



«

»

22 «

«

»»

II

• • , • • , • •

2007 .

53.087.5

: . - . . . .

- ,,2007

" ,

"

III

<b>4.1</b>		<b>5</b>
4.1.1		5
4.1.2		6
4.1.3		7
4.1.4		9
<b>4.2</b>		<b>15</b>
4.2.1		15
4.2.1.1		16
4.2.1.2		17
4.2.1.3		17
4.2.1.4		21
4.2.2		21
4.2.2.1		23
4.2.2.2		26
4.2.2.3		27
4.2.2.4		27
4.2.2.5		28
4.2.3		30
4.2.3.1		30
4.2.3.2		33
4.2.3.3	, , ,	34
4.2.4	( )	39
	( )	
<b>4.3</b>		<b>44</b>
4.3.1		44
4.3.2		45
4.3.3	( )	52
4.3.4		53

<b>4.4</b>	<b>"</b>	<b>"</b>	<b>55</b>
4.4.1			55
4.4.1.1			58
4.4.1.2			59
4.4.2			59
4.4.2.1			59
4.4.2.2			60
4.4.3			64
4.4.4			64
			<b>68</b>



$10^{-10} / \tau^{1/2}$ ,

**ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ ( $\tau$ )**

$1/f$ ,  $\tau$

$0,05$ ,  $10$

**4.1.2**

$\Delta T = T_1 - T_0$ .

$( \quad )$

$( \quad )$

$$W = S\sigma(T_1^4 - T_0^4) + SA(T_1 - T_0) + B(T_1 - T_0). \quad (4.1.1)$$

$W$  – ,  
 $S$  – ,  
 $\sigma, A, B$  –

$$\Delta T = T_1 - T_0, \quad (4.1.1)$$

$$W \approx (4S\sigma T^3 + SA + B)\Delta T = \beta\Delta T, \quad (4.1.2)$$

$$\beta = 4S\sigma T^3 + SA + B$$

$$\Delta T = W/\beta.$$

$$\tau = m/\beta, \quad (4.1.3)$$

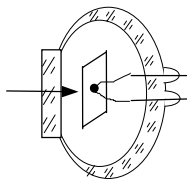
$$\tau = m/\beta, \quad (4.1.3)$$

### 4.1.3

$$V_t = E_t \Delta T = E_t W/\beta, \quad (4.1.4)$$

$E_t$

$E_t$  ,  
 / .  $E_t$  , 1  
 $E_t$  - (100  
 / ) - (60 / ).  
 / ), - ( CuO - Cu<sub>2</sub>O  $E_t = 1900$



. 4.1.1

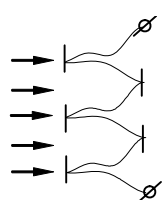
$2 - 20$  / .  
 ( $\sim 10^{-10}$ ) - ,  
 $10^{-2} \dots 10^{-3}$  K  
 1000...100

$1/f$  ( $f$  - ).

" "



. 4.1.2. ( . . . ).  
 ,  
 :  
 .  
 ,  
 .  
 . 4.1.2. - ( - ) -  
 - ( - ) -  
 ,  
 .



The diagram shows a four-stage pipeline. Each stage consists of a PMOS transistor and an NMOS transistor. The gates of the PMOS transistors are connected to the gates of the NMOS transistors in the previous stage. The gates of the NMOS transistors are connected to the gates of the PMOS transistors in the next stage. The output nodes are marked with a circle containing a cross.

),  
 , ( -  
 ( . 4.1.2).  
 ,  
 ,  
 ( . . . ) ;  
 -

**4.1.4**

. . . ,  
 ,  
 :  
 ,  
 :

$$r_{ph} = r(1 + \alpha\Delta T) = r(1 + W\alpha/\beta), \quad (4.1.5)$$

$r$  —  
 $r_{ph}$  —  
 $\alpha$  —

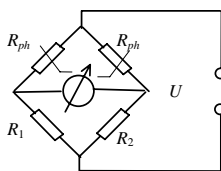
$U$  —

$R$ ,

$$U_{ph} = r_{ph}U/(R+r) \cong r(1+W\alpha/\beta)U/R = r(1+W\alpha/\beta)I. \quad (4.1.6)$$

$$W\alpha/\beta \ll 1$$

$U, R, I, \beta, r$



4.1.3.

4.1.3),

$$U_{ph}^{\sim}$$

$$U_{ph}^{\sim} = IrW\alpha/\beta. \quad (4.1.7)$$

**Несколько слов о конструкции реальных болометров, выборе материалов и величины питающего тока.**

, ,  $U_{ph}$  ,  
 , ,  $\alpha$  ,  $( , , )$  ,  
 ,  $(4...5) \cdot 10^{-3} \text{ }^{-1}$  ,  
 , " " - ,  
 ,  $\alpha$  ,  
 ,  $\alpha$  " " ,  
 , - ,  
 , , ( ,  
 ), , ,  
 , ( ,  
 ,  $\alpha$  , , ,  
 ) ,  
 ( ) ,  
 :

$$\sigma \approx T^{3/2} \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right) \quad (4.1.8)$$

$$\frac{\Delta}{\Delta / 2}$$

**r**

$$(\dots)$$

$$(\dots)$$

$$\lambda \cong 1/\beta) - \rho$$

$$\alpha, \quad \rho$$

$$\rho = 1,2 \cdot 10^{-4}$$

$$0,016 \cdot 10^{-4}$$

$$0,017 \cdot 10^{-4}$$

*I.*

$$T_1^4 - T_0^4 \cong 4T^3 \Delta T. \quad (4.1.9)$$

,  
 ,  
 ,  
 ,  
 ) " " ( ,  
 4-10 );  
 ) ( , 10 );  
 ) - , " "  
 ;  
 ) ,  
 ( 1-0,1 ).

-  
 -  
 ,  
 ,  
 - ( 200<sup>-1</sup>)  
 .

,  
 [1]  
 ,

- 0,2×2×70 ,  
 - 265  
 20

. 10 . -  
 ) :  
 ) , - -  
 ; )  
 ) , ( ,  
 ). - -  
 , -  
 ) - -  
 - ... , -  
 ( )  
 1. -  
 -  
 :  
 2. , -  
 , ,  
 , .

## 4.2 ФОТОЭЛЕКТРОННЫЙ УМНОЖИТЕЛЬ

( ) –

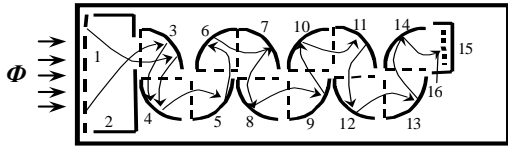
$10^{-8} \dots 10^{-10}$  , ...  $10^{10} \dots 10^{12}$

(0,5...2,5 )

1930–34 ..

### 4.2.1

. 4.2.1



. 4.2.1 (

[2]).

1,  
14 – 16,

1 – 3,

3 – 14

$\Phi$

3.

1.

1

коэффициентом вторичной эмиссии

$\sigma$ .

**4.2.1.1 Фотокатод**

... ( ... ),  
...

**ПОЛУПРОЗРАЧНЫЙ ФОТОКАТОД,** ... 4.2.1. " ( ... ),  
250 , 5 50 .  
" "  
( ... ).

**МАССИВНЫЙ ФОТОКАТОД,**

**ПОЛУПРОЗРАЧНЫМ**



### 4.2.1.2 Катодная камера

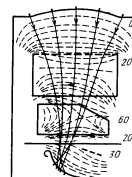
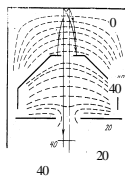
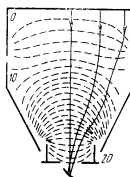
ЭФФЕКТИВНОСТЬ, . . .

ОСТРОТА ФОКУСИРОВКИ,

РАЗБРОС ВРЕМЕН ПРОЛЕТА ЭЛЕКТРОНОВ,

4.2.2.4, . 27.

. 4.2.2



. 4.2.2

( . . . ).

-87 ( . 4.2.2 ).

### 4.2.1.3 Динодная система

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ,** . . .

*зийных системах*

**РАЗБРОС ВРЕМЕН ПРОЛЕТА ЭЛЕКТРОНОВ**

**ВЕЛИЧИНА ГРАДИЕНТА ПОТЕНЦИАЛА**

**ОСТРОТА ФОКУСИРОВКИ,**

**РАБОЧАЯ ПЛОЩАДЬ,**

**ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ**

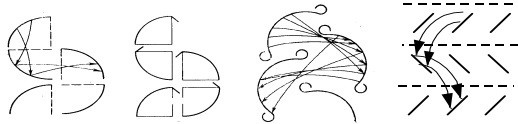
**В КОРОБЧАТОЙ СИСТЕМЕ ( . 4.2.3 , )**

(  $1/4$  ),

(~95%)

(SbCs BeO CuBe),

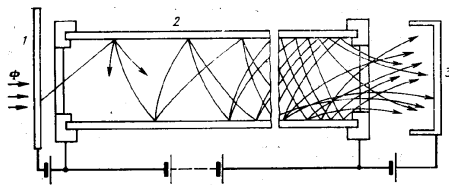
. 4.2.3.



**КОРЫТООБРАЗНЫЕ ДИНОДЫ ( . 4.2.3 ) –**

**ЖАЛЮЗИЙНАЯ СИСТЕМА ( . 4.2.3 )**

1



4.2.4

(1),

(2)

(3).

**ДИНОДА**

**НЕПРЕРЫВНОГО**

4.2.4),

( 1:50)

10-20

20...40

1000...2000

1<sup>2</sup>.  
 0,5-2  
 10<sup>6</sup>

#### 4.2.1.4 Анодный блок

( ) .

#### 4.2.2

—  
 ,  
 ,  
 ,  
 ,  
 ( ) ,  
 kT. ) 4 . ( ,  
 ,  
 ~ 0,025 . kT, 1 . (290 )



100

#### 4.2.2.1 Форма сигнала на выходе ФЭУ

$$\sigma ( \dots ) \quad n: = \sigma^n.$$
$$= 10^5 - 10^8.$$

$$\delta t \approx (0,5 \dots 10)$$

$$\delta t \approx 0,375 \quad ( \dots ) 0,175$$

10  
4.2.5.

импульса,

$$\delta t,$$

**одноэлектронного**

( ) – **только** , -  
 , n- , -  
 ,  $\zeta_n$  ,  
 $\sigma$   $\zeta_{n-1}$  ,  
 (n-1)- . ,  
 $\zeta_{n-1}$  ,  
 (n+1)-  $\xi_i$  ,  
 $\zeta_{n-1} = k$   $\zeta_n = \sum_{i=1}^k \xi_i$  .  
 ( .. , [3], §14.4), -  
 $\xi_i$   $\mathbf{D}(\xi)$  ,  $\zeta_n$   $(\xi) = \sigma$   
 $(\zeta_n) = \sigma^n$

$$\mathbf{D}(\zeta_n) = \mathbf{D}(\xi) \frac{\sigma^n (\sigma^n - 1)}{\sigma(\sigma - 1)} . \quad (4.2.1)$$

$$p(\xi = m) = \frac{\sigma^m e^{-\sigma}}{m!} . \quad (4.2.2)$$

$$\Delta_n = \sqrt{\mathbf{D}(\zeta)} = \sigma^n , \quad (4.3.1)$$

$n$   $\Delta_\infty = (\sigma - 1)^{-1/2}$   $\sigma = 3 \dots 6$   
 0,7...0,45.

– сквозной пролет , n-  
 (n+1)- ,  
 $\sigma$



– обратная связь

– ограничение амплитуды пачки

– разброс времен пролета

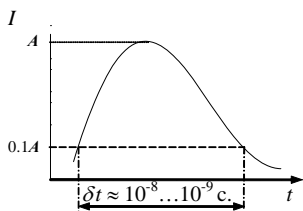
$\sigma$ ,

$$\sigma = 3 \dots 6$$

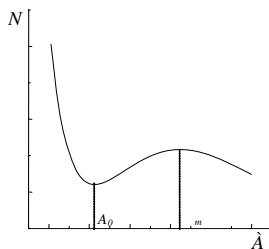
$$\exp(-\sigma) = (5 \dots 0,25)\% \quad -130$$

$$\sigma = 30.$$

$$\sigma = 30$$



4.2.5.



4.2.6.

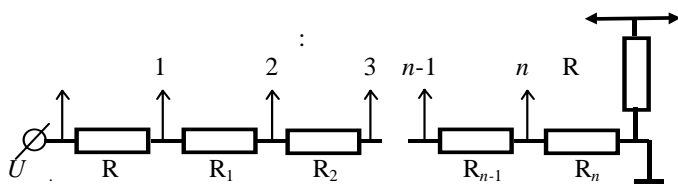




**амплитудный анализатор импульсов,**

100.

**4.2.2.5 Питание ФЭУ**



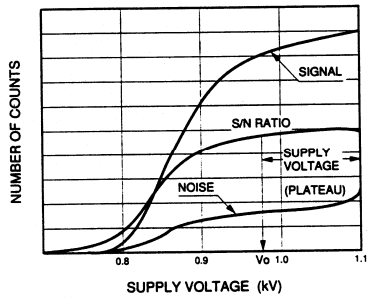
4.2.7.

$$U = -(1 \dots 2,5)$$

4.2.7.

4.2.7

$10^{-4} - 10^{-5}$ .



4.2.8

" "

*Hamamatsu.*

( 4.2.6 4.2.6 . 25)

( )

0,

" "

... , " " . 4.2.8. (noise, (signal) ) , -

### 4.2.3

#### 4.2.3.1 Спектральная характеристика

4.2.1

<i>Материал</i>	<i>Область пропускания</i>
( Fe)	$\lambda > 320$
, MgF <sub>2</sub>	$\lambda > 180 \div 200$
	$\lambda > 150$
	$\lambda > 110$

... , 4.2.1. (400 ÷ 700 )

( ) 1. ,

MgF<sub>2</sub> , .

1

185 .

( LiF – 105 ),  
 $MgF_2$  ,  
 $h\nu = 11$  (112 ).

– , ,  
 " " ,  
 1  
 ( ).

145 ,  $\lambda > 160$

**Чувствительность фотокатода**

$Y(\hbar\omega)$   
 $\lambda$  , ( )

$Y(\hbar\omega)$   $\lambda$

$\hbar\omega \geq \hbar\omega_0 = I_{ph}$ ,

**порогом, красной границей фотоэффекта, фотоэлектрической работой выхода.**

$Y(\hbar\omega)$  ,  $\exp[C(\hbar\omega - \hbar\omega_0)]$ . C

**фотокатоды**

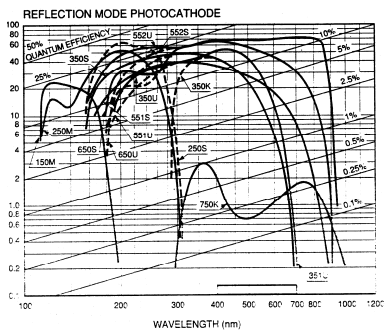
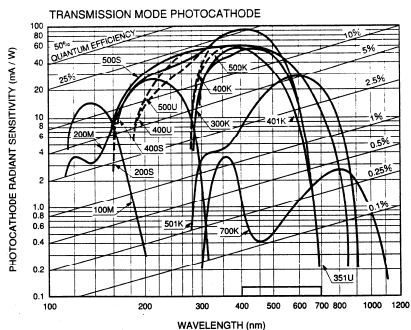
**с отрицательным средством к электрону –**

$Y(\hbar\omega)$

0,25,

4.2.9.

. 4.2.9.



. 4.2.9.

Hamamatsu<sup>1</sup>,

( ) ( ).

**спектральная чувствительность фотокатода – квантовый выход, энергии**

-130 (SbCsK-

- 400 ÷ 420 )

/ 200 – 650 , -

410 ( $\hbar\omega = 3,024$  )

0,03 / ,

$Y(3) = 0,091.$

токатода ( , ) ,

- чувствительность фо-

/ .

. 4.2.9

Hamamatsu,

MgF<sub>2</sub> –

:

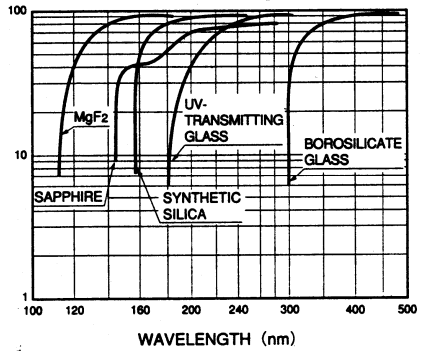
( , 1,2 );

<sup>1</sup>



- - ( 650 – 850 );  
 - " - " " ,  
 CsJ- MgF<sub>2</sub> 112÷210  
 (11,0 – 5,9 ), 210  
 1% ( -154).

4.2.10



4.2.10.

токи

темновые

$$\exp\left(-\frac{\Phi}{kT}\right),$$

Hamamatsu.

4.2.3.2 Анодная чувствительность и коэффициент усиления

( )

анодной чувствительности

$$Y_a[A/\ ] = I[A]/ [ \ ] \quad (4.2.3)$$

10, 100, 1000 / .

*спектральной анодной чувствительности.*

$\sigma$ ,

$$\sigma_0 = 50 \div 150$$

$$\sigma(E_0) \cong a + b \cdot E_0,$$

$\sigma$

#### 4.2.3.3 Темновой ток, шум, пороговая чувствительность, обнаружительная способность

4.2.11

$I -$

$I$

$II -$

III –

, I

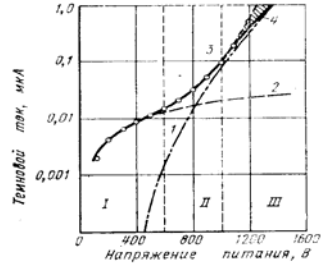
. 4.2.11.

4, )

1 –

2 –

3 –



I

(U).

. 4.2.11

I II

Автоэлектронная эмиссия (

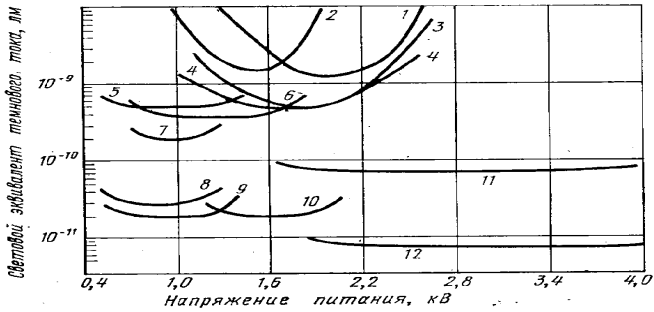
) –

, ... ~ (10<sup>6</sup> ÷ 10<sup>7</sup>)

200

$Y$  [A/ ],  
 световым эквива-  
 лентом темного тока,  $\Phi$  :

$$[\ ] = I \text{ [A]} / Y \text{ [A/ ]} \quad (4.2.4)$$



4.2.12.

1 -	-58;	4 -	-81;	7 -	-85;	10 -	-79,
2 -	-55;	5 -	-19;	8 -	-17,	11 -	-91,
3 -	-54;	6 -	-51;	9 -	-64;	12 -	-92.

4.2.11, II.

4.2.12

(U )

$\Delta f$ .

$$U^2 \sim \Delta f.$$

$f_0$ ,

$f_0$

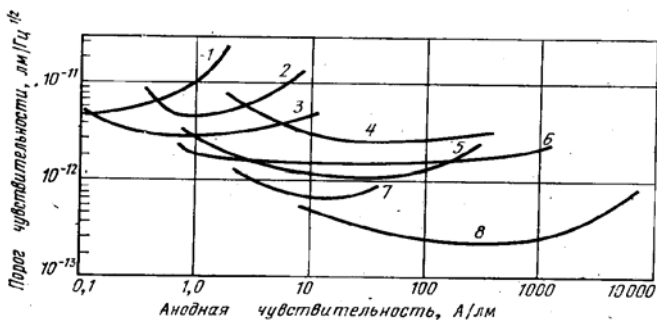
$\Delta f$ ,

$$(\Delta f)^{1/2}.$$

порог

чувствительности

$$F [ \dots^{-1/2} ] - 1$$



4.2.13.

- |     |       |     |      |     |           |     |                 |
|-----|-------|-----|------|-----|-----------|-----|-----------------|
| 1 - | -26;  | 3 - | -20; | 5 - | -51;      | 7 - | -69;            |
| 2 - | -31 ; | 4 - | -27  | 6 - | -17, -18; | 8 - | -64, -79, -106. |

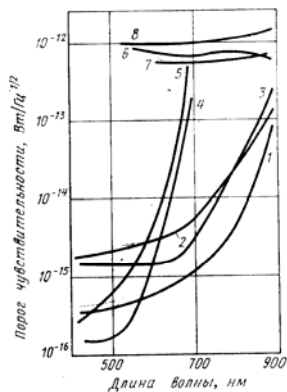
4.2.13

$F$ , порог чувствительности при постоянном световом фоне  $F$  [  $\cdot^{-1/2}$ ].

( ),

$- F_{\lambda}(\lambda)$  [  $\cdot^{-1/2}$ ].

4.2.14



4.2.14.

- 1 – -70;
- 2 – -51;
- 3 – -88;
- 4 – -64;
- 5 – -17, -18;
- 6 – -62;
- 7 – -22;
- 8 – -28.

4.2.2.2 . 26 . 4.2.6),

$$j = \frac{I_T}{S} = AT^2 \exp\left(-\frac{\Phi_T}{kT}\right), \quad (4.2.5)$$

$S = 120$  / (  $^2$   $^2$  ), ;  $A$  – ( );  $T$  – ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ РАБОТА ВЫХОДА ( ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ).







$10^5$  ) ( -  
 , 15 .  
 $10 \dots 20$  , " ( -  
 $10^5$  ) - 50%,  $1 \cdot 2$  -  
 $10^4$  .  
 $10^6 - 10^7$  ,  
 " " ,  
 $100 \dots 1000$  ,  
 $\sim 10^4$  ,  $\dots - 10^6 \div 10^7$  .  
 - 1,5 .  
 $(\lambda < 250)$  .  $\sim 5$

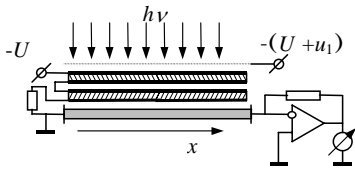
4.2.15

,  
 $\sim 0,5$   
 0,5,  
 " " ,  
 .

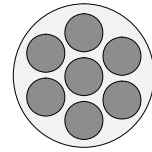
1000 / .

30 - 50 .

$x$ ,



. 4.2.15.



. 4.2.16.

( ) .

. 4.2.15

$$/A_0 = x/L,$$

;  $L$  -

,  $x$  -

( )

, , . 4.2.16. , , . -

### 4.3 ЭМИССИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

#### 4.3.1

$$j = AT^2 \cdot \exp(-\Phi_t/kT), \quad (4.3.1)$$

$120 \text{ K}$  ( $\sim 2^2$ ),  $1,5 - 2$  ( $= 295$ ),  $2,6 \cdot 10^{-19} \text{ A}^{-2}$   
 $7,6 \cdot 10^{-28} \text{ A}^{-2}$ ,  $\dots 1,6 \cdot 4,8 \cdot 10^{-9}$   
 $1 \text{ A}^{-2}$  ( ) - 1,

(250 – 255) K,

4-6 <sup>2</sup>

$$1,5kT, \dots 0,037$$

*каждый термоэлектрон проходит весь процесс умножения так же, как и фотоэлектрон и дает на выходе сигнал, неотличимый от полезного.*

### 4.3.2

1. **Закон Столетова.**

)

2. **Закон Эйнштейна.**

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = \hbar\omega - \Phi_{ph}, \quad m \quad v_{\max}$$

$$\hbar\omega_0 = \Phi_{ph}$$

$\hbar\omega_0$

$$\lambda = 2\pi c/\omega_0$$

3.

$10^{-14}$

ВЫХОДОМ ФОТОЭМИССИИ  $Y$ , ) КВАНТОВЫМ  
 ( ) -  $Y(\hbar\omega)$

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РАБОТОЙ ВЫХОДА  $ph$ .

( , , , ... )

( ) , 1.

δ ( )

$$L: \delta p = 2\pi\hbar/L.$$

( )

$$^2 E_k = p^2/2m^*, \quad \lambda = 2\pi\hbar/p,$$

1

2

$m^*$  ЭФФЕКТИВНОЙ МАССОЙ







v-

**ФУНКЦИЕЙ ФЕРМИ:**

$$f = \frac{1}{1 + \exp[(E - F)/kT]}$$

F-

- F < 0, f 1,

**ПОЧТИ ВСЕ**

, - F > 0, f 0 **ПОЧТИ ВСЕ**

5 - 8

v-

1, ph-

$$\exp(\Delta E_g/kT)$$

.44.

.4.3.2:

1)

hν,

2)

;

1

( ph > 3 ),

3)

$E_c -$  ,  
 $\omega \Delta g$  .  
 V-  
**ФОТОПРОВОДИМОСТЬ.**  
 $E_{k0}$  ,  
 ( . . 4.3.2). ,  $k_0 > A$  ,

4.3.2 ,  
 $k_1 < k_0$  .  
 " " ,  
 $k_1$  ,

$$: E_{k1} = \frac{p^2}{2m} = \frac{p_{\perp}^2}{2m} + \frac{p_{\parallel}^2}{2m} .$$

$$A < \frac{p_{\perp}^2}{2m} = \frac{(p \cdot \cos \alpha)^2}{2m} = E_{k1} \cos^2 \alpha = (A + E_{\text{эак}}) \cos^2 \alpha , \quad (4.3.3)$$

( . . 4.3.3).

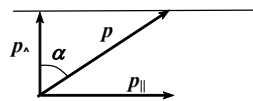
( ) :

$$T = 1 - \sqrt{A/E_{k1}} .$$

$$0 \leq E_{k0} \leq h\nu - \Delta E_g,$$

$$h\nu$$

$$h\nu$$



4.3.3

**КВАНТОВОГО ВЫХОДА**

$$Y(h\nu)$$

$$h\nu$$

$$Y(h\nu)$$

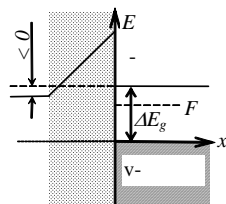
— с отрицательным средством,

$$(4.3.4)$$

(Cs,

)  
, BaO.

$$4.3.4$$



4.3.4

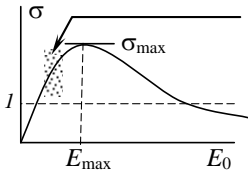
$$1 \quad \text{---} \quad = -eU \text{---}$$

$Cs^+$  BaO,

4.2.9, . 32,

### 4.3.3

( )



200 ,

. 4.3.5

" "

$\sigma$

$0^{\circ}$

( 1 ),

$10^5$   $^{-1}$ , . .

- 100 .

50÷150 ,

(1÷10 )

(" ")

**КОЭФФИЦИЕНТОМ ВТОРИЧНОЙ ЭМИССИИ**

$\sigma$ .

$\sigma$

. 4.3.5.

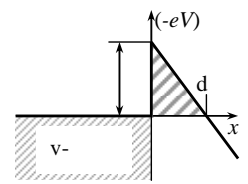
6:7  $\sigma$  ,  
 $(E_a < 0, \dots$   
 $\sigma = 20 \div 30$  ( ,  
 $-130$ ).

$\sigma^n$  ,  
 $10^5 \div 10^8$  ,  $\sigma = 3,5$   $n = 13$  ,  $= 1,2 \cdot 10^7$  .

K

### 4.3.4

4.3.6



4.3.6

,  $U = -eV$

$x < 0$ .  
 $x = d$

1 , -

**КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ,**

$\exp(-k_2x)$ ,  $k_2$  - , . , -

" " , " "

- -

$5 \cdot 10^7$  / . - -  $1$  , ... 4-5 . -  
( ) . -

. 4.2.11, . 35. III -

$\exp(-Const \cdot \sqrt{V})$ , V -

#### 4.4 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА "ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРОННОГО УМНОЖИТЕЛЯ"

##### 4.4.1

, — —  
 , — —  
 : \*<sup>1</sup> ( , )  
 \*.  
 \*.  
 \*.  
 , — —  
 , — —  
 :  
**спектр чувствительности**  
**абсолютных величин**  
 , — —  
**соотношения чувствительности**  
**относительном или**  
**абсолютном**  
 , — —  
**соотношения интенсивностей**  
 , — —  
 - ( , ,  
 . ). ,  
 , — —  
 , — —  
 , — —  
 ( . ) **спектр относительной**  
**чувствительности**  
 , — —  
 1 ( \* )  
 , — —  
 , — —  
 4.3. " — "

1.

( )

\*

\*

( )

**\*. Очень важно правильно выбрать рабочую точку – напряжение питания, при котором достигается максимум отношения сигнал/шум.**

1/f.

\*

1





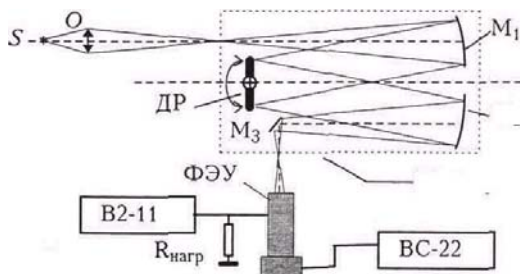
1. ;
2. - 2, - ( . .
- 4.4.1, 4.4.2);
3. ;
4. , -

**4.4.1.1 Порядок выполнения экспериментальной части работы**

1. -
  2. , -
  3. -
  4. ( ) -  
*светового* , . . -  
 , " " -  
 , -  
 - ) ( -  
 ) .
- 10÷15 .

, 10÷50





4.4.1.

**Установка позволяет измерять:**

- 1.
- 2.

#### 4.4.2.2 Параметры установки

1)

$\varepsilon$

$\varepsilon(\lambda)$

$$= \text{Const } I(\lambda) d\lambda$$

$$= \text{Const } I(\nu) d\nu,$$

(4.4.1)

,  $I(\lambda)$   $I(\nu)$ .

2)  $\lambda(\theta)$  (2.2, 2.4),  $\lambda(\theta)$ .

3)  $(K(\lambda), K(\lambda))$ ,  $K(\lambda)$ ,  $K(\lambda)$ . 4.4.1,  $S$ ,  $K(\lambda)$ .

,  $\lambda$  : , -  
 ( . 4.1.3, 4.1.4, .7, 9). (  $\lambda$ ) -  
 , . . . , -  
 , . . . -  
 . 1 , -  
 , -  
 , . . . , -  
 , - . -  
 - , . -  
 , . . . -  


---

 1 : -  
 , . -  
 ) ( , . . . - , -  
 , - , -  
 . -  
 ( . , 1-3 " , / .  
 , . , 1981, 526 .): , -  
 ; , , -  
 , , -  
 , . -  
 , ( , - :  
 , -  
 ), 20 , -  
 ), , -  
 , . -



λ  
(4.4.3)

[4].

### 4.4.3

( 600 ° ),

- 1)
- 2) ( ),
- 3) 2- -

### 4.4.4

( \_\_\_\_\_ ) λ.



$$dI_b(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{S}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1} d\lambda, \quad (4.4.2)$$

$$dI_b(\nu) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{S}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} d\nu, \quad (4.4.2)$$

$$d\Phi_b(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{S}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1} d\lambda \quad (4.4.3)$$

$$d\Phi_b(\nu) = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{S}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} d\nu \quad (4.4.3)$$

(4.4.3)

(4.4.2)

(4.4.2) – (4.4.3)

коэффициентом черноты  $\varepsilon(\lambda, T)$  вне  
 $\lambda, T$  коэффициентом серости

$$0 = \dots + \dots = (\rho + \alpha + \tau) \dots \quad (4.4.4)$$

(4.4.4)

$\alpha$   $\tau$   $\rho$ ,  $\rho + \alpha + \tau = 1$ .

закону Кирхгофа,

$\varepsilon(\lambda, T)$

$\alpha(\lambda, )$

1 \_\_\_\_\_

$R$  -  $I(\lambda) = I_0 \cdot (1-R) \cdot \exp(-Kx)$

$l \geq 1$  ;  $\alpha = 1 - \tau - \rho$ ;  $\tau \approx (1-R)^2 \exp(-Kl)$ ;  $\rho \approx R[1 + (1-R)^2 \exp(-2Kl)]$ .

$$\varepsilon(\lambda, T) = \alpha(\lambda, T) + \rho(\lambda, T) \quad (4.4.5)$$

где  $\rho$  — коэффициент отражения,  $\alpha$  — коэффициент поглощения. Для непрозрачных тел  $\rho = 0$ ,  $\alpha = 1$ . Для полупрозрачных тел  $\rho > 0$ ,  $\alpha < 1$ . Например, для стекла  $\rho \approx 0,05$ ,  $\alpha \approx 0,3$ .

$$\tau = 0 \quad \tau \approx (1 - \rho) \quad \lambda$$

Для непрозрачных тел  $\tau = 0$ ,  $\rho = 0$ . Для полупрозрачных тел  $\tau > 0$ ,  $\rho > 0$ . Например, для стекла  $\tau \approx 0,3$ ,  $\rho \approx 0,05$ . Для прозрачных тел  $\tau > 0$ ,  $\rho = 0$ . Например, для воздуха  $\tau \approx 0,0001$ ,  $\rho = 0$ .

Для непрозрачных тел  $\rho(\lambda, T) + \alpha(\lambda, T) = 1$ . Для полупрозрачных тел  $\rho \approx \text{Const}$ ,  $\alpha \approx \text{Const} < 1$ . Например, для стекла  $\rho \approx 0,05$ ,  $\alpha \approx 0,3$ .

### Закон Стефана-Больцмана

$$(4.4.2) \quad \lambda$$

$$P = S \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (4.4.6)$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}^4$$

$$(4.4.3) \quad \lambda \quad (4.4.2) \quad \text{закон смещения Вина:}$$

$$\lambda_{\max} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{hc}{\lambda_{\max} kT}\right) \right] = \frac{1}{5} \frac{hc}{kT}. \quad (4.4.7)$$

(4.4.7)

$$\lambda_{\max} \approx \frac{1}{5} \frac{hc}{kT} = \frac{2,898}{T} \left[ \frac{\text{cm} \cdot \text{K}}{\text{K}} \right]. \quad (4.4.8)$$

(4.4.8)

$\exp(-5) < 0,007$ .

- 
- 1 . . . " CVD- ", , 49 (2007), 4, . 621-626.
  - 2 . . . , 1974.
  - 3 . . . , 1986.
  - 4 . . . " , ; , 2007.