidlanish va boshqa fizik-kimyoviy usullar keng qo‘llanilishi mumkinligi ko‘rsatib o‘tiladi. Ushbu usullar orqali olingan plyonkalar qalinligi nanometr darajasida bo‘lib, ular yuqori bir xillik, sirt tekisligi va yaxshi kristall tuzilishga ega bo‘lishi mumkin.

Kalit so‘zlar. Metalloksid yupqa plyonkalar, metall–dielektrik–yarimo‘tkazgich tuzilmalari, MDY strukturalar, yupqa plyonka texnologiyasi, atom qatlamli cho‘ktirish (ALD), kimyoviy bug‘ fazasida cho‘ktirish (CVD), sol–gel texnologiyasi, termik oksidlanish, nanostrukturalar, yarimo‘tkazgich materiallar, dielektrik materiallar, kristall tuzilish, sirt morfologiyasi, elektr xossalari, fizik xossalar, qalinligi nanometr darajasidagi plyonkalar, epitaksiya, yarimo‘tkazgich qurilmalar, mikroelektronika, nanoelektronika, optoelektronika, ko‘p qatlamli tuzilmalar, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, elektr o‘tkazuvchanlik, dielektrik doimiysi.

ANNOTATION This article discusses the technologies for the fabrication of metal–dielectric–semiconductor (MDS) structures based on metal oxide thin films and the investigation of their physical properties. At present, the rapid development of microelectronics, optoelectronics, and nanotechnology has significantly increased the demand for high-quality thin-film materials and multilayer structures created on their

basis. In particular, metal oxide-based thin films attract considerable scientific and practical interest due to their high dielectric constant, thermal stability, chemical resistance, and the possibility of controlling their electrical properties over a wide range. The study analyzes the formation processes of metal-dielectric-semiconductor structures, modern technologies used for their fabrication, and the factors affecting the structural, morphological, and electrical properties of the films. It is shown that various physical and chemical methods can be used to produce metal oxide thin films, including atomic layer deposition, chemical vapor deposition, sol-gel technology, thermal oxidation, and other related techniques. The films obtained by these methods have thicknesses at the nanometer scale and can exhibit high uniformity, smooth surface morphology, and well-defined crystalline structures.

Keywords. Metal oxide thin films, metal-dielectric-semiconductor structures, MDS structures, thin film technology, atomic layer deposition (ALD), chemical vapor deposition (CVD), sol-gel technology, thermal oxidation, nanostructures, semiconductor materials, dielectric materials, crystal structure, surface morphology, electrical properties, physical properties, nanometer-scale thin films, epitaxy, semiconductor devices, microelectronics, nanoelectronics, optoelectronics, multilayer structures, charge carrier concentration, electrical conductivity, dielectric constant.

АННОТАЦИЯ В данной статье рассматриваются технологии получения структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) на основе тонких пленок металлоксидов, а также вопросы исследования их физических свойств. В настоящее время стремительное развитие микроэлектроники, оптоэлектроники и нанотехнологий значительно увеличивает спрос на высококачественные тонкопленочные материалы и многослойные структуры, создаваемые на их основе. В частности, тонкие пленки на основе оксидов металлов вызывают большой научный и практический интерес благодаря высокой диэлектрической проницаемости, термической стабильности, химической устойчивости, а также возможности управления их электрическими свойствами в широком диапазоне. В работе анализируются процессы формирования структур металл-диэлектрик-полупроводник, современные технологии их получения, а также факторы, влияющие на структурные, морфологические и электрические свойства тонких пленок. Показано, что для получения тонких пленок металлоксидов широко применяются такие методы, как атомно-слоевое осаждение, химическое осаждение из паровой фазы, технология сол-гель, термическое окисление и другие физико-химические методы. Пленки, полученные данными методами, имеют толщину на нанометровом уровне и могут обладать высокой однородностью, гладкостью поверхности и хорошей кристаллической структурой.

Ключевые слова. тонкие пленки оксидов металлов, структуры металл-диэлектрик-полупроводник, МДП-структуры, технология тонких пленок, атомно-слоевое осаждение (ALD), химическое осаждение из паровой фазы (CVD), сол-гель технология, термическое окисление, наноструктуры, полупроводниковые

материалы, диэлектрические материалы, кристаллическая структура, морфология поверхности, электрические свойства, физические свойства, пленки нанометровой толщины, эпитаксия, полупроводниковые приборы, микроэлектроника, наноэлектроника, оптоэлектроника, многослойные структуры, концентрация носителей заряда, электрическая проводимость, диэлектрическая проницаемость.

KIRISH

So‘nggi yillarda mikroelektronika, nanoelektronika va optoelektronika sohalarining jadal rivojlanishi yangi funksional materiallar hamda ular asosida yaratiladigan yuqori samarali elektron qurilmalarga bo‘lgan talabni sezilarli darajada oshirdi. Ayniqsa, yupqa plyonka texnologiyasi zamonaviy ilm-fan va texnologiyaning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Yupqa plyonkalar asosida yaratiladigan ko‘p qatlamli tuzilmalar elektronika, energetika, sensor texnologiyalari, optik qurilmalar hamda yarimo‘tkazgich texnologiyalarida keng qo‘llanilmoqda. Bunday materiallar orasida metall oksidlari asosidagi yupqa plyonkalar alohida ahamiyat kasb etadi. Metalloksid yupqa plyonkalar yuqori kimyoviy barqarorlik, yaxshi mexanik mustahkamlik, yuqori dielektrik doimiysi va elektr xossalari boshqariluvchanligi bilan ajralib turadi. Shu sababli ular metall–dielektrik–yarimo‘tkazgich (MDY) tuzilmalarini yaratishda muhim material sifatida keng qo‘llaniladi. MDY tuzilmalar zamonaviy yarimo‘tkazgich qurilmalarining asosiy elementlaridan biri bo‘lib, ular tranzistorlar, kondensatorlar, integral sxemalar hamda turli xil sezgir sensor qurilmalarini yaratishda muhim rol o‘ynaydi. Ushbu tuzilmalar orqali zaryad tashuvchilar harakatini boshqarish, elektr maydonini tartibga solish va qurilmaning umumiy samaradorligini oshirish mumkin. Yupqa plyonkali tuzilmalarni o‘rganishda ularning fizik xossalari, xususan elektr o‘tkazuvchanligi, dielektrik xususiyatlari, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va harakatchanligini aniqlash muhim ahamiyatga ega. Bundan tashqari, plyonkaning qalinligi, kristall tuzilishi, sirt silliqiligi va substrat bilan hosil qilgan interfeysining sifati ham tuzilmaning umumiy ishlash xususiyatlariga katta ta‘sir ko‘rsatadi. Shu sababli metalloksid yupqa plyonkalar asosidagi MDY tuzilmalarini kompleks ravishda tadqiq etish zamonaviy materialshunoslik va yarimo‘tkazgich texnologiyasining dolzarb masalalaridan biri hisoblanadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

Metalloksid yupqa plyonkalar zamonaviy materialshunoslik va yarimo‘tkazgich texnologiyalarining muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ular yuqori elektr, optik va mexanik xossalari tufayli ko‘plab ilmiy tadqiqotlar markazida turibdi. Ayniqsa, metall–dielektrik–yarimo‘tkazgich (MDY) tuzilmalarini yaratishda metalloksid asosidagi yupqa plyonkalar keng qo‘llaniladi. Bunday tuzilmalar yarimo‘tkazgich qurilmalari, tranzistorlar, integral sxemalar hamda turli xil sensor elementlarini ishlab chiqishda muhim rol o‘ynaydi. Metalloksid yupqa plyonkalar yordamida yaratilgan tuzilmalar elektr maydonini boshqarish, zaryad tashuvchilar harakatini tartibga solish hamda qurilmaning ish samaradorligini oshirish imkonini beradi. Metalloksid yupqa

plyonkalarni tayyorlash uchun turli xil fizik va kimyoviy texnologiyalar qo'llaniladi. Ulardan eng keng tarqalganlari atom qatlamli cho'ktirish (ALD), kimyoviy bug' fazasida cho'ktirish (CVD), fizik bug' fazasida cho'ktirish (PVD), sol-gel texnologiyasi hamda termik oksidlanish usullaridir. Atom qatlamli cho'ktirish usuli nanometr darajasidagi qalinlikka ega bo'lgan juda aniq va bir tekis plyonkalarni hosil qilish imkonini beradi. Bu usul ayniqsa murakkab shakldagi nanostrukturalar sirtini qoplashda yuqori samaradorlikka ega. Kimyoviy bug' fazasida cho'ktirish usuli esa yuqori sifatli kristall tuzilishga ega plyonkalarni olish imkonini beradi. Sol-gel texnologiyasi esa nisbatan oddiy va iqtisodiy jihatdan samarali usul bo'lib, u orqali metall oksid plyonkalarini eritma muhitida hosil qilish mumkin. Metalloksid yupqa plyonkalarining fizik xossalari ko'plab omillarga bog'liq bo'ladi. Jumladan, plyonkaning qalinligi, kristall tuzilishi, donalar o'lchami, sirt morfologiyasi va substrat bilan hosil qilgan interfeys xususiyatlari muhim rol o'ynaydi. Plyonka qalinligi nanometr darajasida bo'lgani sababli sirt hodisalari va kvant effektlari kuchli namoyon bo'ladi. Bu esa materialning elektr va optik xossalariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli yupqa plyonkalarining strukturaviy xususiyatlarini batafsil o'rganish muhim ilmiy ahamiyatga ega. Metall-dielektrik-yarimo'tkazgich tuzilmalarida metall qatlam elektr kontakt vazifasini bajaradi, dielektrik qatlam esa yarimo'tkazgich yuzasida elektr maydonini boshqarish uchun xizmat qiladi. Yarimo'tkazgich qatlam esa asosiy zaryad tashuvchilar harakati sodir bo'ladigan faol muhit hisoblanadi. Ushbu uch qatlamning o'zaro ta'siri natijasida tuzilmaning umumiy elektr xossalari shakllanadi. Masalan, dielektrik qatlamning sifati va qalinligi zaryad tashuvchilarning tunnellanish ehtimoli hamda interfeysdagi zaryadlarning taqsimlanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Metalloksid yupqa plyonkalar asosida yaratilgan MDY tuzilmalarining muhim xossalaridan biri ularning elektr o'tkazuvchanligi va dielektrik xususiyatlaridir. Ushbu xususiyatlar material tarkibi, kristall tuzilishi hamda tayyorlash sharoitlariga bog'liq ravishda o'zgarishi mumkin. Masalan, plyonka tarkibidagi nuqsonlar yoki kislorod vakansiyalari zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining oshishiga olib keladi. Bu esa materialning elektr o'tkazuvchanligiga bevosita ta'sir qiladi. Shu bilan birga, sirt morfologiyasi va donalar chegaralari ham zaryad tashuvchilarning harakatiga ta'sir ko'rsatadi. Yupqa plyonkalarni tadqiq qilishda zamonaviy tahlil usullari keng qo'llaniladi. Masalan, rentgen difraksiyasi (XRD) yordamida plyonkaning kristall tuzilishi va fazaviy tarkibi aniqlanadi. Atom-kuch mikroskopiyasi (AFM) va skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) yordamida esa sirt morfologiyasi va donalar o'lchami o'rganiladi. Elektr xossalarini aniqlash uchun volt-ampere xarakteristikasi, sig'im-kuchlanish (C-V) o'lchovlari hamda Hall effekti usullari qo'llaniladi. Ushbu usullar yordamida zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, harakatchanligi hamda materialning elektr o'tkazuvchanligi haqida muhim ma'lumotlar olinadi. Metalloksid yupqa plyonkalar asosidagi MDY tuzilmalar zamonaviy texnologiyada keng qo'llanilish imkoniyatiga ega. Ular yarimo'tkazgich tranzistorlari, quyosh elementlari, gaz sensorlari, optik qoplamalar hamda turli xil nanoelektron qurilmalar ishlab chiqarishda muhim material sifatida qo'llanilmoqda. Bunday tuzilmalar

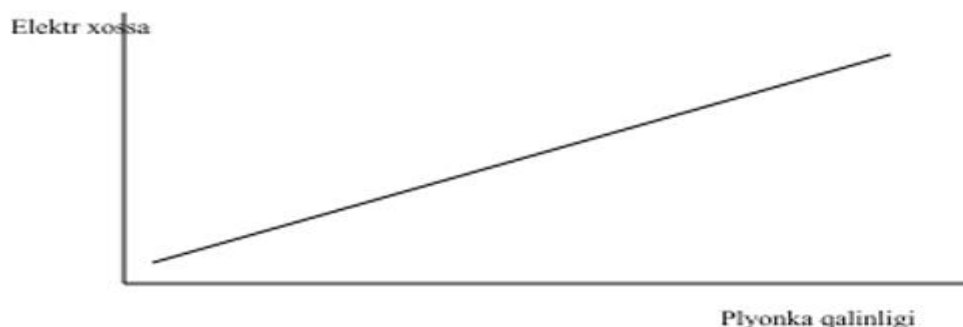
yuqori sezgirlik, barqarorlik va energiya samaradorligi bilan ajralib turadi. Shu sababli metalloksid yupqa plyonkalar asosidagi MDY tuzilmalarini o'rganish va ularning fizik xossalarini chuqur tahlil qilish zamonaviy ilm-fan va texnologiyaning dolzarb yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

NATIJALAR

Metall–dielektrik–yarimo‘tkazgich (MDY) tuzilmalarini tayyorlashda metalloksid asosidagi yupqa plyonkalar muhim ahamiyatga ega. Bunday materiallarning asosiy fizik xossalariga dielektrik doimiysi va taqiqlangan zona kengligi kiradi. Kremniy dioksid (SiO_2) eng keng qo'llaniladigan dielektrik materiallardan biri bo'lib, uning dielektrik Metall–dielektrik–yarimo‘tkazgich (MDY) tuzilmalarini tayyorlashda metalloksid asosidagi yupqa plyonkalar muhim ahamiyatga ega. Bunday materiallarning asosiy fizik xossala doimiysi taxminan 3.9 ga, taqiqlangan zona kengligi esa 8–9 eV ga teng. Shu sababli u integral mikrosxemalar va MOS tranzistorlarda izolyatsion qatlam sifatida keng qo'llaniladi. Alyuminiy oksid (Al_2O_3) ning dielektrik doimiysi 8–10 atrofida, taqiqlangan zona kengligi esa taxminan 8.7 eV bo'lib, u yuqori barqaror dielektrik qatlam va passivatsiya qoplamalari sifatida ishlatiladi. Titan oksid (TiO_2) yuqori dielektrik doimiysi (40–80) va 3.0–3.2 eV taqiqlangan zona kengligi bilan ajralib turadi hamda sensorlar, optoelektron qurilmalar va quyosh elementlarida qo'llaniladi. Rux oksid (ZnO) esa 8–9 dielektrik doimiysi va 3.3 eV taqiqlangan zona kengligiga ega yarimo‘tkazgich material bo'lib, gaz sensorlari, shaffof elektrodleri va optoelektron qurilmalarda keng foydalaniladi. Shu tariqa, ushbu metalloksidlarning fizik xossalari MDY tuzilmalarining elektr va funksional parametrlarini aniqlashda muhim rol o'ynaydi.

Metall oksid	Dielektrik doimiysi	Taqiqlangan zona (eV)	Qo'llanilishi
SiO_2	3.9	8–9	MDY strukturalarda izolyator
Al_2O_3	8–10	7	Mikroelektronika
TiO_2	30–100	3.0–3.2	Sensorlar
ZnO	8–9	3.3	Optoelektronika

1-jadval. Ba'zi metalloksidlarning fizik xossalari



1-diagramma. Plyonka qalinligining fizik xossalariga ta'siri (sxematik grafik)

Yuqoridagi diagrammada metalloksid yupqa plyonkaning qalinligi bilan uning elektr xossalari o'rtasidagi bog'liqlik tasvirlangan. Ma'lumki, yupqa plyonkaning qalinligi o'zgarishi bilan uning elektr parametrlari ham o'zgaradi. Juda yupqa qatlamlarda zaryad tashuvchilarning sirt bilan o'zaro ta'siri kuchli bo'ladi va bu elektr o'tkazuvchanlikning pasayishiga yoki barqaror bo'lmasligiga olib kelishi mumkin. Plyonka qalinligi ortib borgani sari materialning kristall tuzilishi yaxshilanadi, nuqsonlar ta'siri kamayadi va natijada elektr xossalari barqarorlashadi. Shu bilan birga, ma'lum bir optimal qalinlikdan keyin elektr parametrlardagi o'zgarishlar sekinlashadi. Demak, plyonka qalinligi metall–dielektrik–yarimo'tkazgich tuzilmalarining elektr xossalarini shakllantirishda muhim omillardan biri hisoblanadi.

MUHOKAMA

Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, metalloksid plyonkalarining qalinligi va ularni hosil qilish texnologiyasi MDY tuzilmalarining elektr hamda fizik xossalariga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi. Plyonkaning bir jinsli bo'lishi, kristall tuzilishining barqarorligi va sirtning tekisligi qurilmaning ishlash samaradorligini oshiradi. Agar plyonka yuzasida nuqsonlar yoki g'ovakliklar mavjud bo'lsa, bu holat yarimo'tkazgich bilan chegarada qo'shimcha zaryad markazlari paydo bo'lishiga olib keladi. Natijada, qurilmaning elektr xossalari yomonlashadi va oqim oqish jarayonlari ortadi. MDY tuzilmalarining muhim xususiyatlaridan biri bu ularning sig'im-kuchlanish (C–V) xarakteristikalarini hisoblanadi. Tadqiqot natijalarida aniqlanishicha, metalloksid plyonkalarining dielektrik doimiysi yuqori bo'lishi qurilmaning umumiy sig'imini oshiradi hamda yarimo'tkazgich yuzasida zaryadlarning qayta taqsimlanishiga ta'sir qiladi. Bu esa, o'z navbatida, maydoniy tranzistorlar va boshqa yarimo'tkazgich qurilmalarining ishlash parametrlarini yaxshilashga xizmat qiladi. Shuningdek, metalloksid plyonkalarining yarimo'tkazgich sirtiga yaxshi yopishishi va kimyoviy barqarorligi ham muhim omillardan biri hisoblanadi. Agar dielektrik qatlam bilan yarimo'tkazgich orasida reaksiyalar sodir bo'lsa, chegaraviy qatlamda qo'shimcha energiya holatlari hosil bo'ladi. Bu holat elektronlarning harakatiga salbiy ta'sir ko'rsatib, qurilmaning barqaror ishlashini pasaytiradi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, metalloksid asosidagi yupqa plyonkalar MDY tuzilmalarda yuqori sifatli dielektrik qatlam sifatida foydalanish uchun katta imkoniyatlarga ega. Ayniqsa, yuqori dielektrik o'tkazuvchanlikka ega materiallardan foydalanish nanoo'lchamli elektron qurilmalar yaratishda muhim ahamiyat kasb etadi. Bunday tuzilmalar zamonaviy mikroelektronika, optoelektronika hamda sensor texnologiyalarida keng qo'llanishi mumkin. Umuman olganda, olib borilgan tadqiqotlar metalloksid yupqa plyonkalarining fizik xossalari MDY tuzilmalarining elektr parametrlarini shakllantirishda asosiy rol o'ynashini ko'rsatdi. Shu sababli, bunday plyonkalarini hosil qilish texnologiyasini takomillashtirish va ularning strukturaviy xususiyatlarini chuqur o'rganish kelajakdagi ilmiy izlanishlar uchun muhim yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, metalloksid asosidagi yupqa plyonkalar metall–dielektrik–yarimo‘tkazgich (MDY) tuzilmalarini yaratishda muhim materiallar hisoblanadi. Tadqiqot natijalaridan ko‘rinib turibdiki, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂ va ZnO kabi metalloksidlarning dielektrik doimiysi hamda taqiqlangan zona kengligi ularning elektr va funksional xossalariga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Ushbu materiallar yuqori izolyatsion xususiyatlari, kimyoviy va termik barqarorligi bilan mikroelektronika va optoelektronika qurilmalarida keng qo‘llanilmoqda. Shuningdek, yupqa plyonkaning qalinligi ham uning elektr xossalariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlanadi. Qalinlik ortishi bilan elektr parametrlar barqarorlashadi va qurilma samaradorligi yaxshilanadi. Shu sababli metalloksid yupqa plyonkalarni tayyorlash jarayonida ularning fizik xossalarini hamda optimal qalinlik parametrlarini aniqlash zamonaviy yarimo‘tkazgich qurilmalarini yaratishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

- 1.Sze S.M., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
- 2.Ohring M. Materials Science of Thin Films. – San Diego: Academic Press, 2002.
- 3.George S.M. Atomic Layer Deposition: An Overview. Chemical Reviews, 2010, Vol. 110, pp. 111–131.
- 4.Smith D.L. Thin-Film Deposition: Principles and Practice. – New York: McGraw-Hill, 1995.
- 5.Bratvold J.E., et al. Phase and Orientation Control of NiTiO₃ Thin Films. Thin Film Materials Journal, 2019.
- 6.Xu X., et al. Influence of Carrier Gas on α -Ga₂O₃ Thin Films Grown by Mist Chemical Vapor Deposition. Applied Surface Science, 2018.
- 7.Duparc Q., et al. Atomic Layer Deposition of GdCoO₃ and Gd_{0.9}Ca_{0.1}CoO₃ Thin Films. Journal of Materials Science, 2017.
- 8.Singh R., et al. Metal Oxide Thin Films for Electronic and Optoelectronic Applications. Materials Science in Semiconductor Processing 2016.
- 9.Chen F., et al. Structural and Electrical Properties of Metal Oxide Thin Films. Surface and Coatings Technology, 2015.
- 10.Streetman B.G., Banerjee S. Solid State Electronic Devices. – New York: Pearson Education, 2014.