

Академик АН УзССР У. А. АРИФОВ, А. Х. АЮХАНОВ,
Н. АБДУЛЛАЕВ, М. С. АРИФДЖАНОВА

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОНОВ НИЗКОЙ ЭНЕРГИИ НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АФН-ПЛЕНОК CdTe

Известно, что тонкие пленки некоторых полупроводников, и в частности теллурида кадмия (¹⁻⁴), при определенном способе их приготовления способны генерировать при освещении фотонапряжения, значительно превышающие ширину запрещенной зоны (АФН-эффект). Изучение этого явления представляет не только большой научный интерес (⁵), но и перспективно с точки зрения практических разработок (⁶⁻⁸). Нами также получены АФН-пленки CdTe (⁹). Такие пленки при освещении генерировали до 1000 в на 1 см длины как на воздухе, так и в вакууме. Сопротивление пленок 10^{11} — 10^{14} см.

В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния электронной бомбардировки на фотоэлектрические свойства таких пленок и некоторые объяснения полученных результатов. На наш взгляд, такие исследования важны для: а) определения природы АФН-эффекта, б) выяснения механизма воздействия электронов низкой энергии на тонкие полупроводниковые пленки, в) уточнения радиационной стойкости приборов, создаваемых на основе этого эффекта.

Влияние электронной бомбардировки на фотоэлектрические свойства пленок CdTe изучено при энергии электронов до 10 кэВ и плотности пучка 0,5—5 мкА/см². Электронный пучок полностью охватывает площадь пленки (10·10 мм²). Для более равномерной бомбардировки пленок электроны были направлены под углом 45° (под углом напыления пленок). Электронная бомбардировка и все измерения проведены в вакууме 10^{-7} — 10^{-6} тор. Принципиальная электрическая схема установки приведена в (¹⁰).

Выяснилось, что электронная бомбардировка приводит к изменению генерируемого аномального фотонапряжения в области энергии $E \geq 300$ эВ, а при $E < 300$ эВ воздействия электронов не обнаруживается. При всех значениях энергии (0—10 кэВ) изменения сопротивления R пленок не наблюдается. Обнаружено, что при облучении электронами пленок CdTe типа А (толстый конец пленок имеет положительный потенциал при освещении) происходит сначала резкое уменьшение генерируемого фотонапряжения V_{ϕ} . После облучения электронами при хранении пленок в вакууме 10^{-7} — 10^{-6} тор при комнатной температуре величина V_{ϕ} восстанавливается, при этом восстановленное значение $V_{\text{вос}}$ всегда меньше, чем первоначальное значение V_0 (фотонапряжение пленок до облучения электронами). (Надо указать, что восстановленное значение $V_{\text{вос}}$ со временем в вакууме и на воздухе остается постоянным.) Восстановленное значение $V_{\text{вос}}$ зависит от дозы D и энергии падающих электронов.

Противоположное явление обнаруживается в пленках типа Б (толстый конец пленок имеет отрицательный потенциал при освещении): после облучения электронами происходит сразу увеличение V_{ϕ} и со временем (в вакууме) происходит процесс восстановления; восстановленная величина фотонапряжения всегда больше, чем исходная V_0 . Эти процессы зависят от значений E и D падающих электронов.

На рис. 1 показаны первоначальные значения V_0 и восстановленные $V_{\text{ф}}$ со временем после облучения пленок CdTe. Видно, что в пленках А типа с увеличением D происходит уменьшение восстановленного значения $V_{\text{вос}}$ (рис. 1а), а в пленках типа Б, наоборот, увеличение $V_{\text{вос}}$ (рис. 1б).

Нами были изучены зависимости $V_{\text{вос}}$ от D при различных энергиях падающих электронов (рис. 2). Можно отметить, что с увеличением D в пленках типа А при малых дозах (в области до 200–300 мкк/см² происходит монотонное уменьшение $V_{\text{вос}}$ (1–3); при $D \geq 200\text{--}300$ мкк/см² с увеличением дозы $V_{\text{вос}}$ уменьшается более медленно и линейно. С увеличением E этот процесс (уменьшения $V_{\text{вос}}$ в зависимости от D) приобретает

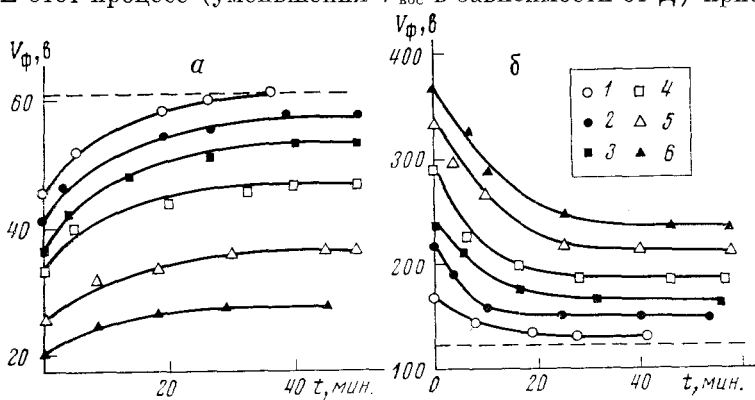


Рис. 1. Восстановление $V_{\text{ф}}$ со временем после облучения электронами: а — для пленок типа А, $E=5$ кэв; б — для пленок типа Б, $E=1$ кэв — при дозах (в мкк/см²): 1 — 15, 2 — 700, 3 — 300, 4 — 1000, 5 — 5000, 6 — 10 000. Штриховая линия — значение $V_{\text{ф}}$ до облучения пленок электронами

более резкий характер. На этом же рисунке показано (4–6) изменение $V_{\text{вос}}$ в зависимости от E и D для пленок типа Б. Видно, что с увеличением дозы до 200–300 мкк/см² $V_{\text{вос}}$ увеличивается монотонно и при $D \geq 300$ мкк/см² $V_{\text{вос}}$ увеличивается более медленно и линейно. Здесь также видно, что с увеличением E эти процессы приобретают более резкий характер.

После облучения пленок электронами при энергиях до 10 кэв и дозах до 10^4 мкк/см² изменение R пленок не обнаруживается. Темновые вольт-амперные характеристики пленок до облучения и после облучения электронами в использованных нами областях значений энергии и дозы облучения были всегда линейными (омическими).

Полученные результаты могут быть объяснены следующим образом. Известно, что при бомбардировке пленок электронами происходит электронно-стимулированная десорбция и диссоциативные процессы (¹¹). Из-за десорбции в основном происходит очистка поверхности (определенной толщины в зависимости от E) пленок от адсорбированных газов. С увеличением D поверхность становится более чистой и с увеличением E глубина очищенного слоя увеличивается. С другой стороны, известно, что при энергии электронов несколько электрон-вольт и больше происходит разрыв химической связи соединения CdTe; в результате некоторые атомы соединения могут покидать поверхность пленок (диссоциативный процесс). С повышением E и D этот процесс приобретает более резкий характер. Из этих рассуждений, по-видимому, можно сделать вывод о том, что изменение $V_{\text{вос}}$ в зависимости от E и D связано с электронно-стимулированной десорбцией и диссоциативными процессами, приводящими к изменению состава поверхностного слоя; толщина этого слоя растет с увеличением E .

Известно, что при бомбардировке диэлектриков и тонких полупроводниковых пленок электронами при энергиях, когда коэффициент вторичной

эмиссии σ больше единицы, происходит процесс зарядки поверхности (¹¹). По-видимому, эта область энергии, где $\sigma > 1$, в нашем случае соответствует $E \geq 300$ эв.

Как указывалось (⁸), АФН-пленки CdTe имеют градиент толщины (получены под углом 45°) и конец, близко расположенный к испарителю, получается более толстый, чем конец, расположенный далеко от испарителя. Соответственно разные участки пленки имеют различные сопротивления R . На рис. 3 показано распределение значений R по длине пленки,

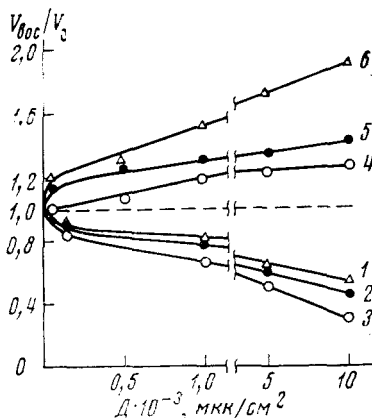


Рис. 2

Рис. 3. Распределение V_ϕ (1, 3) и R (2, 4) по длине пленок для пленок № 20 (1, 2), 40 (3, 4)

Рис. 4. Восстановление V_ϕ (1) и стекание заряда (2) после облучения электронами при $E=5$ кэВ, $D = 10^3$ МКК/СМ². Штриховая линия a соответствует V_0 , $b - V_{вос}$

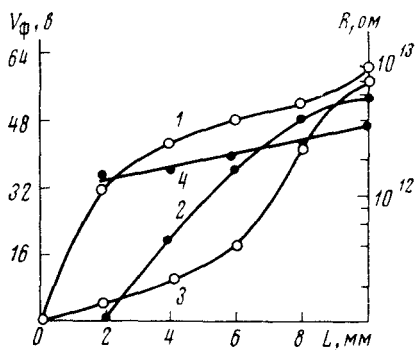


Рис. 3

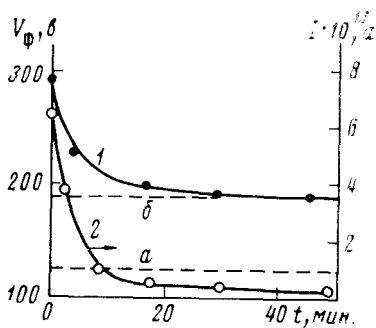


Рис. 4

разделенной на пять участков с шагом 2 мм (¹⁰). Видно, что на «толстом» участке R во много раз меньше, чем на «тонком» участке. Из этих зависимостей $R(L)$ можно сделать предположение о том, что близкая к тонкой части область пленки при $\sigma > 1$ заряжается более положительно относительно соединенных с «землей» контактов. Если это так, то при электронной бомбардировке в пленке должен протекать ток, обусловленный общей и вторично-электронной проводимостью пленки. Экспериментальное определение направлений токов, проведенное нами, действительно подтверждает это. Отсюда можно сделать вывод, что при электронной бомбардировке АФН-пленок CdTe (полученных под углом 45° и $R=10^{11}-10^{14}$ ом) происходит некоторая зарядка поверхности и по пленке идет ток. Ток в основном направлен от тонкого конца пленок к толстому концу. С другой стороны, в пленках CdTe типа А фототок направлен от толстого конца к тонкому, а в пленках типа Б — наоборот. Отсюда ясно, что в пленках типа Б ток, обусловленный общей и вторично-электронной проводимостью, и фототок направлены в одну сторону, в результате чего усиливается общий фототок (после облучения). В пленках типа А фототок и ток, обусловлен-

ный общей и вторично-электронной проводимостью, направлены в противоположные стороны, в результате чего общий фототок уменьшается. Надо указать еще на то, что величина (или степень) зарядки для разных пленок получается разной. Это, вероятно, связано с сопротивлением R , структурой и емкостью пленок.

Изучены изменения тока разрядки и фотонапряжения V_{ϕ} после облучения пленок электронами (рис. 4). Видно, что после облучения электронами пленок типа Б разрядный ток и V_{ϕ} уменьшаются (в пленках типа А происходит увеличение V_{ϕ}) параллельно и экспоненциально и через определенное время, в зависимости от E и D , заряды полностью стекают и V_{ϕ} восстанавливается. Постоянную спада здесь можно связать с толщиной (и с R), структурой и емкостью пленок CdTe. Надо еще указать, что основной процесс зарядки происходит в основном при начальных малых дозах ($D=50-100$ мкк/см²) облучения.

Выше было указано, что при бомбардировке пленок при энергиях $E < E_{кр} = 300$ эв изменения V_{ϕ} и R не происходит. В этой области энергий, по-видимому, $\sigma < 1$. В таких условиях поверхность пленок сначала при электронной бомбардировке станет заряжаться отрицательно, потенциал поверхности U_p со временем будет уменьшаться и электроны перестанут попадать на пленку (¹¹). По-видимому, этот процесс происходит при очень малых D , и в результате изменения V_{ϕ} и R не происходит.

На основе изложенных выше данных можно сделать вывод, что при электронной бомбардировке АФН-пленок CdTe с энергией, начиная с некоторой критической $E_{кр}$ ($E_{кр} = 300$ эв и $\sigma > 1$), происходит изменение V_{ϕ} . Основными процессами во время воздействия электронного пучка являются зарядка поверхности пленок (обратимый процесс) и диссоциативно-десорбционные процессы (необратимый процесс). С другой стороны, известно (⁷⁻⁹), что для применений требуются пленки с различными значениями генерируемого фотонапряжения. Этого в некоторой степени можно достичь при помощи бомбардировки электронами низкой энергии. Как указано выше, с помощью электронной бомбардировки значение V_{ϕ} можно изменить в любую сторону: увеличение в пленках типа Б и уменьшение в пленках типа А.

Институт электроники
Академии наук УзССР
Ташкент

Поступило
28 IV 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ L. Pensak, B. Goldstein, J. Appl. Phys., v. 30, 155 (1959).
- ² Ф. Г. Новик, ФТТ, т. 4, в. 11, 3334 (1962).
- ³ Э. И. Адирович, В. М. Рубинов, Ю. М. Юабов, Изв. АН УзССР, сер. физ.-мат., № 6, 63 (1964).
- ⁴ М. И. Корсунский, В. А. Фридман, ДАН, т. 168, 318 (1966).
- ⁵ Э. И. Адирович, В. М. Рубинов, Ю. М. Юабов, ДАН, т. 168, № 5, 1037 (1966).
- ⁶ В. Г. Цукерман, Э. Е. Вайнштейн, В. М. Любин, ПТЭ, № 3, 205 (1966).
- ⁷ Э. И. Адирович, Э. М. Маслов, Ю. М. Юабов, ДАН, т. 188, № 6, 1254 (1969).
- ⁸ У. А. Арифов, Н. Абдуллаев, ПТЭ, 2, 210 (1971).
- ⁹ У. А. Арифов, А. Х. Аюханов и др., В сб. Взаимодействие атомных частиц с твердым телом, Киев, 1974.
- ¹⁰ У. А. Арифов, А. Х. Аюханов, Н. Абдуллаев, ФТП, т. 5, в. 9, 1687 (1971).
- ¹¹ Л. Н. Добрецов, Эмиссионная электроника, М., Физматгиз, 1966.