

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение ВАХ лавинного фотодиода с отрицательной обратной связью

Автор работы: Хоружий Кирилл
Кузнецова Арина
Евгений Дедков
Александр Двуреченский
Яушев Михаил

От: 24 ноября 2021 г.

Цель работы

1. Измерение ВАХ лавинного фотодиода с отрицательной обратной связью.
2. Определение емкости ячейки C и пробойного напряжения U_{br} лавинного фотодиода.

Оборудование

Источник-измеритель Keithley 236 (1), лавинный фотодиод SiPM (2), светоизолированный бокс (3) со светодиодом (4), подключенный к регулируемому источнику напряжения (5).

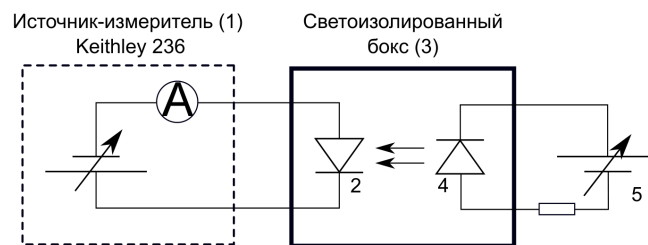


Рис. 1: Схема установки для измерения световых и темновых вольт-амперных характеристик фотодиода

Ход Работы

Темновая ВАХ. Измерим темновую ВАХ фотодиода, данные приведены в таблице 1, см. рис. 2.

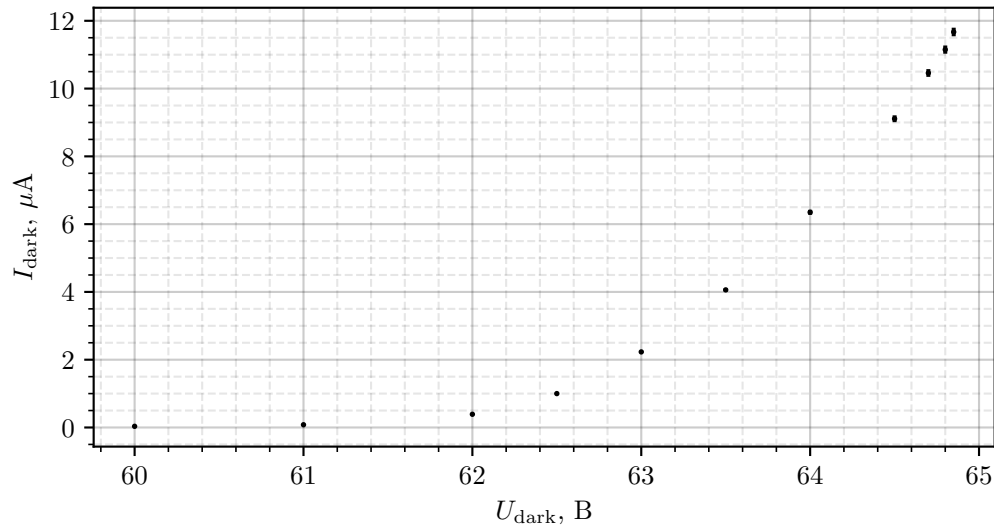


Рис. 2: Темновая ВАХ фотодиода

Настройка светодиода. Настроим интенсивность светодиода так, чтобы

$$I_{\text{light}}(20 \text{ V}) \approx I_{\text{dark}}(20 \text{ V}).$$

Для этого сначала было подано напряжение в 20 В на фотодетектор в обратном смещении, затем плавно увеличивалось напряжение на светодиоде. Значение 20 В выбрано потому что оно соответствует полному формированию ОПЗ (области пространственного заряда). Коэффициент умножения $M(20 \text{ V}) = 1$.

Световая ВАХ. Измерим световую ВАХ фотодиода, данные приведены в таблице 2, см. рис. 3.

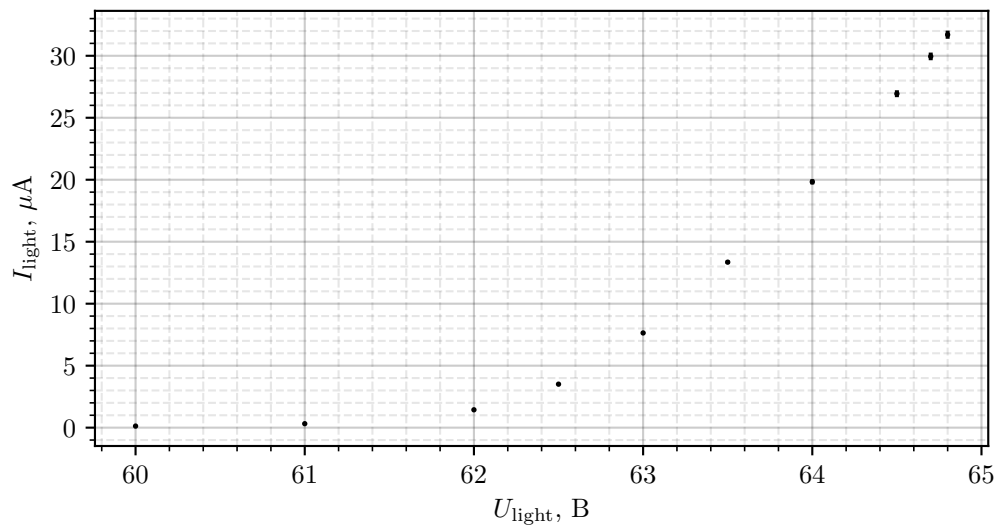


Рис. 3: Световая ВАХ фотодиода

Напряжение U измерялось достаточно точно, чтобы пренебречь погрешностью. Погрешность измерения тока I была взята за 1% в связи с нестабильностью измеряемой величины.

Коэффициент лавинного умножения. Значение фототока может быть найдено, как

$$I_{\text{photo}}(U_i) = I_{\text{light}}(U_i) - I_{\text{dark}}(U_i).$$

Тогда коэффициент лавинного умножения:

$$M(U_i) = I_{\text{photo}}(U_i) / I_{\text{photo}}(20 \text{ В}),$$

данные приведены в таблице 3. Построим зависимость $M(U_i)$, см. рис. 4.

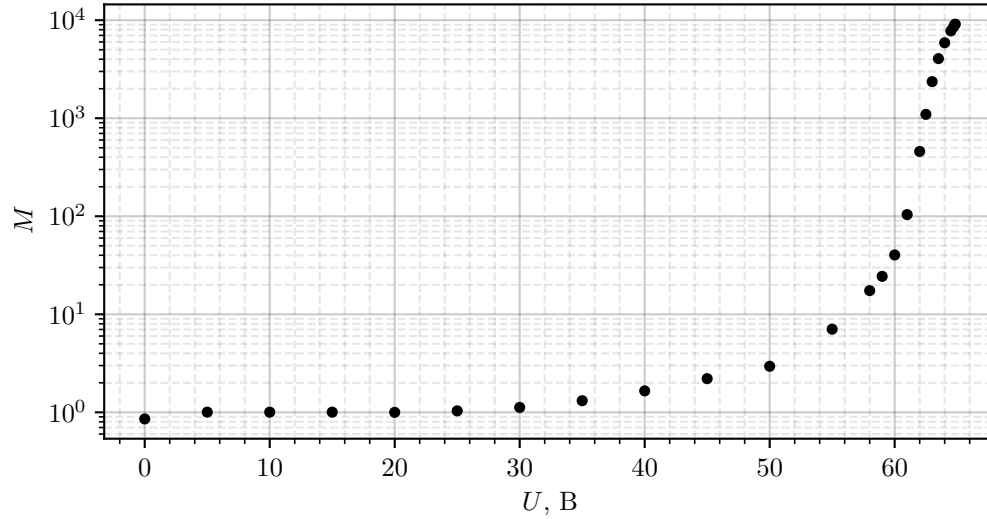


Рис. 4: Зависимость коэффициент лавинного умножения $M(U)$

Зависимость коэффициента лавинного умножения SiPM от перенапряжения в гейгерской области аппроксимируется линейной функцией:

$$M(U) = \frac{C(U - U_{\text{br}})}{e}.$$

Построим лавинный участок $M(U)$ в линейном масштабе (см. рис. 5) и аппроксимируем линейной функцией $M(U) = aU - b$.

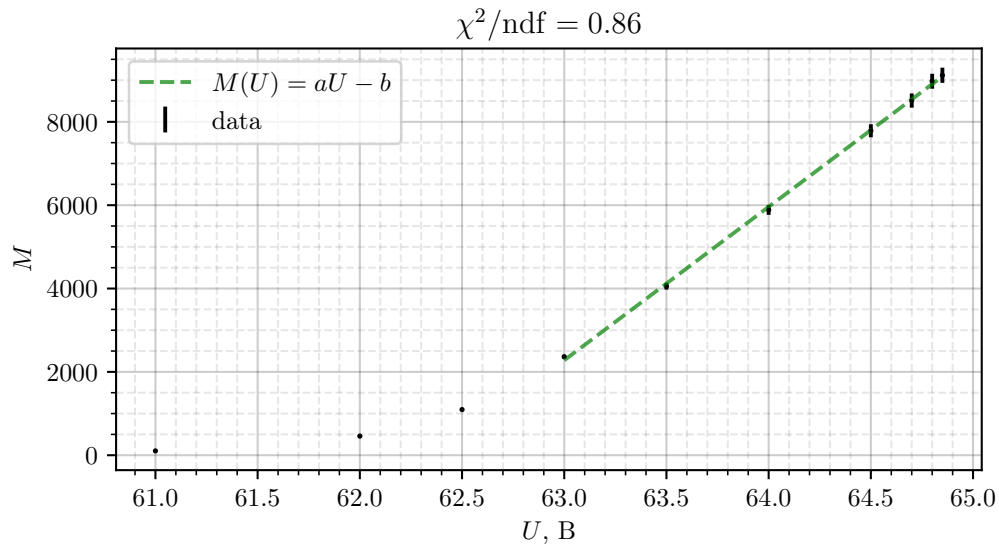


Рис. 5: Лавинный участок зависимости $M(U)$

По МНК находим коэффициенты аппроксимации:

$$a = (368 \pm 4) \times 10 \text{ В}^{-1}, \quad b = (230 \pm 3) \times 10^3.$$

Из которых находим значения емкости ячейки и пробойное напряжение U_{br} :

$$C = e \cdot a = (0.59 \pm 0.02) \text{ фФ}, \quad U_{\text{br}} = \frac{b}{a} = (62 \pm 2) \text{ В}.$$

Выводы

Измерене темновой и световой ВАХ фотодетектора. Найдены эффективные значения U_{br} и C :

$$C = (0.59 \pm 0.02) \text{ фФ}, \quad U_{\text{br}} = (62 \pm 2) \text{ В.}$$

Характерная эффективная емкость всего фотодетектора ~ 20 пФ, а значит всего ячеек в детекторе ~ 34 тысяч ячеек. Наблюдаемый линейный участок говорит о стабильности усиления.

Дополнение

Таблица 1: Измерения $I_{\text{dark}}(U)$

U, В	I_{dark} , нА
0.00	0.40
5.00	0.45
10.00	0.51
15.00	0.58
20.00	0.70
25.00	0.87
30.00	1.17
35.00	1.65
40.00	2.50
45.00	4.15
50.00	8.16
55.00	13.1
58.00	15.8
59.00	21.8
60.00	34.7
61.00	80.7
62.00	390
62.50	1000
63.00	2230
63.50	4060
64.00	6350
64.50	9110
64.70	10460
64.80	11150
64.85	11670

Таблица 2: Измерения $I_{\text{light}}(U)$

U, В	I_{light} , нА
0.00	2.36
5.00	2.75
10.00	2.81
15.00	2.88
20.00	2.99
25.00	3.24
30.00	3.74
35.00	4.66
40.00	6.29
45.00	9.20
50.00	14.9
55.00	29.2
58.00	55.7
59.00	77.6
60.00	127
61.00	319
62.00	1440
62.50	3508
63.00	7640
63.50	13350
64.00	19830
64.50	26940
64.70	29950
64.80	31700
64.85	32550

Таблица 3: Измерения $I_{\text{photo}}(U)$

U, В	I_{photo} , нА
0.00	1.96
5.00	2.30
10.00	2.30
15.00	2.30
20.00	2.29
25.00	2.37
30.00	2.57
35.00	3.01
40.00	3.79
45.00	5.05
50.00	6.76
55.00	16.1
58.00	39.9
59.00	55.8
60.00	92.3
61.00	238
62.00	1050
62.50	2508
63.00	5410
63.50	9290
64.00	13480
64.50	17830
64.70	19490
64.80	20550
64.85	20880

U	M	ΔM
0.00	0.85	0.02
5.00	1.00	0.02
10.00	1.00	0.02
15.00	1.00	0.02
20.00	1.00	0.02
25.00	1.03	0.02
30.00	1.12	0.02
35.00	1.31	0.02
40.00	1.65	0.03
45.00	2.20	0.04
50.00	2.95	0.05
55.00	7.05	0.14
58.00	17.43	0.34
59.00	24.38	0.48
60.00	40.30	0.80
61.00	104.0	2.0
62.00	458.5	9.1
62.50	1095	21
63.00	2362	47
63.50	4056	81
64.00	5886	117
64.50	7786	155
64.70	8510	170
64.80	8973	179
64.85	9117	182

Таблица 4: Зависимость коэффициента умножения от напряжения