

64

Art 2200007

ИД № 1400 (II)-93

EP-1400 II 93

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



Ր.Ա.ՄԵԼԿԻՆ, Վ.Շ.ՆԻՐՈՂՈՍԻՆ

О ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ФОТОКАТОДА  
В ИСТОЧНИКЕ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Ереван 1993

Ռ. Ա. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Վ. Ց. ՆԻԿՈՂՈՍՅԱՆ

**ԲԵՎԵՌԱՑՎԱԾ ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ ԱՂԲՅՈՒՐՈՒՄ ԵՌՏՈՎԱՏՈՂԻ  
ԿՑԱՆՔԻ ՏԵՎՈՂՈՒԹՅԱՆ ՄԵԾԱՑՄԱՆ ՀԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Քննարկվում է բևեռացված էլեկտրոնների աղբյուրում ֆոտոկատոդի կյանքի տևողության մեծացման հնարավորությունը՝ էլեկտրոդների փոխադարձ դասավորության և նրանց երկրաչափության ընտրության շնորհիվ, որը թույլ է տալիս վերացնել առաքող մակերեսի ռմբակոծումը և փոշեցրումը՝ մնացորդային գազի իոններով:

Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1993

Источники поляризованных электронов (ИПЭ), основанные на фотоэмиссии из  $GaAs$ , благодаря высокой степени поляризации и большой импульсной интенсивности пучка, являются практически единственно подходящими для их использования в качестве инжектора поляризованных электронов ускорителей. Предполагается, что пучки поляризованных электронов могут сыграть важную роль в экспериментах на  $e^+e^-$  коллайдере в области энергий свыше 100 ГэВ; в связи с чем в последнее время обсуждается развитие этих ИПЭ [1 - 4].

Разработанные в последние годы фотокатоды обеспечивают степень поляризации пучка электронов до 80 - 90 % при требуемом для ускорителей режиме работы и токе [1 - 4], вместе с тем все еще остается нерешенной проблема короткого времени жизни фотокатода ИПЭ (обычно это время составляет 20 - 40 часов). Длительность непрерывной работы ИПЭ зависит от различных факторов: от степени разрежения вакуума, техники подготовки и процесса активации катода, от его температуры и т.д.. Однако, в основном время жизни фотокатода определяется катодным распылением эмиттера [5]. Дело в том, что имеющийся в вакуумной камере остаточный газ ( $H_2$ ,  $N_2$ ,  $Ar$  и др.) в результате столкновения с эмитированным из фотокатода электронным пучком ионизируется. Обычно степень разрежения в вакуумной камере ИПЭ порядка  $10^{-10}$  тор. В присутствии сильного электрического поля (50-160 кВ) ускоренные ионы бомбардируют поверхность фотокатода и распыляют её, разрушая нанесённый на поверхность  $GaAs$  атомарный монослой  $Cs$  и  $O_2$  (или  $CsF$ ), необходимый для получения отрицательного электронного средства (ОЭС). Скорость катодного распыления зависит от типа, энергии, интенсивности и угла падения ионов, от атомного номера материала мишени и т.д.. Кроме того, бомбардировка фотокатода ионами приводит к его нагреву, что особенно заметно при больших токах и больших энергиях ионов. Важно также, что ускоренные ионы внедряются в катод в результате чего изменяется состав и свойства полупроводника в приповерхностной области.

Рассматриваемая нами пушка ИПЭ позволяет уменьшить катодное распыление фотокатода и тем самым увеличить длительность его непрерывной работы. В случае неполяризованных электронов для уменьшения ионного распыления эмиттера используются различные методы: уменьшают давление остаточных газов, применяют слабо распыляющиеся материалы, выбирают такие конфигурации электрических и магнитных полей или геометрию электродов, которые устраняют ионную бомбардировку рабочей поверхности катода, применяют устройства для восполнения убыли распыляемого вещества и т.д..

В ИПЭ для предотвращения ионной бомбардировки поверхности фотокатода с ОЭС представляется целесообразным использование геометрии и расположения электродов пушки (см. рис.), в которой ось катода расположена под определённым углом к поверхности анода (аналогично пушке Баса [5 - 7], в которой используется штыревой металлический катод с электронным подогревом). Неоднородное электрическое поле в такой пушке по-разному искривляет траекторию электронов, движущихся к аноду, и положительных ионов, образованных в области ускорения. Углы наклона выбираются такими, чтобы траектория электронного пучка за плоскостью анода совпала с осью анода. Тогда большая часть ионов (причём наиболее энергичных) не попадает на фотокатод. В результате этого уменьшается нагрев и распыление поверхности фотокатода.

Аналитическое нахождение траекторий электронов и ионов затруднено, поэтому задача решается на ЭВМ. Вначале, решая уравнение Лапласа  $\Delta \varphi(x, y, z) = 0$  с граничными условиями методом релаксации, находят (с заданной точностью) потенциалы  $\varphi(x, y, z)$  электростатического поля  $\vec{E}$  в отдельных точках  $(x, y, z)$  межэлектродного и заанодного пространства. Далее находят значения полей  $\vec{E} = -\text{grad}\varphi$  в дискретных точках  $(x, y, z)$  и, исходя из этого, определяются траектории электронов и ионов, решив систему дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{e\vec{E}}{m}, \quad \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}$$

методом Рунге-Кутты.

Применение пушки с искривлённой траекторией электронов в ИПЭ особенно эффективно при работе с высокоперевансными пучками.

Оценим эффективность уменьшения бомбардировки поверхности фотокатода ионами из-за искривления траекторий электронов. Пусть  $V_1$ ,

$V_2$  - объёмы, из которых ионы попадают на фотокатод соответственно при неискривлённой и искривлённой траекториях электронов,  $N_1$  и  $N_2$  - число ионов соответственно в объёме  $V_1$  и  $V_2$ . Если считать распределение по плотности образованных ионов (вдоль траекторий электронов) равномерным, то уменьшение бомбардировки катода из-за искривления траекторий электронов приближённо определится величиной:

$$\eta = \frac{N_1 - N_2}{N_2} = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \approx \frac{2L}{l} - 1,$$

где  $l, L$ , - максимальные расстояния от катода, откуда ионы попадают на фотокатод и на прикатодный электрод. Отметим, что величина  $L$  больше межэлектродного расстояния из-за присутствия в заанодном пространстве электрического поля, ускоряющего ионы к катоду или прикатодному электроду соответственно при соосном и несоосном расположении электродов. Очевидно, что с уменьшением облучаемой светом поверхности катода, величина  $l$  уменьшается и, поскольку при этом  $L$  остаётся неизменной, значение  $\eta$  может достичь 10 и более. Следовательно, благодаря снижению распыления эмитирующей поверхности, можно ожидать увеличения времени жизни фотокатода в  $\eta$  раз.

Автоионизацией атомов и молекул остаточного газа электростатическим полем и полем лазера при рассматриваемых нами их значениях (для получения  $10^{11}$  e за 2нсек. импульс, при квантовой эффективности катода порядка  $10^{-4}$ . предполагается использовать лазер с импульсной мощностью  $\sim 100$  кВт), пренебрегаем ввиду её малости (например известно, что вероятность автоионизации атома водорода из возбуждённых состояний достигает заметной величины при напряжённости поля  $\sim 10^6$  В/см). Для снижения распыления прикатодного электрода необходимо выбрать его материал из слабо распыляющихся веществ (например  $Ti, V, Zr, Nb, Ta, Mo, W, Al$ ).

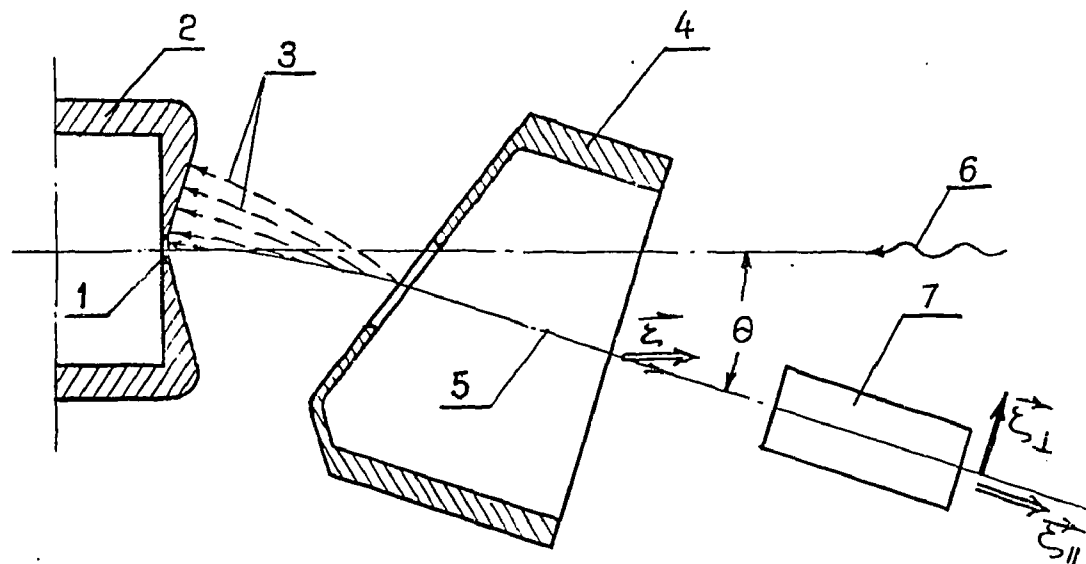
Известно, что из фотокатода эмитируются электроны с продольной поляризацией пучка. При криволинейном движении электронов в пучке влиянием электростатического поля на вектор поляризации  $\vec{\xi}$  пучка для интересующих нас энергий электронов (50 - 160 кэВ) можно пренебречь, и поэтому вектор поляризации  $\vec{\xi}$ , вышедшего из пучки пучка, окажется повернутым относительно скорости  $\vec{V}$  электронов на угол  $\theta$  (см. рис.).

Для получения продольной ( $\vec{\xi} \parallel \vec{V}$ ) и поперечной ( $\vec{\xi} \perp \vec{V}$ ) поляризации пучка можно использовать обычно применяемый с ИПЭ преобразо-

ватель Вина (скрещённые постоянные электрическое и магнитное поля), не изменяющий траектории электронов (т.е.  $v = \frac{cE}{H}$ ) [8]. В преобразователе Вина вектор  $\vec{E}$  вращается вокруг  $\vec{H}$  с частотой  $eH/mc$ , т.е. на длине  $L$  преобразователя  $\vec{E}$  поворачивается на угол  $\frac{eH}{mc} \cdot \frac{L}{v} = \frac{eH^2}{mc^2} \cdot \frac{L}{E}$ . При заданном значении  $v$ , выбирая величину  $L$ , а также величину и направление  $\vec{H}$ , можно преобразовать направление поляризации пучка в продольную (если  $\theta = \frac{eH^2}{mc^2} \cdot \frac{L}{E}$ ) или поперечную (если  $\frac{\pi}{2} - \theta = \frac{eH^2}{mc^2} \cdot \frac{L}{E}$ ).

В пушке с искривлённой траекторией пучка отпадает необходимость использования поворотного магнита, применяемого обычно в ИПЭ для развязки электронного и падающего на фотокатод светового пучка, что упрощает транспортировку электронного пучка и конструкцию ИПЭ.

Таким образом, благодаря использованию специальной геометрии и расположению электродов пушки в ИПЭ, уменьшается распыление поверхности фотокатода с ОЭС, тем самым многократно увеличивается его время жизни. Нужное направление поляризации электронного пучка можно получить с помощью преобразователя Вина.



Схематическое изображение электронной пушки с криволинейной оптикой.

- 1 - фотокатод
- 2 - прикатодный электрод
- 3 - траектории положительных ионов
- 4 - анод
- 5 - траектория электронного пучка
- 6 - луч света
- 7 - преобразователь Вина

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. E.L. Garwin, T. Maruyama. Observation of Electron Polarization above 80% in Photoemission from Strained III - V Compounds  
SLAC - PUB - 5751, (A), 1992
2. J.E. Clendenin, S.D. Ecklund, R.H. Miller, D.C. Schulz, J.C. Sheppara. Polarized electron sources for linear colliders.  
SLAC - PUB - 5348 (A), 1992.
3. Tsutomu Nakanishi. Development of Highly Polarized Electron Source.  
DPNU - 92 - 28, 1992.
4. H. Aoyagi, H. Horinaka, Y. Kamiya et all, Strain dependence of spin polarization of photoelectrons from a thin GaAs Layer.  
DPNU - 92 - 13, 1992.
5. Н.В. Племивцев, Катодное распыление.  
Москва, Атомиздат, 1968.
6. Bas E.B. Eine neu Feinstrahl - Elektronen Kanone mit indirekt geheizter Wolfram - Bolzenkathode und Ionentrennung.  
Optik, 12, 377, 1955
7. С.И. Молоковский, А.Д. Сушков. Интенсивные электронные и ионные пучки. Москва, Энергоатомиздат, 1991.
8. И. Кесслер. Поляризованные электроны.  
Москва, "Мир", 1988.

Рукопись поступила 28 июня 1993 г.

The address for requests:  
Information Department  
Yerevan Physics Institute  
Alikhanian Brothers 2,  
Yerevan, 375036  
Armenia,

Р.А.МЕЛИКЯН, В.Ц.НИКОГОСЯН

О ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ФОТОКАТОДА  
В ИСТОЧНИКЕ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Редактор А.С.Есин  
Технический редактор А.С.Абрамян

---

Подписано в печать 28/УП-93  
Офсетная печать, Уч. изд. л..0.5  
Заказ тип. № 103

Формат 60x84/16  
Тираж 100 экз.  
индекс 3649

---

Отпечатано в Ереванском физическом институте  
Ереван, 36, ул.Братьев Аликханян, 2