

ОДП И ЭФФЕКТ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ И ПАМЯТИ В МДМ И МПМ, МДП СТРУКТУРАХ НА ХАЛЬКОГЕНИДАХ СЕРЕБРА. ЧАСТЬ I

Ш.М. АЛЕКПЕРОВА, Г.С. ГАДЖИЕВА, И.А. АХМЕДОВ

*Институт Физики НАН Азербайджана
AZ 1143, Баку, пр. Г. Джавида, 33*

В статье дается обзор собственных работ по эффекту переключения и памяти, механизму токопрохождения в МДП, МПМ структурах на бинарных и тройных халькогенидах серебра с катионным и анионным замещением компонентов и МДМ структурах с туннельно-тонким слоем диэлектрика. Обнаружено, что порог переключения в МДМ структурах чувствителен к степени разрежения воздуха ($760 \div 5 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст.). Впервые наблюдалось возникновение электродиффузионного потенциала (ЭДП) в МПМ структурах на бинарном и тройном сульфиде серебра. Методом ТСД выявлены глубина и концентрация объемных и барьерных ловушек. Обзор состоит из двух частей.

С конца 60-х годов под руководством академика Г.Б.Абдуллаева в институте физики АН Азербайджана начались исследования эффекта переключения и памяти в МДП-структурах на халькогенидах I^b группы. Первые экспериментальные данные по наблюдению «аномальной» вольтамперной характеристики (ВАХ) [1] и наши результаты не оставляли сомнения в том, что в указанных диодных структурах, имеющих на ВАХ участок с отрицательным сопротивлением (ОС) N- или S-типа, один из металлических электродов обязательно должен быть легкоокисляющимся металлом [2]. Однако, некоторые исследователи считали ответственным за N-образный вид ВАХ структуры Al-Al₂O₃-Cu₂S(Se,Te)-M ионную проводимость соединений Cu₂S(Se,Te), а также компенсацию основных носителей-дырок в Cu₂S(Se,Te) электронами из алюминиевого контакта, пренебрегая тем, что при той же полярности напряжения (-Al), ВАХ N-типа наблюдается и в МОП-структурах на бинарных халькогенидах серебра-Ag₂S(Se,Te), имеющих n-тип проводимости [3,4]. В начале наших исследований, пользуясь методом исключения, мы установили, что ВАХ с областью ОС N- типа присуща вообще, контакту двух металлов через туннельно-тонкую диэлектрическую пленку [5,6]. Исследование эффекта переключения в структурах с туннельно-тонким диэлектриком открыла новые пути создания различного рода управляющих и функциональных устройств репрограммируемой памяти. Наличие области ОДП на ВАХ структуры в общем означает возможность трансформации части энергии постоянного тока в энергию электромагнитных волн. Отсутствие электронно-дырочных переходов и каких-либо искусственно созданных макроскопических неоднородностей в этих структурах, представляющих собой систему с существенно нелинейной ВАХ, позволяет использовать их по различному назначению. Особенностью МДП-приборов с областью ОС на ВАХ является то, что положительная или отрицательная обратная связь в них внутренняя, т.е. создается физическими процессами, протекающими в самом приборе, а не внешним сигналом с выхода на вход. Наличие внутренней обратной связи делает приборы с ОС по существу твердотельными функциональными системами. В зависимости от требований и условий опыта в структурах, имеющих ВАХ с областью отрицательной дифференциальной проводимости (ОДП), возможны генерация и усиление электромагнитных колебаний, стабилизация тока или напряжения, эффекты переключения и «памяти». Характерным для эффекта переключения является большая разница в сопротивлениях низкоомного и высокоомного состояний ($10^6 \div 10^7$), малые времена ($10^{-9} - 10^{-8}$ с) и энергия переключения ($\sim 10^{-7}$ Дж). Для ВАХ

с ОДП N-типа ($\sigma = \partial I / \partial E < 0$) существенная особенность состоит в том, что в определенной области значений токов напряженность поля есть многозначная функция плотности тока. Дифференциальная проводимость ($\sigma = \partial I / \partial E$) два раза меняет знак, проходя через нуль. Для S-образной ВАХ характерно то, что для некоторых значений напряженности поля плотность тока есть неоднозначная функция поля (E), а дифференциальная проводимость ($\sigma = \partial I / \partial E$) меняет знак, обращаясь в бесконечность. Характеристики с несколькими падающими участками, или “гибриды” N и S-образных ВАХ также возможны [7-9]. Вольтамперные характеристики, обусловленные перегревной неустойчивостью, ассоциируются с многозначной S-образной ВАХ. Многозначные N-образные ВАХ могут быть связаны перезарядкой различных уровней под действием электрического поля. Из-за наличия достаточно большого количества работ по ОДП [10], в основе которых лежат разнообразные физические механизмы, мы далее остановимся только на собственных результатах, накопленных за многие годы и представляющих, на наш взгляд, немалый интерес по своей оригинальности.

Нами были изготовлены МПМ (металл-полупроводник-металл), МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) МДМ (металл-диэлектрик-металл) структуры как в тонкопленочном (вакуумное напыление и фотолитография), так и в массивном исполнении на основе различных полярных (Al_2O_3 , GeO) и неполярных (полистирол, поливинил) диэлектриков, бинарных и тройных халькогенидов серебра (n- и p- типа), с катионным и анионным замещением компонентов (впервые полученных нами), с верхним электродом с разной работой выхода. На некоторые результаты получены авторские свидетельства [11-18].

Тонкопленочные МОП-структуры на бинарных халькогенидах серебра $Al-Al_2O_3-Ag_2S(Se,Te)-Ag$ (площадь $1,07 \div 8,4 \text{ мм}^2$; толщина окисного слоя $30 \div 80 \text{ \AA}$;

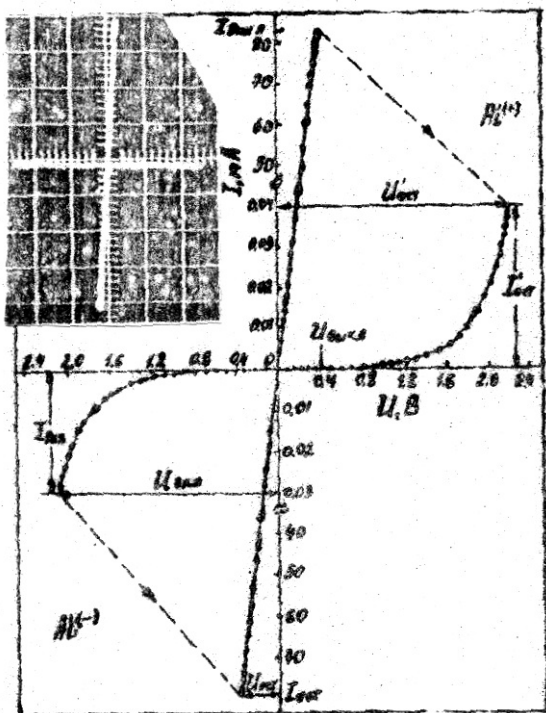
полупроводника $-0,35 \div 0,50 \text{ мкм}$) имеют аналогичную ВАХ с полярно-зависимым эффектом переключения и «памяти» (Рис.1).

Тонкопленочные структуры получены на ситалловой подложке вакуумным напылением (10^{-4} Па) через танталовые трафареты. Свеженанесенные образцы при полярности (-Al) находятся в высокоомном состоянии. При увеличении напряжения МОП-структура скачком переключается в низкоомное состояние.

Структуры воспроизводимо и многократно ($> 10^6$ раз) переключаются из одного состояния в другое и обратно в интервале температур $77 \div 450 \text{ К}$ как на постоянном, так и импульсном напряжениях.

Рис.1.

Типичная ВАХ и осциллограмма тонкопленочной структуры $Al-Al_2O_3-Ag_2S(Se,Te)-M$.



При перемене полярности напряжения конечное состояние сохраняется и «запоминается» сколь угодно долго. Для всех трех МОП структур из полевой и температурной зависимостей проводимости в рамках теоретических моделей Фаулера -Нордгейма и Шоттки проведен анализ механизма токопрохождения и отрицательного сопротивления [19-21].

Исследованы МПМ-структуры на монокристаллах α -Ag₂Se. Впервые обнаружено, что на ВАХ МПМ структуры Ag-Ag₂Se-Ag в окрестности фазового перехода (375÷400)К возникает «диодное» состояние, [22] (Рис.2,б) обусловленное тем, что в окрестности фазового ($\alpha \rightarrow \beta$) перехода внутри низкотемпературной α -Ag₂Se возникают зародыши новой метастабильной тетрагональной фазы β' -Ag₂Se) [23,24], удельная проводимость которой, по-видимому, значительно меньше проводимости низкотемпературной α -Ag₂Se.

Стало быть, образуется контакт сравнительно низкоомного α -Ag₂Se(n*) с более высокоомным метастабильным тетрагональным β' -Ag₂Se(n), а весь объем представляет собой как параллельное соединение многочисленных n-n* контактов, в среднем с одинаковой высотой барьера. Таким образом, возникает выпрямляющий контакт с асимметричной зависимостью тока от напряжения. Коэффициент выпрямления $\sim 10^3$ - 10^4 . При дальнейшем увеличении температуры (>400К) весь объем уже состоит из зерен высокотемпературной β -Ag₂Se и ВАХ становится линейной и высокоомной в обоих квадрантах. При снижении температуры (<375К) также имеет место симметричная, но уже низкоомная омическая ВАХ.

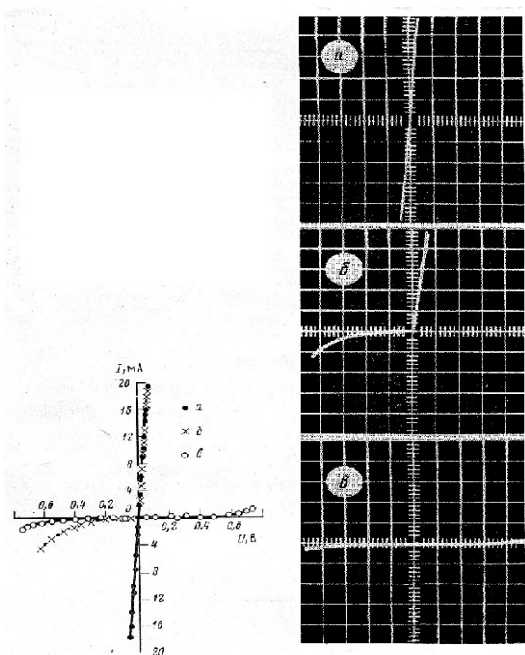


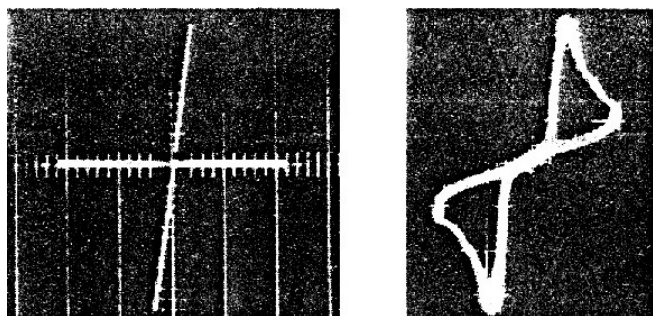
Рис.2.

ВАХ и осциллограммы МПМ структуры на монокристалле α -Ag₂Se, (б)-«диодное состояние» в окрестности 376 ÷400К.

Исследованы ВАХ МПМ - структур на монокристаллах α -Ag₂S с различной концентрацией носителей тока ($n=10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-3}$), выращенных рекристаллизацией из твердой фазы, с прижимными - планарными и копланарными точечными электродами из молибдена, серебра, меди [12,25,26]. Осциллограмма структуры на кристалле с $n=10^{14} \text{ см}^{-3}$ имеет вид стабилизатора напряжения. Эта структура может решить задачи двухполярной низковольтной стабилизации напряжения.. МОП- структура на монокристалле α -Ag₂S представляет собой структуру, состоящую из отшлифованной пластины монокристалла α -Ag₂S с точечными прижимными электродами из Ag и Al. На Рис.3а,б представлены осциллограммы ВАХ в статическом и динамическом (80Гц) режимах. Сначала структура находится в высокоомном состоянии. При увеличении напряжения любой полярности до $\sim 15\text{В}$ структура скачком открывается: ток возрастает до 250-300мА и более и остаточное напряжение составляет 1,7-2,0В. Имеет место полярно-зависимый переход индуктивного импеданса (S-тип) в емкостной (N-тип). ВАХ сохраняется в интервале температур 77÷452К, т.е. вплоть до температуры фазового перехода α -Ag₂S. Указанная структура благодаря высокой устойчивости к токовым перегрузкам, большому соотношению импедансов в закрытом и открытом состояниях (10^6 - 10^7), может успешно применяться в качестве быстродействующего, биполярного коммутирующего устройства в системах автоматики и приборах управления.

Исследованы МПМ структуры на монокристаллах α -Ag₂Se и тройных халькогенидах серебра с катионным ($A^1B^1C^6$) и анионным ($A^1B^6C^6$) замещением компонентов с специально подобранными симметричными

электродами. МПМ структуры α -Ag₂Se и на монокристалле n-Ag₄SSe имеет аналогичную симметричную ВАХ (Рис.4) [14,28]. Это обусловлено на наш взгляд, спецификой границы раздела металл-сильнолегированный полупроводник: процессами захвата и высвобождения электронов уровнями ПЭСК (поверхностные электронные состояния контакта), расположенными на границе раздела металл–полупроводник и спецификой составляющих структуру материалов.



а

б

Рис.3

Осциллограммы МОП структуры на монокристалле α -Ag₂S($n=10^{16}$ см⁻³).

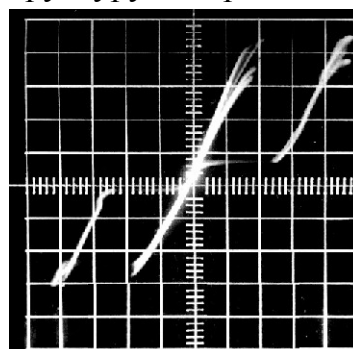


Рис.4.

ВАХ (при 300÷420К) и осциллограмма (при 77К) МПМ структуры на монокристалле α -Ag₂Se.(Т,К): 1-293; 2-326; 3-348; 4-368; 5-420.

МПМ структуры на сплавах p-Ag_xCu_{1-x}S (в зависимости от состава) зарегистрированы: как трехстабильный переключатель [15] и низковольтный (~1,0В) стабилитрон [16]. Трехстабильный переключатель сначала находится в высокоомном состоянии. При достижении порогового напряжения наблюдается первый участок отрицательного сопротивления S- типа и образец переходит на первое низкоомное состояние: падение напряжения на нем уменьшается скачком. Дальнейшее увеличение тока переводит структуру во второе, более низкоомное состояние (Рис.5).

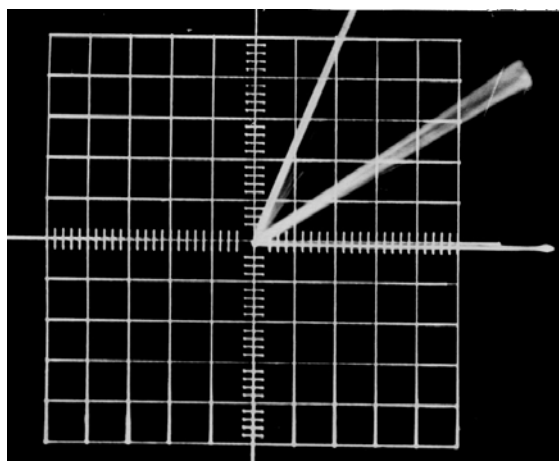


Рис.5.

Осциллограмма МПМ структуры на монокристалле n-Ag₄SSe.

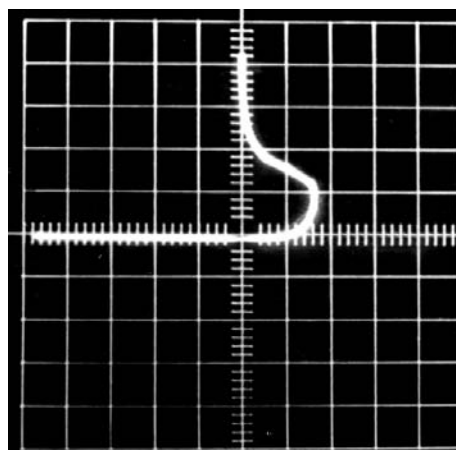


Рис.6.

Осциллограмма трехстабильного переключателя на p-Ag_xCu_{1-x}S($x=0,3-0,4$).

Все три состояния при соответствующих токах и напряжениях сохраняются сколь угодно долго. Действие такого трехстабильного переключателя обусловлено тем, что в запрещенной зоне сильнолегированного, компенсированного полупроводника имеются уровни, при ионизации которых возникают проводящие состояния. С целью выяснения возможности совмещения с технологией

интегральных микросхем, МПМ структура получена на кремниевой подложке. Эта структура имеет ВАХ (Рис.6), схожую с ВАХ 4-слойного (p-n-p-n) диодистора, с явно выраженным участком ОС, вследствие положительной обратной связи по току и частично по напряжению. Меняя величину тока можно обеспечить переход с одной ветви характеристики на другую. Эти структуры интересны в связи с возможностью совмещения в них функций запоминания и коммутации, а также свойств нелинейных полупроводниковых элементов. Повторная подача напряжения воспроизводит то состояние элемента, которое было в нем сформировано ранее.

1. Н.Г.Ключников, *Журнал Технической Физики*, **26** (1956) 2603.
2. Г.Б.Абдуллаев, Ш.М.Алекперова, Ш.А.Марданова, М.И.Агаев, *Отчет «Демпинг»-Союзная*, (1971-1973) 16.
3. Ш.М.Алекперова, *Материалы XI сессии Совете по Координации*, (1974), 9.
4. Г.Б.Абдуллаев, Ш.М.Алекперова, *Симпозиум по функциональной микроэлектро-нике, Москва (МЭФ-72)*, (1972) 13.
5. В.И.Стафеев, Ш.М.Алекперова, Г.С.Гаджиева, *ИФАН, препринт №15* (1979) 16.
6. Sh.M.Alekperova, G.S.Gadjiyeva, I.A.Akhmedov, N.N.Abdulzade, *Power Engineering Problems*, **1** №3 (2002) 61.
7. Г.А.Филаретов, В.И.Стафеев, Ю.З.Бубнов, *ФТП*, **1** (1967) 1381.
8. В.Л.Бонч-Бруевич, И.П.Звягин, А.Г.Миронов, *Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках, М. Наука*, (1972).
9. С.М.Зи, *Физика полупроводниковых приборов, М. Энергия*, (1973).
10. *Сборник «Переключатели на основе полупроводников», Баку, Элм, ИФАН*, (1974).
11. Г.Б.Абдуллаев, Ш.М.Алекперова, Г.С.Гаджиева, Н.Н.Абдулзаде, И.А.Ахмедов, *Авт.св. СССР, №705936* (1979).
12. Ш.М.Алекперова, Г.С.Гаджиева, Н.Н.Абдулзаде, Э.А.Алиев, *Авт. св. СССР №976799* (1982).
13. Ш.М.Алекперова, И.А.Ахмедов, Р.Г.Ахмедзаде, Г.С.Гаджиева, *Авт.св. СССР №1032962* (1983).
14. Ш.М.Алекперова, М.И.Агаев, Г.А.Мамедова, Я.Т.Акперов, *Авт.св. СССР №1499619*(1989) (приор.1987).
15. Ш.М.Алекперова, Н.Н.Абдулзаде, М.И.Агаев, И.А.Ахмедов, *Авт.св. СССР №963123* (1982).
16. Ш.М.Алекперова, И.А.Ахмедов, Г.С.Гаджиева, Р.Г.Ахмедзаде, *Авт.св. СССР №776419* (1980).
17. Ш.М.Алекперова, Г.С.Гаджиева, Н.Н.Абдулзаде, Э.А.Алиев А.Х.Мурадов, *Авт. св. СССР, №710418* (1979).
18. Ш.М.Алекперова, Н.Н.Абдулзаде, Г.Т.Ахмедли, И.А.Ахмедов, Р.Г.Ахмедзаде, *Авт.св. СССР №1120890* (1984) (приор.1981).
19. Ш.М.Алекперова, Г.С.Гаджиева, И.А.Ахмедов, *Azerbaijan National Academy of Sciences, Transactions, series of physical-mathematical and technical sciences, physics and astronomy*, **XXIII** №5 (2004) Т4.
20. Ш.М.Алекперова, Н.Н.Абдулзаде, Г.С.Гаджиева, Р.Г.Ахмедзаде, Н.Н.Мурсагулов, *Материалы Международной Конференции, посвященной 85-летию Академика Г.Б.Абдуллаева, Баку, ч.2* (2003) 22.
21. Ш.М.Алекперова, Г.С. Гаджиева, И.А.Ахмедов, *Материалы Международной Конференции, Баку «Физика-2005»,* (2005) 859.

22. Ш.М.Алекперова, Г.С.Гаджиева, *Известия АН СССР, Неорганические Материалы*, №1 (1987) 154.
23. И.Р.Нуриев, Р.Б.Шафизаде, *Известия АН Аз.ССР*, №2 (1972) 13.
24. Г.А.Эфендиев, И.Р.Нуриев, Р.Б.Шафизаде, *Кристаллография*, **14** (1969) 915.
25. Г.Б.Абдуллаев, Ш.М.Алекперова, Ш.А.Марданова, М.И.Агаев, *Материалы Симпозиума по физике плазмы и электрическим неустойчивостям, Вильнюс*, (1971) 20.
26. Ш.М.Алекперова, Н.Н.Абдулзаде, Р.Г.Ахмедзаде, *НПК: «Современные информа-ционные электронные технологии»*, Одесса, (2003) 322.
27. Ш.М.Алекперова, Г.С.Гаджиева, *Препринт, ИФАН Аз.ССР*, №74 (1983) 13.
28. Ш.М.Алекперова, И.А.Ахмедов, Г.Т.Ахмедли, Г.С.Гаджиева, *Препринт ФИАН №55* (1982) 12.
29. Ш.М.Алекперова, И.А.Ахмедов, Р.Г.Ахмедзаде, Г.С.Гаджиева, *Труды МЭПП-2001, Баку-Сумгаит*, (2001) 44.

GÜMÜŞ XALKOGENİDLƏRİ ƏSASINDA MDY, MYM VƏ MDM STRUKTURLARINDA MƏNFİ DİFFERENSİAL MÜQAVİMƏT, AŞIRMA VƏ YADDAŞ EFFEKTLƏRİ

Ş.M.ƏLƏKBƏROVA, G.S.HAÇIYEVA, İ.Ə.ƏHMƏDOV

Məqələdə binar, anion və kation əvəzetmə üsuli ilə alınmış üçqat gümüş xalkogenidləri əsasında alınmış metal-dielektrik-yarımqeçirici (MDY), metall-yarımqeçirici- metall (MYM) və metal-dielektrik metal (MDM) strukturların tədqiqinə aid işlərimizin içməli verilmişdir. İlk dəfə müəyyən edilmişdir ki, nazik-tunnel təbəqəli MDM strukturunun aşırma astanası ($760 \div 5 \cdot 10^{-5}$ mm.ç.s.) intervalda havanın təzyiqinə həssasdır. İlk dəfə olaraq binar və üçqat gümüş sulfidi əsasında MYM strukturunda (EDP) - elektro-diffuzion potensialın yaranması ($2,0 \div 28$ mV) müşahidə olunmuşdur.

Termostimullaşmış depolyarizasiya (TSD) metodu ilə nazik MDM, MDY strukturlarının sərhədlərində tələ səviyyələrinin dərinliyi və konsentrasiyası təyin edilmişdir.

NEGATIV RESISTANS, SWITCHING and MEMORY EFFEKT in the MIM and MSM, MIS STRUCTURES for the SILVER CHALCOGENIDES. PART I

Sh.M.ALEKPEROVA, G.S.HADJIEVA, I.A.AKHMEDOV

The review of own researches on the switching, memory and phenomena transfer in thin layer MIM (metal-insulator-metal), MIS(metal-insulator-semiconductor), MSM(metal-semiconductor-metal) structures on double and triple silver chalcogenides obtained by anion and cation substitution have been presented. The threshold switching of thin MIM structures has been sensitive for degree rarefied atmosphere ($760 \div 5 \cdot 10^{-5}$ merc.pr.) First, onset an electrodiffusion potential (EDP) of the order of some millivolts in the MSM structurals at binary and triple polycrystal silver sulphide with no external influence (elektrik field, temperature gradient etc) have been observed. By the termostimulated depolarization method (TSP) two trap levels depths and concentrations have been shown up.

Редактор: М.Алиев