

Применение прецизионных ВАХ для исследования ИК-фоторезисторов

Часть II. Влияние термообработки на свойства фоторезисторов из КРТ

Л. И. Дьяконов

Федеральное государственное унитарное предприятие "Альфа", Москва, Россия

Методом прецизионных ВАХ изучено влияние нагрева на фоторезисторы (ФР), изготовленные по "стандартной" технологии из объемного КРТ. Фоточувствительные параметры ФР и динамику изменения кривых $R = f(U)$, получаемых из ВАХ, измеряли до и после термообработок при температурах от 60 до 100 °С. По мере нарастания интенсивности термообработок снижается вольтовая чувствительность, приближаясь в пределе к нулевому значению. Одновременно кривые $R = f(U)$ изменяют свою форму от исходной V-образной до конечной Л-образной для ФР, полностью потерявших чувствительность к ИК-излучению. Сильнее всего воздействует нагрев на свойства ФР с максимальной величиной темнового сопротивления, т. е. с минимальной толщиной слоя КРТ и минимальной концентрацией в нем нескомпенсированных доноров.

Проведение экспериментов

ФР изготовляли из объемного $\text{Cd}_{0,2}\text{H}_{0,8}\text{Te}$ по "классической" технологии. Анодированные пластины КРТ наклеивали эпоксидным клеем на Ge-подложки и утоньшали химико-механическим методом до толщины 10–14 мкм. Толщина клеевой прослойки составляла примерно 1,5 мкм. С помощью фотолитографии выделяли активные площадки размером 50×50 мкм. Контакты получали методом электролитического осаждения слоя In толщиной 1 мкм. Поверхность ФР защищали просветляющим диэлектрическим покрытием.

Исследовали поведение ФР с исходным темновым сопротивлением 40, 32 и 24 Ом, которые отнесли к 1-й, 2-й и 3-й группам, соответственно. Большее темновое сопротивление имели ФР с меньшей толщиной КРТ и/или большим удельным сопротивлением исходного материала.

Результаты

Сильнее всего термообработка оказывала воздействие на свойства ФР 1-й (высокоомной) группы. Именно на их примере выясняли, насколько существенно влияет на результаты термообработки вакуумирование ФР. С этой целью провели шесть отжигов по 4 ч при 80 °С поочередно в вакууме и на воздухе. В обоих случаях уменьшение вольтовой чувствительности и увеличение темнового сопротивления ФР при

термическом воздействии идет с примерно равной скоростью. В дальнейшем влияние атмосферы отжига не учитывали, и основные результаты получены при отжиге ФР в предварительно откачанных технологических зондах.

В некоторых случаях отжиг уже при 60 °С может повлиять на темновое сопротивление и вольтовую чувствительность ФР. Однако лишь при 80 и 100 °С изменения свойств становятся заметными для всех групп ФР. По мере увеличения интенсивности термообработки растет темновое сопротивление приборов. Вольтовая же чувствительность сначала может даже несколько увеличиться, однако затем уменьшается, доходя практически до нуля.

Ни один ФР не смог сохранить свои параметры после длительного отжига при 100 °С. Но если для полной потери фоточувствительности ФР 1-й группы ($R_T = 40$ Ом) хватило отжига около трех суток при 80 °С, то приборам 3-й группы ($R_T = 24$ Ом) для этого понадобился прогрев в течение шести суток уже при 100 °С. Приборы 2-й группы по своей термической устойчивости занимали промежуточное положение.

Вольтовая чувствительность ФР в процессе термообработки может уменьшаться многократно, однако вид ее температурной зависимости оказывается при этом более или менее схожим (рис. 1).

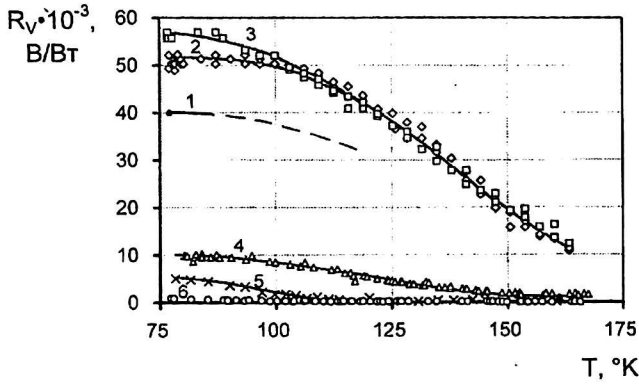


Рис. 1. Эволюция температурной зависимости R_V в процессе термообработки ФР 2-й группы ($R_T = 32 \text{ Ом}$):
 1 — исходная; 2 — 24 ч при 60 °С; 3 — +24 ч при 80 °С;
 4 — +24 ч при 100 °С; 5 — +24 ч при 100 °С; 6 — +48 ч при 100 °С

Точно так же близки по виду графики зависимости вольтовой чувствительности от напряженности поля, приведенные на рис. 2. В каждом случае с ростом поля достигается предельное значение чувствительности, которое принято приписывать пролетному режиму работы ФР. Понятно, что это предельное значение тем меньше, чем сильнее оказалось термическое воздействие на данный ФР.

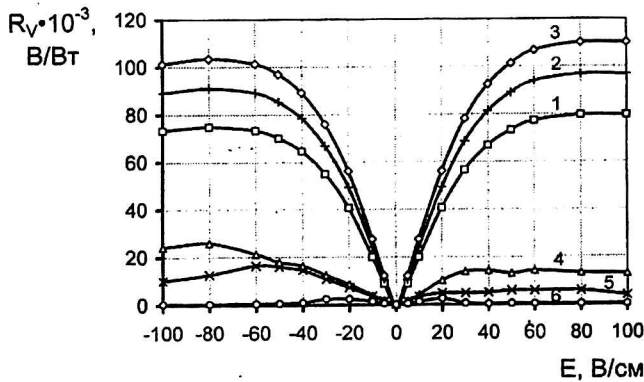


Рис. 2. Эволюция зависимости R_V от напряженности поля при термообработке ФР 2-й группы ($R_T = 32 \text{ Ом}$):
 1 — исходная; 2 — 24 ч при 60 °С; 3 — +24 ч при 80 °С;
 4 — +24 ч при 100 °С; 5 — +24 ч при 100 °С; 6 — +48 ч при 100 °С

Наиболее интересные результаты по влиянию термообработки дало применение метода прецизионного измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) ФР. Мы изучали эволюцию зависимости $R = f(U)$ по мере увеличения интенсивности термообработки приборов. Результаты показаны на рис. 3—5 для ФР из 1-й, 2-й и 3-й групп, соответственно. Напомним, что в связи с различной термической устойчивостью ФР для каждой группы пришлось использовать свои режимы термообработки. Тем не менее общий характер эволюции графиков $R = f(U)$ для всех трех групп оказывается похожим.

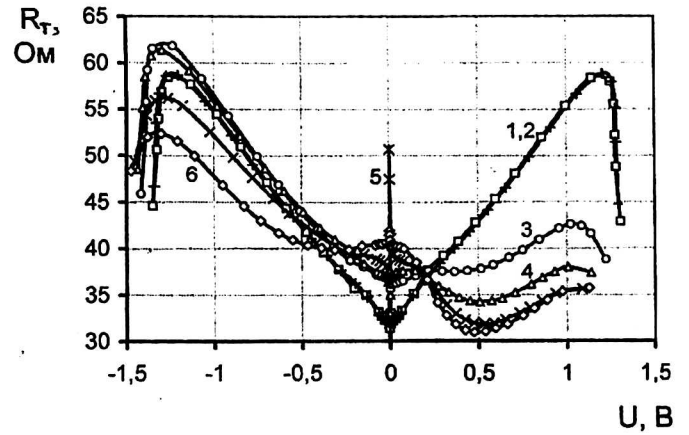


Рис. 3. Изменение $R_T - f(U)$ при нагреве ФР 1-й группы ($R_T = 40 \text{ Ом}$):
 1 — исходная; 2 — 24 ч при 60 °С + 24 ч при 80 °С;
 3 — +4 ч при 80 °С; 4 — +4 ч при 80 °С (воздух);
 5 — +4 ч при 80 °С; 6 — +4 ч при 80 °С (воздух)

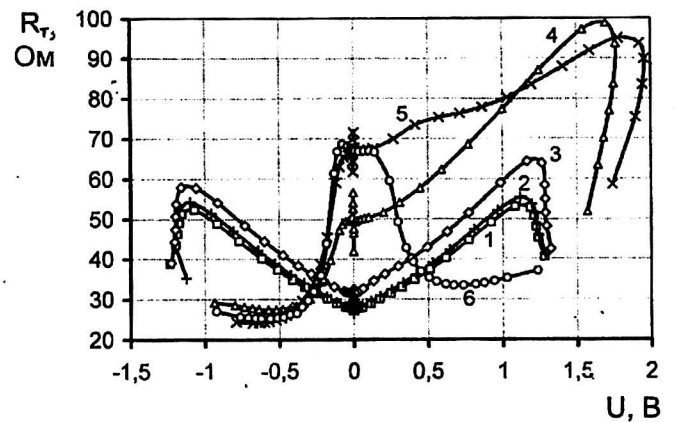


Рис. 4. Изменение $R_T - f(U)$ при нагреве ФР 2-й группы ($R_T = 32 \text{ Ом}$):
 1 — исходная; 2 — 24 ч при 60 °С; 3 — +24 ч при 80 °С;
 4 — +24 ч при 100 °С; 5 — +24 ч при 100 °С;
 6 — +48 ч при 100 °С

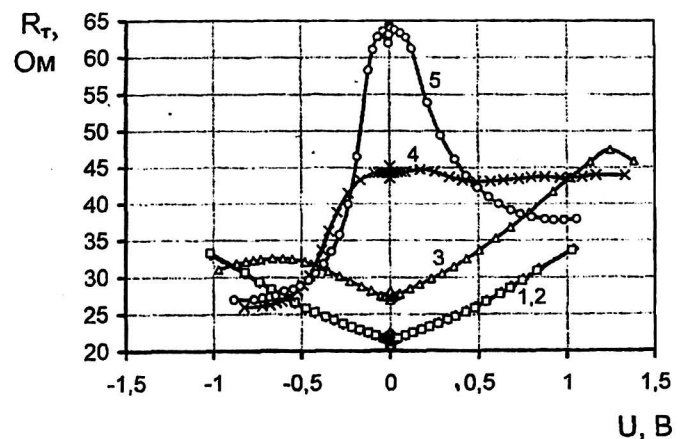


Рис. 5. Изменение $R_T - f(U)$ при нагреве ФР 3-й группы ($R_T = 24 \text{ Ом}$):
 1 — исходная; 2 — 24 ч при 60 °С + 24 ч при 80 °С; 3 — +48 ч при 100 °С; 4 — +48 ч при 100 °С; 5 — +48 ч при 100 °С

Все исходные кривые $R_T=f(U)$ имели V -образный вид, аналогичный показанному в первой части [1] для ФР из объемного КРТ. При увеличении термического воздействия кривые сначала смещаются вверх параллельно самим себе, затем ветви их в области больших напряжений начинают опускаться, причем для одной полярности обычно быстрее, чем для другой. Середина кривой (малые напряжения) продолжает подниматься и все более выпучивается кверху. По завершении отжига все кривые приобретают схожий L -образный вид с максимумом при нулевом напряжении. Сопротивление в максимуме может достигать 60 Ом и более.

Если исходные ВАХ и кривые $R_T=f(U)$ выглядят совершенно симметрично относительно полярности приложенного напряжения, то в процессе термообработки эта симметрия нередко нарушается и очень сильно. Например, одна ветвь кривой $R_T=f(U)$ может выглядеть как на исходном графике, снятом до первого отжига, а при другой полярности график имеет тот же вид, что и для ФР, полностью потерявшего фоточувствительность (см. кривую 4 на рис. 4). В ходе термообработки могут появиться даже участки ВАХ с отрицательной характеристикой (см. кривые 2, 4 и 5 на рис. 4). На завершающем этапе термического воздействия несимметричность кривых $R_T=f(U)$ снова сглаживается.

Асимметричность ВАХ свидетельствует о том, что потеря фоточувствительности ФР связана не только с изменением объемных свойств КРТ, но и с процессами, происходящими на контактах. По-видимому, свойства последних могут сильно отклоняться от характеристик чисто омических контактов, какими их обычно принято считать. Кстати, неоднократно приходилось замечать влияние полярности приложенного напряжения также и на такие характеристики ФР, как вольтовая чувствительность и напряжение шума.

Обсуждение результатов и выводы

Полученные результаты можно сравнить с работой, опубликованной еще в 1977 г. [2]. В ней

использовали примерно такую же технологию изготовления и геометрию ФР, похожи также приводимые ими свойства ФР.

Нам прежде всего интересны данные по термостабильности ФР. Если верить авторам, то их приборы выдерживали без особого ущерба для их качества вакуумный прогрев при температуре 125 °С в течение целой недели, а в нашем исследовании даже самые термостабильные ФР полностью теряют чувствительность примерно за то же самое время при температуре всего 100 °С.

В ряде литературных источников влияние термообработки на свойства ФР из КРТ связывают с испарением ртути из материала элемента [3, 4]. Вводимые вакансии ртути являются электрически активными структурными дефектами — мелкими акцепторами. В результате должны снижаться концентрация некомпенсированных доноров, увеличиваться удельное сопротивление материала и падать время жизни неосновных носителей.

Хотя наши результаты не противоречат явно такому механизму, более полный анализ должен учитывать процессы, протекающие на контактах. В работе [5] показано, что там может происходить аккумуляция неосновных носителей, увеличивающая чувствительность прибора. Понятно, что в этом случае поведение контактов не обязательно будет чисто омическим.

Литература

1. Дьяконов Л. И., Пробылов В. В. Применение прецизионных ВАХ для исследования ИК-фоторезисторов. Ч. 1. Разработка метода прецизионных ВАХ// Прикладная физика. 2003. № 6.
2. Kinch M. A., Borrello S. R., Simmons A. 0,1 ev HgCdTe photoconductive detector performans// Infrared physics. 1977. V. 17. № 2. P. 127—135.
3. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. — М.: Мир, 1988. С. 254.
4. Курбатов Л. Н. Вопросы оборонной техники. Сер. 11. — М., 1998. Вып. 1(154)—2(155). С. 3—29.
5. Ashley T., Elliott C. T. Accumulation effects at contacts to n-type cadmium-mercury-telluride photoconductors// Infrared Physics. 1982. V. 22. P.3 67—376.

Application of I—V precise graphs for IR-photoconductors characterization

Part II. Influence of heat treatment on CMT photoconductors properties

L. I. Diakonov

The Federal State United Enterprise "Alpha", Moscow, Russia

The influence of heat treatment of photoconductor detectors (PC), manufactured from bulk Cd_xHg_{1-x} (CMT) by "standart" technology was investigated. PC were annealed in the

temperature range from +60 to +100 °C. The photosensitive parameters of both as manufactured and annealed PC were measured. Volt-ampere characteristics (VAC) and dependences $R - U$ of an individual PC were measured precisely as the dynamics of their evolution after annealings. On heat treatment intensity rise the voltaic reponsivity lowers reaching zero value as the limit. Simultaneously $R - U$ plots are changed from V-shape to Π -shape for the PC that have lost completely their IR-sensitivity. The most of all heat treatment affects those PC which have the highest dark resistivity i. e. the lowest CMT thickness and the lowest density of uncompensated resident donors in it.