

экситона при 293 К сравнима с kT , что сказывается на его времени жизни, делая последнее более чувствительным к наличию дефектов.

Таким образом, в исследованных монокристаллах CdS решающую роль в определении интенсивности фотолуминесценции свободных экситонов при 293 К оказывают доворные дефекты — вакансии серы. Отжигая эти монокристаллы в кислородосодержащей атмосфере, можно связывать вакансии серы с атомами кислорода, увеличивая при этом интенсивность зеленого свечения свободного экситона при 293 К до 15 и более раз.

Список литературы

- [1] Яблонский Г.П., Ракович Ю.П., Гладыщук А.А. // ФТП. 1994. Т. 28. С. 625.
- [2] Мак В.Т., Манжара В.С. // Изв. вузов. Физика. 1983. № 6. С. 67.
- [3] Власенко Н.А., Гринь В.Ф., Денисова З.Л., Сальков Е.А. // УФЖ. 1971. Т. 16. С. 159.
- [4] Власенко Н.А., Гринь В.Ф., Денисова З.Л., Сальков Е.А. // УФЖ. 1975. Т. 20. С. 1419.
- [5] Vlasenko N.A., Denisova Z.L. // J. Luminescence. 1984. Vol. 31. P. 412.
- [6] Thomas D.H., Hopfield J.H. // Phys. Rev. 1965. Vol. 128. P. 2135.
- [7] Boiko G.A., Dneprovskii V.S., Kraevskii M.V. et al. // Phys. St. Sol. B. 1978. Vol. 85. P. 111.
- [8] Morrison S.R. // Adv. Catal. 1975. Vol. 7. P. 259.
- [9] Berlincourt D., Jaffe H., Shiozawa L.R. // Phys. Rev. 1963. Vol. 129. P. 1009.
- [10] Галушка А.П., Давидюк Г.Е., Мак В.Т. // ФТП. 1974. Вып. 8. С. 2219.

09;10

Журнал технической физики, т. 66, в. 8, 1996

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА С МАЛЫМИ ЦИКЛОТРОННЫМИ ПУЛЬСАЦИЯМИ ДЛЯ МАЗЕРОВ НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

© В.Л.Братман, В.Н.Мануилов, С.В.Самсонов

Институт прикладной физики РАН,
603600 Нижний Новгород, Россия
(Поступило в Редакцию 22 мая 1995 г.)

Хорошо известно, что для эффективной работы мазеров на свободных электронах (МСЭ) требуются электронные пучки с очень малым разбросом поступательных скоростей частиц. В большинстве случаев в МСЭ первоначально формируется прямолинейный электронный пучок, который затем раскачивается до необходимой осцилляторной скорости в ондуляторе убитрона или в сравнительно короткой системе раскачки мазера на циклотронном авторезонансе (МЦАР). В ряде важных случаев, когда формируется тонкий сплошной прямолинейный пучок, анодное отверстие электронно-оптической системы действует как рассеивающая электростатическая линза, приводящая к нежелательным пульсациям пучка. При дальнейшей раскачке электронов до рабочей поперечной скорости эти начальные осцилляции мо-

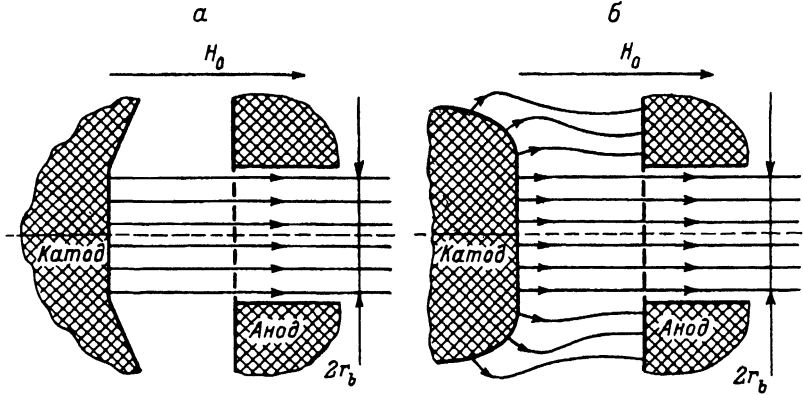


Рис. 1. Примеры электронно-оптических систем, формирующих прямолинейный пучок при закрытом для электрического поля анодном отверстии: термоэмиссионная пушка Пирса (а) и магнитоизолированный взрывоэмиссионный диод (б).

гут привести к значительному разбросу поперечных и соответственно продольных скоростей частиц, что существенно снижает эффективность МСЭ. В отсутствие магнитного поля проблема компенсации рассеивающего действия анодного отверстия решается путем использования дополнительного электрода или достаточно сложной конфигурации пушки (см., например, [1]). В данной работе исследуется электронно-оптическая система, помещенная во внешнее однородное магнитное поле $H_0 = H_0 z_0$, когда “выпрямления” траекторий можно достичь [2], используя небольшую дополнительную катушку, радиальное магнитное поле которой при соответствующей его фазировке относительно циклотронного вращения частиц компенсирует воздействие радиального электрического поля анодного отверстия.

Рассмотрим сначала простейшую идеализированную ситуацию “закрытого” анодного отверстия, которое абсолютно прозрачно для электронов и непрозрачно для ускоряющего электрического поля. Пусть радиус отверстия много меньше ларморовского шага электронов

$$R_A \ll L_H = \frac{2\pi\beta_z mc^2 \gamma}{eH_0}$$

и расстояния между анодом и катодом $R_A \ll d$, а в пушке формируется достаточно прямолинейный электронный пучок (рис. 1). В этом случае при открытом отверстии для параксиального пучка фокусное расстояние f анодной рассеивающей линзы и величина поперечной скорости v_{\perp} , приобретаемой частицами, определяются выражениями

$$\frac{1}{f} = \frac{v_{\perp}}{rv_z} = \frac{eE_{zA}}{2mc^2\gamma\beta_z^2}, \quad (1)$$

где r — расстояние частицы от оси; $\beta = v/c$ — скорость частиц, нормированная на скорость света; $\gamma = (1 - \beta_{\perp}^2 - \beta_z^2)^{-1/2}$ — релятивистский масс-фактор электронов.

Продольная компонента ускоряющего электрического поля вблизи анода E_{zA} в режиме ограничения тока полем пространственного заряда связана с напряжением соотношением $E_{zA} = U/d_{\text{eff}}$, где $d_{\text{eff}} = 3d/4$

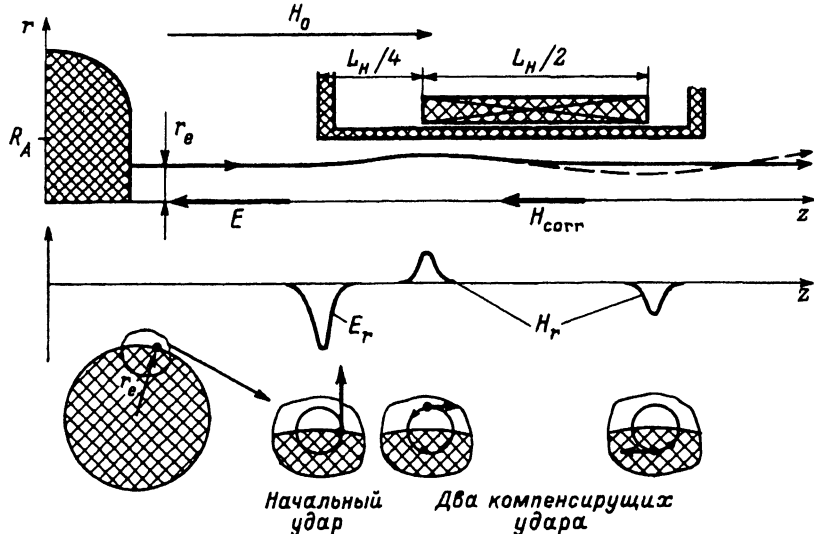


Рис. 2. Электронно-оптическая система с открытым анодным отверстием.

Компенсация удара со стороны электростатической анодной линзы двумя последовательными ударами со стороны магнитостатического поля корректирующей катушки: траектории частиц в кинематическом приближении (схематично) при выключенной (штриховая линия) и включенной (сплошная линия) катушке.

для слаборелятивистских ($|U| \ll \Phi_0 = mc^2/e$) и $d_{\text{eff}} = d$ для ультра-релятивистских напряжений ($|U| \gg \Phi_0$). После прохождения короткой области вблизи анодного отверстия, испытываю неадиабатическое воздействие со стороны радиального электрического поля (удар), электроны двигаются по винтовым траекториям в однородном магнитном поле. При этом на границе пучка $r = r_b$ достигается максимальная "паразитная" вращательная скорость частиц

$$\beta_{\perp \max} = \beta_z \frac{r_b}{f} = \frac{\beta_z}{2} \frac{1 + |U| \Phi_0}{2 + |U| \Phi_0} \frac{r_b}{d_{\text{eff}}}. \quad (2)$$

В ряде случаев эта скорость является определяющей, существенно превышая скорости, обусловленные тепловым разбросом и пространственным зарядом пучка.

Для компенсации начального удара от анодного отверстия расположим на расстоянии в четверть ларморовского шага от него катушку длиной в половину ларморовского шага с диаметром, близким к диаметру отверстия, создающую статическое магнитное поле, направленное противоположно ведущему. Тогда после начального удара электрон поворачивается на четверть ларморовской окружности и испытывает удар со стороны радиального поля катушки, направленный против его вращения, а затем через половину ларморовского шага еще один компенсирующий удар на другом краю корректирующей катушки (рис. 2). В параксиальном приближении, когда радиальные компоненты полей пропорциональны расстоянию от оси, несложно определить величину магнитного поля на оси корректирующей катушки $H_{z_{\text{corr}}}$, при которой воздействие анодного отверстия полностью компенсируется для всех электронов пучка,

$$H_{z_{\text{corr}}} = -|E_{z_A}|/2\beta_z. \quad (3)$$

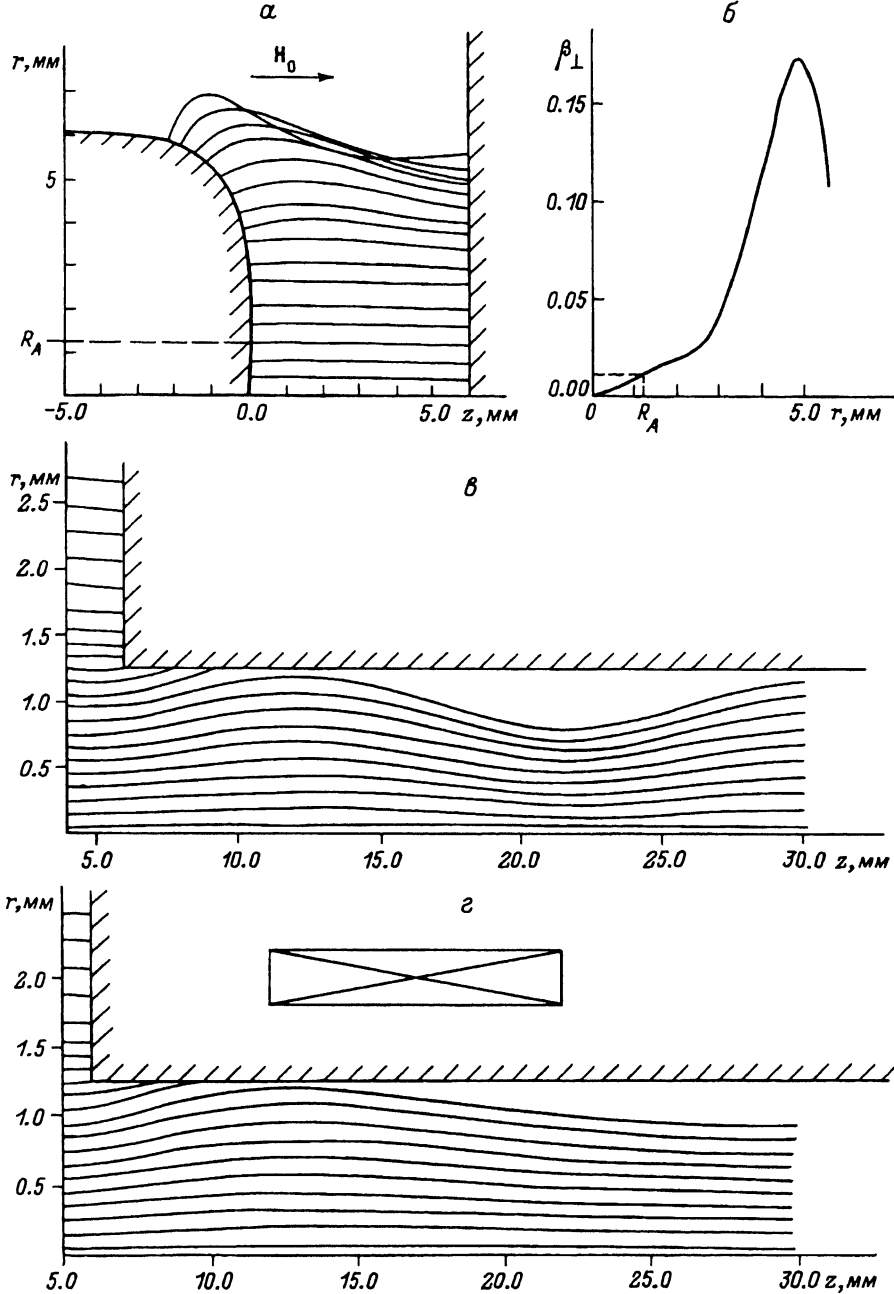


Рис. 3. Результаты расчета электронно-оптической системы в режиме ограничения тока пространственным зарядом.

a, b — конфигурация электродов, траектории частиц и распределение поперечных скоростей по радиусу при закрытом анодном отверстии; γ, δ — траектории частиц при открытом анодном отверстии без корректирующей катушки и с оптимальной катушкой; δ — изменение максимальной поперечной скорости в пучке вдоль продольной координаты без корректирующей катушки (1) и с оптимальной катушкой (2); ϵ — распределение продольного электрического поля на оси при закрытом (1) и открытом (2) анодном отверстии.

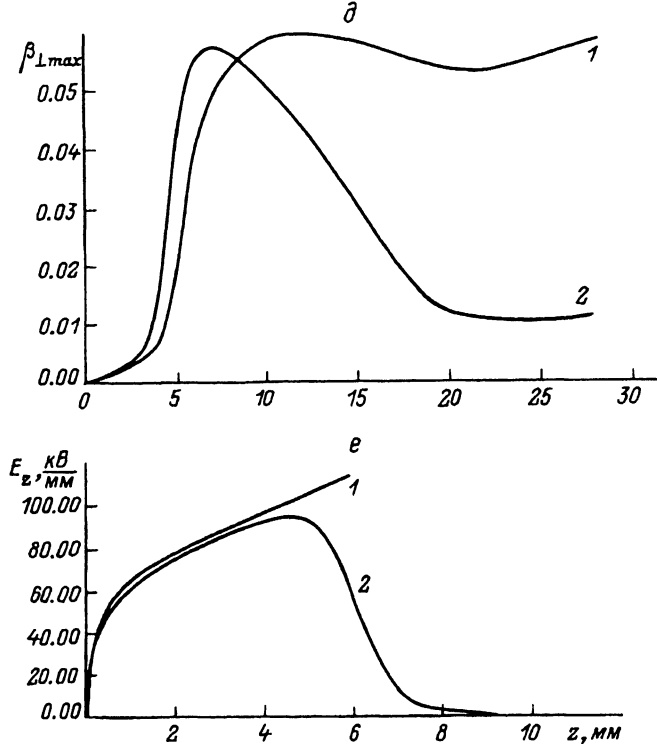


Рис. 3 (продолжение).

Возможность “выпрямления” электронного пучка с помощью описанного метода и справедливость кинематических оценок (2), (3) были подтверждены с помощью более строгого численного расчета одного из вариантов пушки с ограничением тока эмиссии полем пространственного заряда пучка. Компьютерное моделирование производилось с использованием программы EPOSR [3] с учетом как электрического, так и азимутальной компоненты собственного магнитного поля пучка. В отсутствие анодного отверстия конфигурация магнитоизолированного диода (рис. 3,а) с напряжением между электродами 500 кВ и ведущим магнитным полем 9.6 кЭ позволяла формировать в приосевой области ($r < R_A = 1.25$ мм) пучок током 100 А (из полного тока 5 кА) с очень малыми осцилляциями (рис. 3,б). При открытом отверстии анодная линза увеличивает поперечную скорость в пучке почти в 6 раз (рис. 3,в и д), причем в этом примере пространственный заряд приводит к возрастанию радиальной компоненты электрического поля и увеличению поперечной скорости частиц в 1.5 раз по сравнению с их “холодными” траекториями. Включение корректирующей катушки (рис. 3,г и д), параметры которой оптимизировались в расчете и были близки к оценочным, при небольшом дополнительном перехвате частиц в канале транспортировки позволяет почти полностью компенсировать неблагоприятное воздействие анодного отверстия и получить на выходе из пушки пучок, близкий к идеальному, когда вращательная скорость частиц $\beta_{\perp \max} \leq 0.01$ определяется их дрейфом в скрещенных (внешнем магнитном и собственном) полях.

Близкая к расчетной конфигурация электронной пушки была использована для формирования электронного пучка в эксперименте по реализации МЦАР генератора миллиметрового диапазона длин волн [4]. Улучшение качества пучка при использовании корректирующей катушки позволило снизить стартовый ток генератора и повысить электронный КПД прибора на 30%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты № 93-02-842 и 93-02-15418, а также Международного научного фонда, гранты № R85000 и R85300.

Список литературы

- [1] *Кириштейн П.Т., Кайно С.Г., Уотерс У.Е.* Формирование электронных пучков. М.: Мир, 1970.
- [2] *Samsonov S.V.* // Int. J. Infrared and Millimeter Waves. 1995. Vol. 16. № 4.
- [3] *Лыгин В.К., Мануилов В.Н., Цимринг Ш.Е.* // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1987. № 7. С. 36–38.
- [4] *Bratman V.L., Kol'chugin B.D., Samsonov S.V., Volkov A.B.* // Preprint of Institute of Appl. Phys. N 371. Novgorod, 1995.

06;07

Журнал технической физики, т. 66, в. 8, 1996

КОРРЕКЦИЯ СПЕКТРА КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ GaP ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ ПОСРЕДСТВОМ СВЕТОФИЛЬТРОВ

© Ю.А.Гольдберг, Б.В.Паренков

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия
(Поступило в Редакцию 10 сентября 1995 г.)

1. В настоящее время в технике усиливается потребность в фотоприемниках ультрафиолетового излучения для трех областей применения: 1) регистрация ультрафиолетового и коротковолнового видимого излучения Солнца в верхних слоях атмосферы ($h\nu = 2.7\text{--}6.0$ эВ); цель — контроль деградации авиационных и космических полимерных материалов под воздействием излучения; 2) регистрация ультрафиолетового излучения Солнца на поверхности Земли ($h\nu = 3\text{--}4$ эВ); цель — изучение влияния солнечного излучения на жизнедеятельность человека, животных и растений; 3) регистрация ультрафиолетового излучения искусственных источников (лампы ртутные, дейтериевые, металлогалогенные и т.д. ($h\nu = 3\text{--}6$ эВ)), в устройствах для обеззараживания воздуха, физиотерапевтического лечения, синтеза витаминов, аутотрансфузии крови.

2. Для приемников ультрафиолетового излучения перспективны поверхностно-барьерные структуры на основе фосфида галлия [1–4]. Они просты и дешевы в изготовлении, а GaP — хорошо освоенный