

07.10;11;12

©1994

КОЛЛЕКТИВНОЕ УСКОРЕНИЕ ИОНОВ НА ОСНОВЕ РЕЗОНАНСНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОТОИОНИЗАЦИИ

В.В.Анциферов, Г.И.Смирнов, Г.Г.Телегин

В [1,2] были сформулированы принципы использования коллективных электрических и магнитных полей, порождаемых интенсивными релятивистскими пучками электронов, для фокусировки и ускорения положительных ионов. Достаточно интенсивное лазерное излучение является весьма эффективным средством управления процессами коллективной стабилизации и ускорения ионных пучков (см., например, [3-6]). В настоящей работе рассматриваются эффекты формирования и коллективного ускорения ионных пучков на основе резонансной поверхностной фотоионизации.

Целью предлагаемого нового метода ускорения ионов является повышение эффективности, упрощение конструкции, уменьшение размеров и увеличение частоты следования импульсов коллективного ускорителя ионов. Поставленная цель достигается тем, что в коллективном лазерном ускорителе ионов на основе использования интенсивного релятивистского электронного пучка рабочий газ ионизуется путем резонансного возбуждения его атомов вблизи внутренней поверхности стенок ускорительной камеры. Если возбужденное резонансным излучением состояние атома соответствует области разрешенной полосы металла выше уровня Ферми, то основным механизмом фотоионизации является безактивационная перезарядка между атомом и металлом. Дискретное возбужденное состояние атома, расположенного в непосредственной близости от металлической поверхности, уподобляется автоионизационному уровню на фоне континуума, образуемого квазинепрерывным спектром нормальных металлов (рис. 1) [7,8]. Способ использования резонансной поверхностной фотоионизации для получения ионов был впервые реализован в работах [7,9].

В предлагаемом устройстве для ускорения ионов проявляются новые технические свойства резонансной поверхностной фотоионизации; при ее использовании в управляемом лазером коллективном ионном ускорителе положительные ионы, образуемые при лазерном возбуждении атомов рабочего газа вблизи поверхности ускорительной камеры,

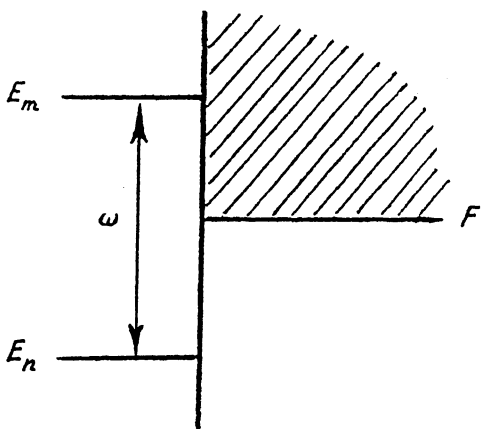


Рис. 1. Схема резонансной поверхностной фотоионизации. $E_{m,n}$ — энергетические уровни атома, F — уровень Ферми металла, ω — частота резонансного излучения ($\omega = \omega_{mn} = (E_m - E_n)/\hbar$).

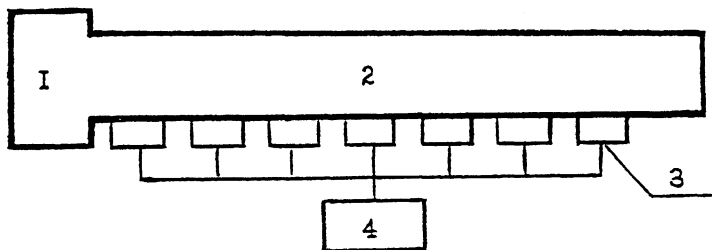


Рис. 2. Схема лазерного коллективного ускорителя ионов. 1 — источник интенсивного релятивистского электронного пучка, 2 — ускорительная камера, 3 — полупроводниковые лазеры, 4 — блок синхронизации.

притягиваются под действием кулоновских сил интенсивным релятивистским электронным пучком и нейтрализуют его отрицательный пространственный заряд, создавая тем самым виртуальный катод. Инжектируемые (например, с помощью специального инжектора, как в [3,4]) в область виртуального катода ионы ускоряются при передвижении виртуального катода вместе с лазерным полем вдоль камеры. В итоге формируется новый высокоэффективный режим коллективного ускорения.

Функциональная схема предлагаемого устройства для коллективного ускорения положительных ионов приведена на рис. 2. Устройство содержит источник интенсивного релятивистского электронного пучка 1, который состыкован с наполненной рабочим газом секционной ускорительной камерой 2, имеющей вдоль боковой стенки ряд окон для пропускания излучения, пристроенных к ним полупроводни-

вых лазеров 3 и электронный блок синхронизации лазеров 4.

Устройство действует следующим образом. Источником 1 интенсивный релятивистский электронный пучок направляют в камеру 2 с рабочим газом. Через определенный промежуток времени срабатывает ближайший к источнику лазер, его излучение проходит через боковое окно камеры в поперечном направлении и возбуждает атомы рабочего газа. Возбужденные атомы ионизируются на внутренней поверхности камеры, сделанной из материала, работа выхода которого превышает энергию ионизации возбужденных атомов. При этом образуется локализованное облако ионов, которое притягивается к электронному пучку и образует виртуальный катод. В область виртуального катода инжектируются ионы, которые необходимо ускорить. Движение виртуального катода вдоль камеры поддерживается путем последовательного включения через определенные интервалы времени других лазеров, подобных первому. Последовательность и моменты включения лазеров определяются их пространственным размещением и скоростью перемещения фронта падения потенциала в области виртуального катода. Варьируя временные задержки последовательного включения лазеров, можно ускорить захваченные ионы до околосветовых скоростей.

Конкретная реализация предложенного метода ускорения ионов может быть осуществлена, в частности, при заполнении камеры рабочим газом из атомов цезия, пары которого использовались ранее в коллективном ионном ускорителе [3]. Полупроводниковые лазеры могут эффективно возбуждать резонансный уровень атомов цезия $6^2P_{3/2}^0$, энергия ионизации которого равна 2.44 эВ. Если материал внутренней поверхности боковых стенок ускорительной камеры имеет работу выхода больше 2.5 эВ, то возбужденные атомы цезия ионизируются вблизи стенок с вероятностью, близкой к единице. Таким материалом может служить магний, имеющий работу выхода 3.66 эВ.

Преимущество предлагаемого ускорителя ионов с использованием резонансной фотоионизации обусловлено тем, что в данном случае с релятивистским электронным пучком взаимодействуют только ионы, оторвавшиеся от стенок ускорительной камеры, а не квазинейтральная плазма. Электроны же остаются в поверхностном слое стенок камеры, заряжая его отрицательно, что улучшает стабилизацию электронного пучка в области виртуального катода. Получение ионов посредством резонансной поверхностной фотоионизации существенно повышает эффективность ускорения, поскольку процесс ионизации возбужденных атомов вблизи поверхности имеет практически единичную вероят-

ность [8,10]. Сечение процесса резонансного возбуждения очень велико $\sim (10^{-12} - 10^{-14} \text{ см}^2)$, тогда как сечение процесса фотоионизации возбужденных атомов составляет крайне малую величину порядка $10^{-17} - 10^{-18} \text{ см}^2$ [11]. Рубиновый лазер, который использовался в [4] для накачки лазера на красителе, имеет кпд не более 0.2% [12], а коэффициент преобразования его излучения красителем не превышает 25%, так что кпд всей системы резонансного возбуждения рабочего газа составляет не более 0.05%. Полупроводниковый лазер, предназначенный для использования в предлагаемом коллективном ионном ускорителе, имеет кпд не менее 30%. Кроме того, вследствие способности полупроводниковых лазеров излучать с высокой частотой повторения импульсов, ускоритель тоже приобретает реальную возможность работать в таком же режиме, что имеет принципиальное значение для ряда важных приложений.

Следовательно, указанные преимущества предложенного способа ускорения положительных ионов обуславливают повышение эффективности, упрощение конструкции, уменьшение размеров и увеличение частоты повторения импульсов коллективного лазерного ускорителя ионов.

Список литературы

- [1] Будкер Г.И. // Атомная энергия. 1956. Т. 1. С. 9-19.
- [2] Veksler V.I. // Proc. 6 Intern. Conf. High Energy Acceler. Cambridge: MA, 1967.
- [3] O'Shea P.G., Destler W.W., Rodgers J., Segalov Z. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 49. P. 1696-1698.
- [4] Olson C.L., Frost C.A., Patterson E.L. et al. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 56. P. 2260-2263.
- [5] Loeb A., Friedland L. // Phys. Rev. A. 1986. V. 33. P. 1828-1835.
- [6] Смирнов Г.И., Телегин Г.Г. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. С. 1903-1906.
- [7] Малышев Г.Ф., Телегин Г.Г. // ЖТФ. 1986. Т. 56. С. 1195-1198.
- [8] Смирнов Г.И., Телегин Г.Г. // Препринт ИТФ СО АН СССР. 1990. № 229.
- [9] Auschwitz B., Lactmann K. // Chem Phys. Lett. 1985. V. 113. P. 230-233.
- [10] Чаплик А.В. // ЖЭТФ. 1986. Т. 54. С. 332-338.
- [11] Ахулин В.М., Карлов Н.В. Интенсивные резонансные взаимодействия в квантовой электронике. М.: Наука, 1987. С. 186.
- [12] Реди Дж. Промышленные применения лазеров. М.: Мир, 1981.

Институт ядерной физики
Новосибирск

Поступило в Редакцию
12 февраля 1994 г.