

КИЛЬВАТЕРНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ С ГИБРИДНОЙ ПЛАЗМЕННО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

В.А. Киселев, А.Ф. Линник, В.И. Мирный, И.Н. Онищенко, В.В. Усков
Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина
E-mail: kiselev@kipt.kharkov.ua

Экспериментально исследуется кильватерный ускоритель, в котором для увеличения градиента ускоряющего кильватерного поля при его возбуждении длинной цепочкой сгустков релятивистских электронов в прямоугольной диэлектрической структуре пролетный канал для сгустков заполняется плазмой резонансной плотности. Первая порция сгустков, полученных на электронном линаке «Алмаз-2», ионизирует газ при атмосферном давлении, так что плазменная частота становится равной частоте следования сгустков и частоте основной моды диэлектрической структуры. Исследуемый рост эффективности возбуждения обусловлен улучшением прохождения цепочки сгустков через пролетный канал, благодаря компенсации пространственного заряда плазмой, и изменению электродинамики диэлектрической структуры при плазменном заполнении пролетного канала.

1. ВВЕДЕНИЕ

Получение пучков заряженных частиц сверхвысоких энергий на традиционных принципах требует больших длин ускорителей и, соответственно, значительного увеличения экономических затрат. В связи с этим возникает необходимость поиска новых методов ускорения с большим темпом набора энергии.

Одним из таких методов, исследуемых в настоящее время, является ускорение заряженных частиц кильватерными полями, возбуждаемыми в диэлектрических структурах интенсивными сгустками релятивистских электронов [1-6]. В этом методе короткий сгусток релятивистских электронов с большим зарядом, двигаясь в среде, возбуждает за собой электромагнитное поле, которое затем используется для ускорения другого сгустка меньшей интенсивности до более высоких энергий.

В данной работе исследуются несколько концепций, дающих возможность увеличения интенсивности возбуждаемого поля. К таким концепциям относятся:

1. Увеличение амплитуды возбуждаемого поля в результате когерентного сложения полей от большого числа релятивистских электронных сгустков с небольшим зарядом, вместо использования одного сгустка с большим зарядом (т.н. многобанчевость).

2. Использование диэлектрических структур прямоугольной конфигурации, так как теоретические исследования показали, что в таких структурах, в отличие от цилиндрической, возможна реализация многомодового режима возбуждения с эквидистантными гармониками, при котором за счет суммирования гармоник происходит значительное увеличение амплитуды ускоряющего поля (т.н. многомодовость).

3. Как показывает теория [7], в полуограниченном волноводе из-за эффекта выноса поля с групповой скоростью происходит сложение полей только от нескольких сгустков. Для сложения полей всех сгустков последовательности, приводящему к увеличению интенсивности возбуждаемого кильватерного поля, предложено использовать диэлектрический резонатор [8,9].

Кроме того, для увеличения темпа ускорения в таких системах желательно использовать диэлектрики с большим ϵ , так как в этом случае улучшается сложение возбуждаемых гармоник, увеличивается E_z -составляющая возбуждаемого поля. Но при этом для соблюдения условий совпадения собственной частоты резонатора ω_0 и частоты следования сгустков ω_m (когда интенсивность возбуждаемого поля максимальна) возникает необходимость уменьшения поперечного сечения пролетного канала. Но в этом случае разброс электронов по углам приводит к попаданию электронов на внутренние стенки диэлектрика и запираению сгустков. С целью компенсации возникающего поля осевших электронов и для обеспечения хорошей транспортировки сгустков по каналу в настоящем исследовании предлагается использовать плазму, заполняющую пролетный канал. Кроме того, в этом случае кильватерные поля из поверхностных, провисающих на оси, становятся объемными [10], так что эффективность возбуждения может увеличиться.

В работе исследуется диэлектрическая структура прямоугольного сечения с $\epsilon=2,1$ (вакуумный вариант) и структура с $\epsilon=9$ (с вакуумным пролетным каналом и с каналом, заполненным плазмой) и приводится их сравнение.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Эксперименты по исследованию возбуждения кильватерных волн в волноводно-диэлектрических структурах прямоугольной конфигурации проводились на установке, схема которой показана на Рис.1.

Для возбуждения поля использовался модулированный релятивистский электронный пучок, получаемый с помощью линейного резонансного ускорителя. Параметры пучка: энергия 4,5 МэВ, ток в импульсе 0,5 А, длительность импульса 2 нс, частота модуляции пучка 2805 МГц. Каждый импульс состоит из последовательности $6 \cdot 10^3$ электронных сгустков с длительностью каждого $\tau_{сг} \approx 60$ пс и временным интервалом между ними 300 пс. Диаметр

пучка на выходе из ускорителя ~ 10 мм, длина сгустка ≈ 17 мм, заряд $0,32$ нК.

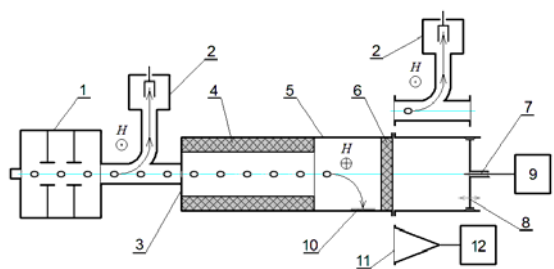


Рис. 1. Схема установки: 1 – ускоритель электронов; 2 – магнитные анализаторы; 3 – диафрагма; 4 – диэлектрические пластины; 5 – прямоугольный медный волновод; 6 – фторопластовая заглушка; 7 – СВЧ-зонды; 8 – замыкающий плунжер; 9 – осциллограф; 10 – стеклянная пластина; 11 – рупорная антенна; 12 – измеритель мощности

Сгустки релятивистских электронов инжектировались в волноводно-диэлектрическую структуру, основным элементом которой является медный прямоугольный волновод с внутренним сечением 85×180 мм и длиной 750 мм, вдоль узких или широких сторон которого располагались пластины из фторопласта Ф-4. Толщина диэлектрических пластин составляла 21,9 мм. Выходной торец волновода был герметично закрыт фторопластовой пластиной толщиной 10 мм, что позволяло создавать в волноводе необходимый вакуум и выводить СВЧ-излучение из волноводно-диэлектрической структуры для проведения различных измерений. Специально проведенные измерения показали, что потери СВЧ-излучения в такой пластине составляют не более 2%.

Длина диэлектрика была равна 534,2 мм, что на 250 мм меньше длины волновода. Свободный от диэлектрика отрезок волновода использовался для отклонения электронного пучка с помощью поперечного постоянного магнитного поля на стенки волновода для того, чтобы предотвратить его попадание на фторопластовую пластину выходного окна.

Для создания резонаторной системы к выходному торцу волновода присоединялся короткозамкнутый отрезок волновода таких же поперечных размеров. Короткозамыкателем служил подвижный плунжер, в центре которого был расположен высокочастотный зонд, регистрирующий E_z -компоненту возбуждаемого поля.

Потери энергии электронами пучка оценивались по изменению энергетических спектров релятивистского электронного пучка до и после прохождения им волноводно-диэлектрической структуры, которые измерялись с помощью магнитных анализаторов, расположенных на выходе ускорителя и на выходе структуры. Для этой же цели использовались отпечатки пучка, отклоненного поперечным магнитным полем, на стеклянных пластинах, помещенных внутри волновода вблизи его выходного торца.

В качестве диэлектрической структуры с большим ϵ использовались диэлектрические пластины из высокочастотной керамики с $\epsilon=9$, расположенные вдоль широких стенок стандартного медного волновода сечением $72,14 \times 34,04$ мм. Толщина пластин, равная 8,8 мм, выбиралась из условия совпадения

частоты ω_0 , определяемой черенковским резонансом, т.е. пересечением пучковой моды и основной моды E_{010} волновода, частично заполненного диэлектриком, с частотой следования сгустков ω_m . При этом ширина канала для пролета сгустков оказалась равной 16,4 мм. Длина пластин взята равной 270 мм.

Эксперименты проводились с вакуумным и заполненным плазмой пролетным каналом в диэлектрической структуре. В первом случае электронные сгустки через отверстие в металлической диафрагме проходили в диэлектрическую структуру, выходной конец которой для обеспечения вакуума был закрыт фторопластовой заглушкой.

Во втором случае электронные сгустки через титановую фольгу толщиной 50 мкм инжектировались в диэлектрическую структуру, в пролетном канале которой находился воздух при атмосферном давлении.

Основными показателями, характеризующими степень интенсивности возбуждения кильватерных волн в наших экспериментах являются измерения потерь энергии электронными сгустками на возбуждение колебаний, амплитуды E_z -составляющей возбуждаемого поля с помощью СВЧ-зондов и наличие ускоренных электронов в энергетических спектрах сгустков, прошедших через диэлектрическую структуру.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. ВОЛНОВОДНО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ($E=2,1$)

Для исследования возбуждения кильватерного поля последовательностью сгустков релятивистских электронов при наличии резонатора были проведены измерения величины суммарного сигнала и сигнала первой гармоники СВЧ-зондом, расположенным в торце короткозамыкателя дополнительного волновода, в зависимости от длины дополнительного резонатора (Рис.2). Видно, что амплитуда суммарного сигнала более чем в два раза превышает амплитуду сигнала первой гармоники.

Для сравнения на Рис.3 показаны зависимости величины сигнала первой гармоники (а) и суммарного сигнала (б) от длины резонатора для диэлектрической структуры цилиндрической конфигурации.

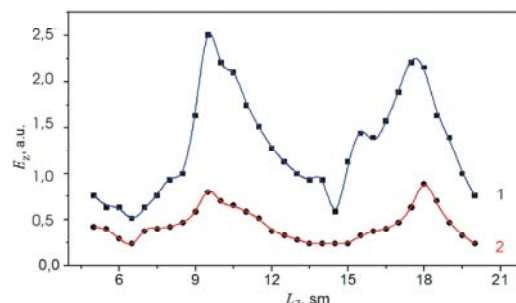


Рис. 2. Зависимость величины суммарного сигнала (1) и сигнала первой гармоники (2) от длины дополнительного резонатора

В этом случае превышение максимальной амплитуды суммарного сигнала над амплитудой первой гармоники не более чем на 30%, что может являться следствием отсутствия эквидистантности возбуждаемых мод.

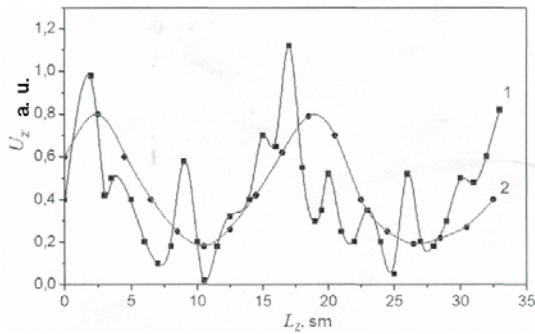


Рис.3. Зависимость величины суммарного сигнала (1) и сигнала первой гармоники (2) от длины резонатора (структура цилиндрической конфигурации)

Увеличение амплитуды суммарного сигнала при наличии резонатора ($U=1,5$ В) по сравнению с амплитудой сигнала в случае полуоткрытого волновода ($U=0,3$ В) свидетельствует о сложении полей от большого количества сгустков при использовании резонаторной системы.

Измерения энергетических спектров электронных сгустков, прошедших через диэлектрическую резонаторную структуру, проведенные с помощью магнитных анализаторов, показали, что потери энергии для электронов пучка с узким энергетическим спектром ($\Delta W/W \approx 8\%$) составляют около 17%.

Для ускорения электронов в поле возбуждаемой кильватерной волны необходимо использовать дополнительный электронный сгусток, который инжектируется в ускоряющую фазу волны, возбуждаемую последовательностью сгустков. В данной работе была сделана попытка ускорения электронов из той же последовательности электронных сгустков, которая использовалась и для возбуждения кильватерного поля. Для этого использовалась вариация расстройки между собственной частотой возбуждаемой волны и частотой следования сгустков ($\Delta\omega = \omega_0 - \omega_M$).

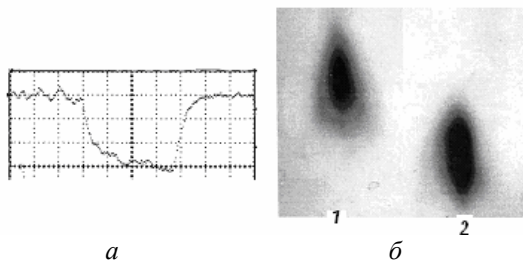


Рис.4. Осциллограмма E_z -составляющей возбуждаемого кильватерного поля ($\omega_0 = \omega_M$, узкий спектр); б – энергетические спектры пучка: 1 – исходный спектр, 2 – после прохождения через структуру (резонатор)

Как видно из Рис.4,а, при совпадении собственной частоты резонатора с частотой следования сгустков ($\omega_0 = \omega_M$) все сгустки оказываются в тормозящей фазе возбуждаемой волны и отдают ей свою энергию, увеличивая амплитуду E_z -составляющей возбуждаемого поля в течение всего импульса тока.

Из энергетических спектров пучка, определяемых по отпечаткам электронных сгустков на стеклянных пластинах после прохождения ими структуры и последующего отклонения поперечным магнитным полем в плоскости, параллельной диэлек-

трическим пластинам (Рис.4,б), видно, что электроны сгустков теряют свою энергию и как целое смещаются в область малых энергий.

При наличии расстройки $\Delta\omega = \omega_0 - \omega_M = 0,5$ МГц реализуется режим, когда передняя часть сгустков последовательности теряет энергию на возбуждение кильватерных полей, а следующие сгустки через больший период прохождения сгустков в сравнении с периодом возбужденного поля попадают в ускоряющую фазу. В этом случае на осциллограмме СВЧ-сигнала, представленного на Рис.5,а, виден рост амплитуды поля для сгустков, которые теряют энергию, и уменьшение амплитуды, когда сгустки попадают в ускоряющую фазу возбуждаемого поля. Соответственно, в энергетическом спектре электронов, который измерялся магнитным анализатором, в этом случае наблюдаются как замедленные, так и ускоренные электроны (Рис.5,б).

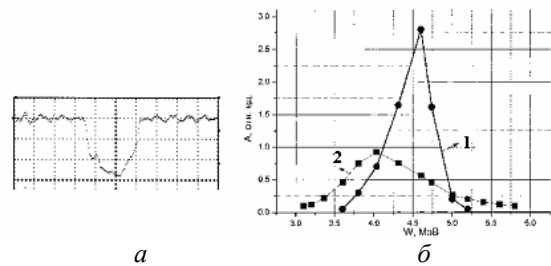


Рис.5. Осциллограмма E_z -составные возбуждаемые кильватерные поля ($\omega_0 > \omega_M$, узкий спектр); б – энергетические спектры пучка: 1 – исходный спектр, 2 – после прохождения через структуру (резонатор)

Величиной расстройки можно изменять количество сгустков последовательности, которые возбуждают кильватерное поле, и часть сгустков, которые в этом поле ускоряются. Более того, последовательность может быть разбита на несколько частей: сгустков, которые возбуждают поле, и сгустков, которые ускоряются. Действительно, при большой расстройке ($\Delta\omega = \omega_0 - \omega_M > 1$ МГц) (см. Рис.6) реализуется режим, когда сгустки первой части последовательности возбуждают кильватерное поле, второй части – ускоряются, третьей части – снова возбуждают поле, четвертой части – ускоряются в поле, которое возбуждается третьей частью. Согласно этому, энергетический спектр электронов расширяется как в область малых энергий, так и в область энергий, больших начальной (см. Рис.6,б(2)). При этом СВЧ-сигнал (см. осциллограмму Рис.6,а) показывает повторяемые дважды рост и спад амплитуды поля.

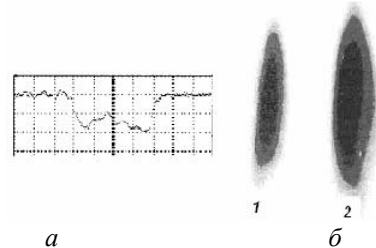


Рис.6. Осциллограмма E_z -составляющей возбуждаемого кильватерного поля ($\omega_0 > \omega_M$, узкий спектр); б – энергетические спектры пучка: 1 – исходный спектр, 2 – после прохождения через структуру (резонатор)

Таким образом, экспериментально показано, что использование расстройки между собственными частотами диэлектрического резонатора и частотой следования сгустков позволяет получать возбуждающие кильватерное поле сгустки и ускоряемые сгустки из одной и той же последовательности. Этот метод упрощает исследования концепции ускорителя на кильватерных полях, так как не требует дополнительной инжекции ускоряемого сгустка с трудной проблемой выбора ускоряющей фазы на таких короткоимпульсных системах.

3.2. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ($\epsilon=9$) С ВАКУУМНЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ ПРОЛЕТНОГО КАНАЛА

Измерения E_z -составляющей возбуждаемого поля на выходе из структуры, проведенные с помощью СВЧ-зонда, показали, что сигнал наблюдался и в отсутствие диэлектрика и составлял 0,36 В. С диэлектрическими пластинами он уменьшался до 0,13 В. Для объяснения этого экспериментального факта с помощью цилиндра Фарадея измерялась величина тока прошедших сгустков. Оказалось, что через волновод без диэлектрика проходил весь ток сгустков, а при наличии диэлектрических пластин с $\epsilon=9$ и шириной пролетного канала 16,4 мм через структуру проходило только 10% тока. Это свидетельствовало о практически полном перехвате тока из-за попадания электронов на стенки диэлектрических пластин и возникновения на них запирающего сгустки электростатического заряда, в результате чего прекращалось возбуждение кильватерного поля. Обнаруженное после экспериментов изменение цвета диэлектрических пластин также свидетельствует о попадании электронных сгустков на пластины.

Следует отметить, что в отличие от этого эксперимента, проведенные ранее эксперименты [11] с диэлектрическими пластинами из фторопласта ($\epsilon=2,1$) и волноводом с большим поперечным сечением 85×180 мм и шириной пролетного канала 41,6 мм, показали значительное увеличение амплитуды возбуждаемого поля при наличии диэлектрических пластин. Для этой диэлектрической структуры измерения прошедшего тока цилиндром Фарадея показали, что через структуру проходил весь ток. То есть ширина пролетного канала была достаточно большой для того, чтобы электроны сгустков не касались внутренних стенок диэлектрических пластин.

3.3. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ($\epsilon=9$) С ПЛАЗМЕННЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ ПРОЛЕТНОГО КАНАЛА

Ранее нами было показано [12], что при выводе релятивистского электронного пучка из линейного резонансного ускорителя в атмосферу образуется плазма, с которой пучок эффективно взаимодействует. При этом область резонансного плазменного образования, в которой плазменная частота близка к частоте следования сгустков ($\omega_p = \omega_m$), имеет длину около 150 мм. Поступая аналогично, мы провели исследование возбуждения кильватерных волн в

волноводно-диэлектрической структуре прямоугольного сечения ($\epsilon=9$) в условиях, когда внутри пролетного канала находился воздух при атмосферном давлении, который ионизируется проходящими сгустками релятивистских электронов.

Измерения амплитуды E_z -составляющей возбуждаемого поля (Рис.7) показали, что при наличии плазмы в пролетном канале диэлектрической структуры амплитуда сигнала возбуждаемого поля увеличивается в 20 раз по сравнению с амплитудой в вакуумном случае.

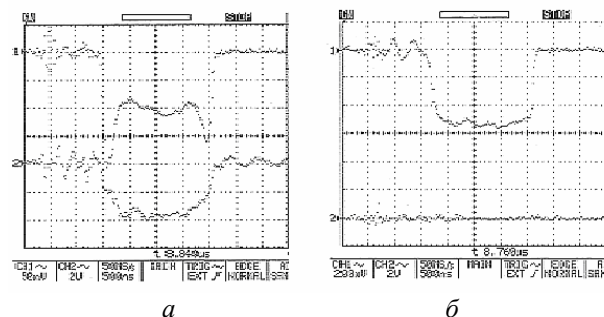


Рис.7. а – осциллограмма сигнала E_z -составляющей возбуждаемого поля (верхняя кривая) и тока пучка (нижняя кривая) в вакууме; б – осциллограмма сигнала E_z -составляющей возбуждаемого поля при наличии плазмы (верхняя кривая)

Осциллограммы, представленные на Рис.7 для вакуумного (Рис.7,а – чувствительность 50 мВ/дел) и плазменного (Рис.7,б – чувствительность 200 мВ/дел) вариантов, снимались одним и тем же ВЧ-зондом. При наличии плазмы сигнал дополнительно ослаблялся с помощью аттенуатора на 20 дБ.

Увеличение амплитуды возбуждаемого поля при наличии плазмы дает основание предполагать, что образованная плазма, во-первых, компенсирует накопленный электростатический заряд на диэлектрических пластинах и способствует хорошему прохождению электронных сгустков через структуру и, во-вторых, изменяет топографию возбуждаемых полей и увеличивает связь сгустков с возбуждаемой волной.

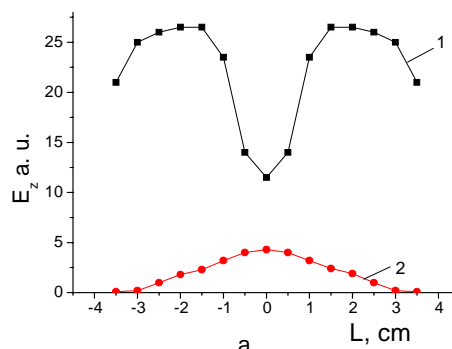


Рис.8. Распределение E_z -составляющей поля по оси y . 1 – диэлектрическая структура ($\epsilon=9$); 2 – волновод без диэлектрика

Распределение E_z составляющей возбуждаемого поля по оси y представлено на Рис.8. В направлении вдоль пластин максимумы амплитуды поля наблюдаются не на оси системы, а симметрично оси на расстоянии 20...30 мм от оси. Подобное распределение наблюдалось и в экспериментах с диэлектрическими

пластинами при $\epsilon=2,1$ и волноводом большого сечения [11]. Такого рода поперечная топография поля позволяет увеличить коэффициент трансформации в коллинеарных двухпучковых схемах ускорения при инжекции ускоряемого сгустка в область максимальной амплитуды возбуждаемого поля.

Если в такой волновод поместить диэлектрические пластины таких же размеров, но с $\epsilon=2,1$, то амплитуда СВЧ-излучения становится меньше, чем в волноводе без диэлектрических пластин. Это происходит в результате нарушения условий резонанса между собственной частотой диэлектрической структуры ω_0 и частотой следования сгустков ($\omega_m \neq \omega_0$).

Следует отметить, что амплитуда СВЧ-излучения на выходе такой структуры с плазменным заполнением и $\epsilon=9$ ($U=6$ В) даже в условиях полуоткрытого волновода значительно больше, чем амплитуда СВЧ-излучения при наличии резонатора в структуре с $\epsilon=2,1$.

Как показали измерения тока цилиндром Фарадея при токе пучка на выходе из ускорителя $I_b=0,5$ А, в условиях, когда образуется плазма, через структуру проходит 0,25 А, а в условиях вакуума – не более 0,05 А. Значительно большее увеличение амплитуды возбуждаемого поля по сравнению с увеличением тока можно объяснить тем, что при наличии плазмы в пролетном канале сгустки возбуждают кильватерное поле на всей длине диэлектрических пластин, а в вакуумном случае эта длина значительно сокращается.

Эффективное возбуждение полей в такой структуре сопровождается соответствующими значительными потерями энергии электронных сгустков. На Рис.9,а приведены потемнения стеклянной пластины, вызванные облучением релятивистскими электронными сгустками: (1) – на входе (2) – на выходе диэлектрической структуры. На Рис.9,б показаны кривые изменения плотности потемнения стеклянной пластины вдоль распространения пучка, по которым определяется экстраполированный пробег электронов, дающий возможность определить их энергию.

Оцененные таким образом потери энергии электронами сгустков, прошедшими через диэлектрическую структуру, составляют $\approx 30\%$. Кроме того, из рисунка видно, что размер сгустков увеличивается до размеров пролетного канала, что не исключает неполное прохождение канала сгустками и потерю тока в два раза.

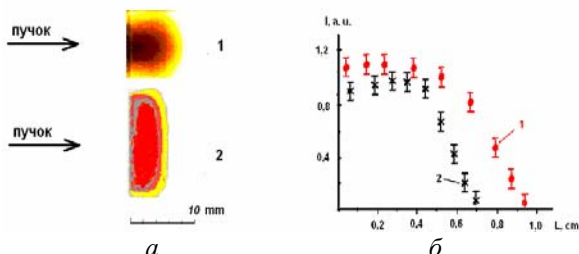


Рис.9. а – изменение потемнения стеклянной пластины, вызванное облучением релятивистскими электронными сгустками (1) – на входе и (2) – на выходе диэлектрической структуры, б – распределения плотности потемнения по толщине стеклянной пластины вдоль оси распространения пучка

Таким образом, наличие больших потерь энергии электронами сгустков и значительное увеличение амплитуды СВЧ-колебаний на выходе структуры по сравнению со структурой с $\epsilon=2,1$ свидетельствуют о возможности еще большего ускорения электронов в таких полях. Такие эксперименты будут проведены в ближайшее время.

ВЫВОДЫ

Показана возможность увеличения интенсивности возбуждаемого кильватерного поля последовательностью сгустков релятивистских электронов в диэлектрических структурах при наличии таких физических факторов, как многобаночность, многомодовость и при использовании резонаторной концепции.

При создании плазмы в пролетном канале диэлектрической структуры прямоугольного сечения последовательностью сгустков релятивистских электронов амплитуда возбуждаемого кильватерного поля значительно увеличивается, что может быть объяснено компенсацией электростатического заряда, образуемого электронным пучком при попадании на поверхность диэлектрика.

Возможность повышения эффективности возбуждения кильватерного поля при совпадении частоты следования сгустков с частотой основной моды диэлектрической структуры и одновременно с плазменной частотой (двойной резонанс) заслуживает дальнейшего исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Chojnack, W. Gay, P. Shoessow, J. Simpson. Accelerating Field Step-Up Transformer in Wake-Field Accelerator // *IEEE. PAC*. 1991, p.2557-2559.
2. M.C. Thompson, H. Badakov, G.T. Rozenzweig. Preliminary Results from the UCLA/SLAC Ultra-High Gradient Cerenkov Wakefield // *Proceedings Trim Sise*. UCRL-PROC-220696, 2006.
3. I.N. Onishchenko, V.A. Kiseljov, A.K. Berezin, et al. // *Proc. Of the PAC*. New York. 1995 (IEEE. New York, 1995). p.782.
4. T-B. Zhang, T.C. Marshall, J.L. Hirschfield, B. Hafizi // *Phys. Rev*. 1997, E56, №4, p.4647-4655.
5. I.N. Onishchenko, D.Yu. Sidorenko, G.V. Sotnikov // *Physical Review* 2002, E 65, p.066501-1-11.
6. K.L.F. Bane and P.B. Wilson. Wakefield and wakefield acceleration. *SLAC-PUB-3528*. 1984.
7. T.C. Marshal, I.N. Onishchenko, N.I. Onishchenko, G.V. Sotnikov // *VI Int. Workshop*. V1 (Inst. of Ahhl. Phys. Rus. Ac. Sci., Nizhny Novgorod, 2006). p.277.
8. T.C. Marshal, J-M. Fang, J.L. Hirshfield, and S-Y. Park. Multimode, multi bunch dielectric wakefield resonator // *9th Workshop*, edited by P.L. Colestock and S. Kelley. AIP Conf. Proc. 569, 2000, p.316-325.
9. В.А. Балакирев, И.Н. Онищенко, Д.Ю. Сидоренко, Г.В. Сотников // *Письма в ЖТФ*, 2003, т.29, в.14, с.39-45.
10. V.A. Kiselev, A.F. Linnik, T.C. Marshall, et al. // *Strong microwave in plasma*. N.: Novgorod, Russia. 2006, v.1, p.303-310.

11. V.A. Kiselev, A.F. Linnik, T.C. Marshall, et al. // *12th Advanced Accelerator Concepts Workshop*. 10-15 July 2006: AIP Conference Proceedings 2006, v.877, p.851-858.

12. A.K. Berezin, Ya.B. Fainberg, V.A. Kiselev, A.F. Linnik, V.V. Uskov, V.A. Balakirev, I.N. On-

ishchenko, G.L. Sidel'nikov, and G.V. Sotnikov // *Plasma Physics Reports*, 1994, v.20, No.7, p.596-602.

Статья поступила в редакцию 01.10.2009 г.

WAKEFIELD ACCELERATOR WITH HYBRID PLASMA-DIELECTRIC STRUCTURE OF RECTANGULAR CROSS-SECTION

V.A. Kiselev, A.F. Linnik, V.I. Mirny, I.N. Onishchenko, V.V. Uskov

Increase of wakefield intensity at its excitation by a long train of relativistic electron bunches in the rectangular dielectric structure when it is filled with plasma of resonant density was experimentally observed. The first portion of the bunches, produced by electron linac «Almaz-2», ionizes gas at atmospheric pressure so that plasma frequency becomes equal to bunch repetition frequency and to the frequency of principal eigen mode of the dielectric structure. Excitation enhancement at such resonant conditions is being studied taking into account the improvement of bunch train propagation in the transit channel caused by charge compensation with plasma and the electrodynamic change of the dielectric structure at filling with plasma.

КІЛЬВАТЕРНИЙ ПРИСКОРЮВАЧ З ГІБРИДНОЮ ПЛАЗМОВО-ДІЕЛЕКТРИЧНОЮ СТРУКТУРОЮ ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ

В.О. Кисельов, А.Ф. Лінник, В.І. Мирний, І.М. Оніщенко, В.В. Усков

Експериментально спостерігається збільшення інтенсивності кільватерного поля при його збудженні послідовністю великого числа згустків релятивістських електронів в прямокутній діелектричній структурі, коли вона заповнюється плазмою резонансної густини. Перша порція згустків, отриманих на електронному лінаці «Алмаз-2», іонізує газ при атмосферному тискові, так що плазмова частота збігається з частотою слідування згустків і частотою основної моди діелектричної структури. Зростання ефективності збудження при таких умовах досліджується з врахуванням поліпшення проходження послідовності згустків через канал структури, яке викликане компенсацією просторового заряду плазмою, та змінами електродинаміки діелектричної структури при заповненні плазмою.