

07;12

## ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОШИБКУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ФОТОПРИЕМНИКЕ МУЛЬТИСКАН

© Б.Г.Подласкин, Н.А.Токранова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
194021 Санкт-Петербург, Россия  
(Поступило в Редакцию 6 июля 1995 г.)

Рассмотрено влияние потенциала, линейно распределенного вдоль резистивного делителя фотоприемника мультискан, на точность координатоуказания одиночного светового пятна. Рассчитаны величины сдвига нулевой эквипотенциали, характеризующие систематическую ошибку измерений, для различных параметров мультискана

Оценка точности координатоуказания центра светового пятна, спроецированного на фоточувствительную поверхность мультискана, должна строиться с учетом диффузионных и дрейфовых процессов, протекающих в приборе и определяющих связь между распределениями светового излучения и фототоками  $p-n$ -переходов. При этом факторами, оказывающими существенное влияние на величину и распределение токов  $p-n$ -переходов, являются диффузионное растекание носителей заряда и их дрейф, возникающий из-за линейно распределенного по делительному слою напряжения.

Ранее задача построения математической модели мультискана ставилась в [1]. В основу модели был положен интегральный метод вычисления распределения концентраций и потоков дырок на  $p-n$ -переходах, минуя решение уравнений диффузии в многосвязной  $n$ -области прибора. Для решения соответствующих интегральных уравнений применялись метод Фурье и метод разложения в ряд по малому параметру (размеру  $p-n$ -перехода). Однако в данной модели при расчете погрешностей не учитывался дрейф носителей, возникающий из-за наличия продольного поля.

Целью данной работы является анализ влияния дрейфа неосновных носителей, генерированных световым сигналом, на погрешность измерения положения медианы одиночного светового пятна. Так же как в [2], не используя решения полного дифференциального уравнения в многосвязной  $n$ -области, попытаемся оценить влияние продольного поля прибора на точность координатоуказания в совокупности с электрофизическими параметрами мультискана.

Как известно [3], при работе мультискана в координатоуказательном режиме происходит сравнение фототоков справа и слева от нулевой эквипотенциали, определяющей положение весового центра светового пятна, причем сравниваемые фототоки возникают в разных изолированных слоях прибора в тех областях, где  $p$ - $n$ -переходы находятся в закрытом состоянии. Естественным вопросом в этом случае является соответствие между центром тяжести пространственного распределения фотонов в оптическом сигнале и центром тяжести распределения фототоков  $p$ - $n$ -переходов. Линейное распределение напряжения по делителю приводит к существованию в одном из изолированных слоев прибора продольного электрического поля, вызывающего дрейф носителей заряда, генерируемых световым пятном (область II). В другом изолированном слое, содержащем общую шину, продольное электрическое поле отсутствует и на носители действуют только диффузионные силы (область I). Если диффузионное растекание носителей можно предполагать симметричным относительно центра светового пятна, то наличие дрейфовой составляющей приводит к искажению симметричности распределения. Таким образом, в мультискане существуют факторы, нарушающие симметрию распределения неосновных носителей и фототоков относительно распределения светового пятна.

Для оценки влияния указанных выше факторов рассмотрим распределения неосновных носителей, генерированных световым сигналом, по дискретным  $p$ - $n$ -переходам мультискана с учетом наличия или отсутствия электрического поля в изолированных слоях, содержащих резистивный делитель или общую шину соответственно. Из уравнений диффузии неосновных носителей, генерированных сигналом в виде  $\delta$ -функции, для двух изолированных областей мультискана, в одной из которых действует продольное электрическое поле, можно получить распределения концентраций неосновных носителей в следующем виде (будем считать, что световой сигнал является  $\delta$ -функцией в точке  $x = 0$  и при отсутствии внешнего поля в точке  $x = 0$  концентрация генерируемых неосновных носителей равна  $p_0$ ) при наличии продольного электрического поля, если  $x > 0$ :

$$p(x) = \frac{2L_D p_0 e^{-x/L_1}}{\sqrt{L_E^2 + L_D^2}}; \quad (1)$$

если  $x < 0$

$$p(x) = \frac{2L_D p_0 e^{x/L_2}}{\sqrt{L_E^2 + L_D^2}};$$

при отсутствии продольного поля если  $x > 0$

$$p(x) = p_0 e^{-x/L_D};$$

если  $x < 0$

$$p(x) = p_0 e^{x/L_D}, \quad (2)$$

где  $D_p$  — диффузионная длина дырок,  $\tau_p$  — время жизни дырок,  $\mu_p$  — подвижность дырок,  $E$  — напряженность приложенного электрического поля,  $L_D = \sqrt{D_p \tau_p}$ ,  $L_E = \tau_p \mu_p E$ ,

$$L_1 = \frac{2L_D^2}{\sqrt{L_E^2 + 4L_D^2} + L_E}, \quad L_2 = \frac{2L_D^2}{\sqrt{L_E^2 + 4L_D^2} - L_E}.$$

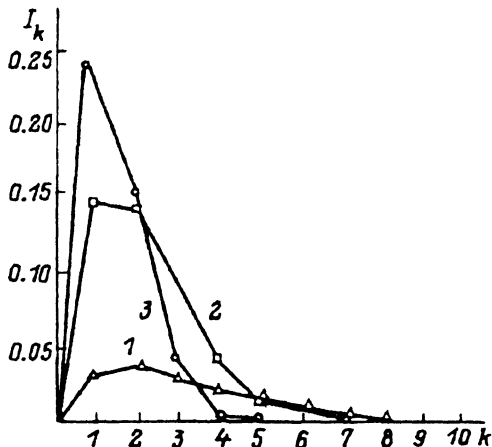


Рис. 1. Распределение фототоков по  $p$ - $n$ -переходам мультискана для различных значений продольного электрического поля.  
 1 — 1, 2 — 5, 3 — 10 В/см.

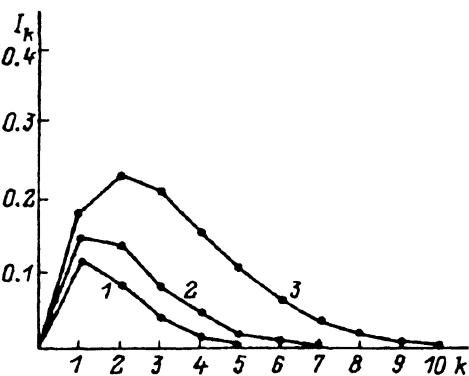


Рис. 2. Распределение фототоков по  $p$ - $n$ -переходам мультискана для различного времени жизни неосновных носителей.  
 1 —  $5 \cdot 10^{-7}$ , 2 —  $10^{-6}$ , 3 —  $10^{-5}$  с.

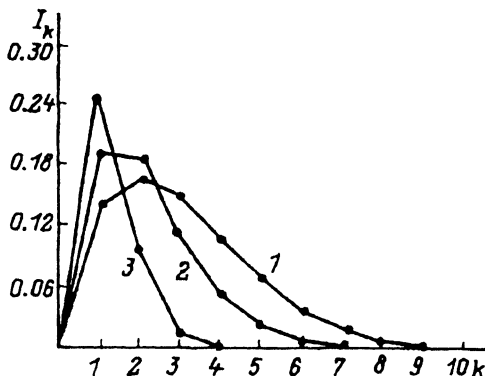


Рис. 3. Распределение фототоков по  $p$ - $n$ -переходам мультискана для различных значений технологического шага мультискана при  $E = 5$  В/см.  
 1 — 50, 2 — 30, 3 — 20 мкм.

В координатоуказательном режиме, когда на резистивном делителе существует линейное распределение напряжения, токи  $p$ - $n$ -переходов определяются не только концентрацией носителей, но и потенциалами самих  $p$ - $n$ -переходов. Известно, что зависимость тока  $p$ - $n$ -перехода от потенциала на нем определяется вольт-амперной характеристикой. Токи  $p$ - $n$ -переходов будем определять путем интегрирования плотностей тока каждого перехода. В этой процедуре будем учитывать, что носители, захваченные предыдущими  $p$ - $n$ -переходами, уже не участвуют в образовании тока последующих  $p$ - $n$ -переходов. При этом воспользуемся последовательной методикой определения концентрации неосновных носителей, участвующих в образовании тока каждого  $p$ - $n$ -перехода. Запишем выражение для относительных значений токов  $p$ - $n$ -переходов с учетом выражения для вольт-амперной характеристики мультискана. Относительные значения токов  $p$ - $n$ -переходов

в областях I и II соответственно равны для области I

$$I_N^I = \frac{p_N^I}{p_0} \exp(-Nl/L_D) \operatorname{th}(Nl/A) 2 \operatorname{sh}(\Delta l/L_D), \quad (3)$$

где

$$p_N^I = p_{N-1}^I \left(1 - \operatorname{th}((N-1)l/A)\right) \left(\exp(l/L_D) - \exp((l-\Delta l)/L_D)\right);$$

для области II

$$I_N^{II} = \frac{p_N^{II}}{p_0} \exp(-Nl/L_E) \operatorname{th}(Nl/A) 2 \operatorname{sh}(\Delta l/L_E), \quad (4)$$

где

$$p_N^{II} = \frac{p_{N-1}^{II} 2L_D}{\sqrt{L_E^2 + L_D^2}} \left(1 - \operatorname{th}((N-1)l/A)\right) \left(\exp(l/L_E) - \exp((l-\Delta l)/L_E)\right).$$

Здесь  $l$  — расстояние между центрами  $p$ - $n$ -переходов,  $N$  — номер  $p$ - $n$ -перехода (отсчет ведется от центра освещенной области),  $A = 4kT/q$  — ширина переходной зоны вольт-амперной характеристики. Данные зависимости (3) и (4) позволяют оценить распределение фототоков по  $p$ - $n$ -переходам в зависимости от величины диффузионной длины неосновных носителей в фотоприемном материале, технологического шага структуры и величины продольного электрического поля. На рис. 1 представлены расчеты распределения фототоков по

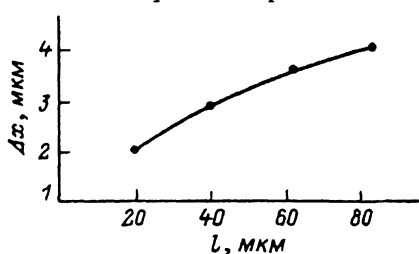


Рис. 4. Зависимость величины систематической ошибки от технологического шага мультискана при  $E = 5$  В/см.

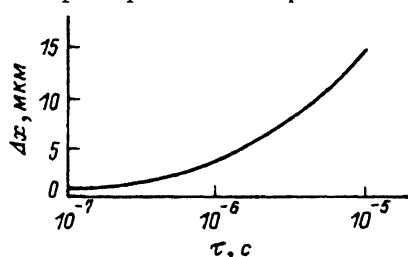


Рис. 5. Зависимость величины систематической ошибки от времени жизни неосновных носителей при  $E = 5$  В/см.

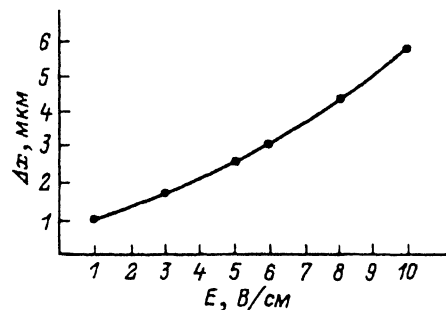


Рис. 6. Зависимость величины систематической ошибки от напряжения, действующего в области, содержащей резистивный делитель.

$p-n$ -переходам при различной величине электрического поля. Видно, что в рассматриваемом случае с увеличением электрического поля происходит сужение области распределения фототоков. Расчеты значений токов  $p-n$ -переходов для различных значений диффузионной длины и технологического шага представлены на рис. 2 и 3. Увеличение диффузионной длины носителей приводит к расширению распределения фототоков по  $p-n$ -переходам и сдвигу максимума значения фототока в область  $p-n$ -переходов с большим номером.

В режиме координатуказания положение эквипотенциали, разделяющей фоточувствительные области прибора, устанавливается так, что сумма токов слева и справа от нее равна между собой. Так как рассмотренные нами распределения токов по  $p-n$ -переходам несимметричны, то происходит смещение эквипотенциали в сторону большего значения фототока. Оценим это смещение, поскольку при измерении координаты центра светового пятна такое смещение является важным параметром, характеризующим систематическую ошибку координатного отсчета. Величина смещения  $\Delta x$  определялась из соотношения

$$\sum_k I_N^I \operatorname{th}((Nl - \Delta x)/A) - \sum_k I_N^{II} \operatorname{th}((Nl + \Delta x)/A) = 0. \quad (5)$$

Проводились расчеты сдвига нулевой эквипотенциали  $\Delta x$  в зависимости от технологического шага мультискана  $l$ , диффузионной длины  $L_D$  и внешнего электрического поля. Полученные расчеты представлены на рис. 4–6. Видно, что с увеличением технологического шага происходит рост систематической ошибки измерения. Увеличение диффузионной длины также приводит к увеличению ошибки из-за усиления несимметрии распределения фототоков по  $p-n$ -переходам. При увеличении напряжения, прикладываемого к резистивному делителю, с одной стороны, увеличивается внешнее электрическое поле, действующее на носители заряда, с другой стороны, происходит пространственное сужение действующей апертуры прибора. Сужение апертуры несколько замедляет рост сдвига нулевой эквипотенциали, компенсирующий разбаланс токов по  $p-n$ -переходам, вызванный электрическим полем.

Следует отметить, что величина ошибки определения координаты энергетического центра светового пятна инвариантна относительно его положения на фотоприемной поверхности мультискана вплоть до краевых областей, на которых происходит искажение апертурной характеристики прибора. В этом смысле выявленная ошибка представляет собой систематическую погрешность, стабильную при заданной величине напряжения, приложенного к резистивному делителю фотоприемника, что легко учитывается при снятии калибровочной характеристики мультискана.

#### Список литературы

- [1] Юферев В.С., Романова Е.П., Подласкин Б.Г. // ЖТФ. 1992. Т. 62. Вып. 10. С. 126–137.
- [2] Подласкин Б.Г., Романова Е.П., Токранова Н.А., Юферев В.С. // ЖТФ. 1993. Т. 63. Вып. 1. С. 131–140.
- [3] Берковская К.Ф., Кириллова Н.В., Подласкин Б.Г. и др. // Научно-технические достижения. М., 1992. Вып. 2. С. 22–25.