

Академик АН УзССР Э. И. АДИРОВИЧ, Р. Н. НАЙМАНБАЕВ, Ю. М. ЮАБОВ

## ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ТРАНСФОРМАТОР НАПРЯЖЕНИЯ

1. Задача создания трансформатора напряжения, аналогичного по своим свойствам трансформатору с электромагнитной связью, т. е. сочетающего преобразование напряжения с электрической развязкой входа и выхода, не имеет решения в твердотельной электронике. Необходимость реализации этих функций привела к идее оптрона с прямой оптической связью, положившей начало развитию оптоэлектроники. Однако передача напряжения в оптроне осуществляется не путем непосредственной трансформации входного сигнала в выходной с помощью внутренних связей, а по релейному принципу. Напряжение, подаваемое во входную цепь, изменяет через канал оптической связи проводимость фотоприемника во вторичной цепи, работающего как реостат, управляемый светом. Поэтому для получения сигнала на выходе в выходной цепи оптрона должен находиться автономный источник питания.

Это обусловлено тем, что действие всех существующих в оптоэлектронике фотоприемников — фоторезисторов, фотодиодов, фототранзисторов и др. основано не на принципе электрического генератора, а на принципе, который правильнее назвать принципом аналогового ключа. Освещение приводит не к генерации фотонапряжения, а только изменяет эффективное внутреннее сопротивление фотоприемника, что и используется для перераспределения напряжения от внешнего источника между фотоприемником и нагрузкой.

Электрическим генератором со световым питанием является вентильный фотоэлемент. Он, однако, не эффективен в качестве приемника света для оптоэлектронных устройств, так как выходное напряжение, создаваемое ( $p - n$ )-переходом в вентильном режиме, заведомо ограничено шириной запрещенной зоны полупроводника.

В работах (<sup>1</sup>) указывалось, что перспективными для оптоэлектроники фотоприемниками генераторного типа могут служить а.ф.н.-пленки, создающие при освещении фотонапряжения в сотни и тысячи вольт (<sup>2-5</sup>). Отличие а.ф.н.-пленки от фотоприемников всех других типов поясняет рассмотрение вторичных цепей в оптронах на рис. 1. В цепи с а.ф.н.-пленкой не нужен источник питания.

На базе а.ф.н.-пленок могут быть созданы оптоэлектронные устройства с новыми функциональными и эксплуатационными свойствами. В (<sup>1, 6</sup>) был описан матричный преобразователь изображения в электрический потенциальный рельеф, не требующий специального блока питания. В настоящей статье показана возможность создания оптоэлектронного трансформатора напряжения и приведены характеристики первых экспериментальных образцов.

2. Для получения в обычном прямом оптроне выходного напряжения  $V_{\text{вых}}$  необходимо, чтобы во вторичной цепи был внешний источник с э.д.с.  $\epsilon > V_{\text{вых}}$  (рис. 1а). Это затрудняет возможности миниатюризации оптоэлектронных электрических усилителей особенно в тех случаях, когда требуемые значения  $V_{\text{вых}}$  велики.

В оптроне с прямой оптической связью, действующем на базе а.ф.н.-эффекта (рис. 1б), эта трудность снимается. Такой оптрон представляет

собой оптоэлектронный трансформатор напряжения, функционально подобный трансформатору с электромагнитной связью. Входное напряжение (1—5 в) определяется порогом свечения инжекционного полупроводникового излучателя. Как будет показано ниже, при освещении от инжекционных излучателей а.ф.н.-пленки создают на выходе напряжение порядка 10—100 в. Поэтому рассматриваемая система работает как повышающий трансформатор, причем формирование сигнала на выходе происходит в результате непосредственной трансформации входного сигнала через опти-

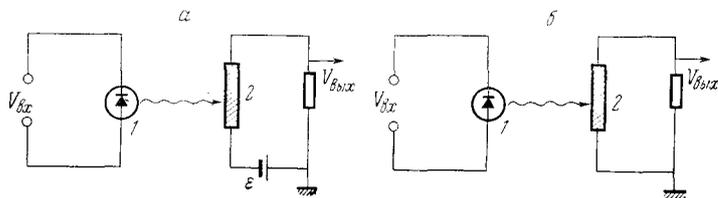


Рис. 1. Схема обычного прямого оптрона (а) и оптрона на а.ф.н.-пленке, выполняющего функции трансформатора напряжения (б): 1 — светодиод, 2 — фотоприемник

ческую связь, играющую здесь роль индуктивной связи в обычном трансформаторе.

3. Экспериментальную разработку оптоэлектронного трансформатора напряжения естественно базировать на наиболее эффективных существующих полупроводниковых инжекционных светодиодах — GaAs, GaP, GaAs<sub>x</sub>P<sub>1-x</sub> и Ga<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>As<sup>(7)</sup>.

В литературе приведены характеристики а.ф.н.-пленок, разработанных на большом числе полупроводниковых материалов<sup>(8-10)</sup>. Анализ этих характеристик с позиций спектрального согласования со светоизлучателями, быстродействия и величины генерируемого фотонапряжения приводит к выводу, что наиболее подходящими являются пленки теллурида кадмия, селенида кадмия и трехселенистой сурьмы.

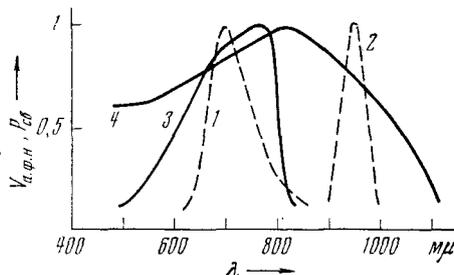


Рис. 2. Спектры испускания светодиодов GaP (1) и GaAs (2) и спектры фотонапряжения а.ф.н.-пленок CdTe (3) и Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> (4)

В качестве фотоприемников для оптоэлектронных трансформаторов напряжения нами были изготовлены пленки CdTe и Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> размером 1 × 1 мм. Спектры  $V_{а.ф.н.}$  этих пленок приведены на рис. 2 вместе со спектрами испускания светодиодов из фосфида и арсенида галлия. Кривые показывают хорошее спектральное согласование оптронных пар GaP—CdTe и GaAs—Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>.

Для реальных условий работы оптоэлектронного трансформатора напряжения необходимо определить значения  $V_{а.ф.н.}$ , создаваемые а.ф.н.-фотоприемниками при импульсном возбуждении в режиме холостого хода. Существующие данные о кинетике а.ф.н.-эффекта<sup>(11)</sup> относятся к условиям короткого замыкания, когда определяющим является  $\tau_0$  — собственное время релаксации первичного фототока на микро-( $p-n$ )-переходах. Временем, характеризующим быстродействие оптоэлектронного трансформатора напряжения, служит схемное время релаксации  $\tau_1 = \frac{R_{пл} R_n}{R_{пл} + R_n} (C_{пл} + C) \approx R_{пл} C$ , где  $R_{пл}$  и  $C_{пл}$  — сопротивление и емкость а.ф.н.-пленки, а  $R_n$  и  $C$  — сопротивление и емкость нагрузки соответственно.

Экспериментальное определение кинетики а.ф.н.-эффекта в пленках в режиме холостого хода производилось на установке, блок-схема которой приведена на рис. 3.

Измерения производились с помощью катодного повторителя, собранного по каскадной схеме (12). Сопротивление  $R_n = 10^{11}$  ом создает режим холостого хода, а  $R_{ш} = 5 \cdot 10^8$  ом развязывает вход катодного повторителя от влияния фотопроводимости а.ф.н.-пленки. Источником света служил осветитель ОИ-24. С помощью светофильтров формировался спектр возбуждающего света, соответствующий излучателям из GaP и GaAs. Для

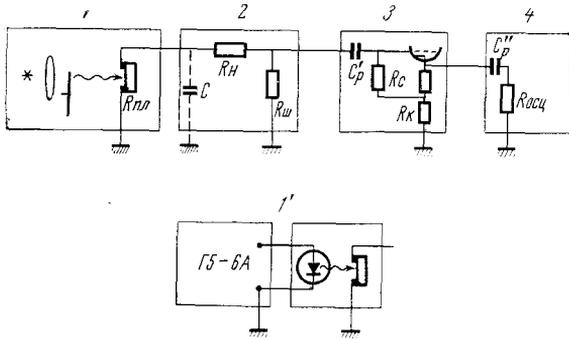


Рис. 3

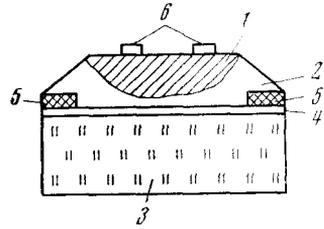


Рис. 4

Рис. 3. Блок-схема установки для исследования кинетики а.ф.н.-эффекта в режиме холостого хода: 1 — осветитель ОИ-24 с механическим модулятором и а.ф.н.-пленка, 2 — делитель напряжения, 3 — катодный повторитель, 4 — осциллограф; 1' — вид блока 1 при испытаниях оптоэлектронного трансформатора напряжения

Рис. 4. Конструкция. 1 — светодиод, 2 — эпоксидная смола, 3 — подложка, 4 — а.ф.н.-пленка, 5, 6 — электроды

прерывания светового пучка был использован механический модулятор. На том же рисунке внизу показан вид первого блока при испытании оптоэлектронного трансформатора напряжения в собранном виде.

Описанная система позволила имитировать наилучшие из описанных в литературе светоизлучателей:  $GaAs_xP_{1-x}$ - и GaP-светодиоды с яркостью  $B \approx 10^3 - 10^4$  нит, а также GaAs-светодиоды с мощностью излучения  $P \approx 1 - 10$  мвт (7). Поскольку  $\tau_1^*$  а.ф.н.-пленок, определенное по затяжке фронтов  $V_{а.ф.н.}$  относительно фронтов световых импульсов, оказалось порядка  $10^{-2}$  сек., применение механического модулятора света вполне обеспечивало формирование П-импульсов света.

Типичные результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица

Источник света	CdTe		Sb <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>		Источник света	CdTe		Sb <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>	
	1	2	3	4		1	2	3	4
Осветитель $V_{а.ф.н.}$ , в $\tau_1^* \cdot 10^2$ , сек.	65	60	15	10	Светодиод $V_{а.ф.н.}$ , в $\tau_1^* \cdot 10^2$ , сек.	40	45	15	10
			~1			1	5	1	1

4. На базе описанных выше пленок теллурида кадмия и трехселенистой сурьмы были изготовлены оптоэлектронные трансформаторы изображения, конструкция которых показана на рис. 4.

Экспериментально были выполнены оптоэлектронные трансформаторы напряжения двух типов. Первый — в виде пары из GaAs-светодиода У-18А и а.ф.н.-пленки Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>; второй — из GaP-светодиода У-15 и а.ф.н.-пленки CdTe. Механическое соединение бескорпусного светодиода и а.ф.н.-пленки

в оптоэлектронных трансформаторах напряжения осуществлялось с помощью эпоксидной смолы Э-6 (рис. 4). Конструкция обеспечивает сопротивление утечки на выходе оптоэлектронного трансформатора напряжения не меньше  $10^{12}$  ом.

Как видно из табл. 4, характеристики оптоэлектронных трансформаторов напряжения GaAs — Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> таковы же, как и характеристики а.ф.н.-пленок Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> при испытании с осветителем, состоявшим из источника света ОИ-24, светофильтра и механического прерывателя (имитатор инжекционного светодиода в импульсном режиме). Характеристики оптоэлектронных трансформаторов напряжения GaP — CdTe несколько хуже потенциальных возможностей пленок теллурида кадмия. Это связано с малой яркостью светодиодов GaP типа У-15 (~500 нит при импульсном питании). Из результатов, полученных путем имитации более эффективных светодиодов GaP с характеристиками, описанными в (7), следует, что в оптоэлектронных трансформаторах напряжения, выполненных на базе оптронной пары из GaP-светодиода и а.ф.н.-пленки CdTe, можно достичь выходных напряжений порядка 60–70 в.

В результате проведенной работы доказана возможность создания оптоэлектронных трансформаторов напряжения.

Физико-технический институт  
им. С. В. Стародубцева  
Академии наук УзбССР  
Ташкент

Поступило  
11 V 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Э. И. Адирович, В сборн. Микроэлектроника, М., 1967, в. 4, стр. 75; Изв. высш. учебн. завед., Радиоэлектроника, 11, № 7, 679 (1968). <sup>2</sup> В. Goldstein, L. Pensak, J. Appl. Phys., 30, 155 (1959). <sup>3</sup> В. М. Любин, Г. А. Федорова, ДАН, 135, 833 (1960). <sup>4</sup> H. Kallman et al., J. Electrochem. Soc., 108, 247 (1961). <sup>5</sup> Э. И. Адирович, Т. Мирзамахмудов и др., ФТТ, 7, 3652 (1965). <sup>6</sup> Э. И. Адирович, В. М. Рубинов и др., Авт. свид. № 177557 и № 183844, Бюлл. изобр. № 1 (1965); № 14 (1966). <sup>7</sup> А. Я. Патракова, В сборн. Обзоры по электронной технике, сер. Электроннолучевые и фотоэлектрические приборы, М., 1971, в. 1, стр. 249. <sup>8</sup> J. Starkiewicz, L. Sosnowski, O. Simpson, Nature, 158, 26 (1946). <sup>9</sup> Э. И. Адирович, В. М. Рубинов, Ю. М. Юабов, ФТТ, 6, 3180 (1964); ДАН, 164, 529 (1965); 165, 1037 (1966); 174, 545 (1967). <sup>10</sup> Э. И. Адирович, В. Ф. Рослякова, Ю. М. Юабов, Физ. и техн. полупроводников, 2, 1020 (1968). <sup>11</sup> Э. И. Адирович, Н. Шакиров, ДАН, 173, 298 (1967). <sup>12</sup> Ю. И. Грибанов, Измерения в высокоомных цепях, М.—Л., 1967.