

МАССИВЫ ЭМИТТЕРОВ НА ОСНОВЕ ИСТОЧНИКОВ ИОНОВ ИЗ
ИОННОЙ ЖИДКОСТИ, ПОСТРОЕННЫЕ БОЛЬШИХ ПОРИСТЫХ
ПОДЛОЖКАХ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Дэниел Джордж Кортни, Паоло Лозано

Июль 2011 года

#9-11

МАССИВЫ ЭМИТТЕРОВ НА ОСНОВЕ ИСТОЧНИКОВ ИОНОВ ИЗ
ИОННОЙ ЖИДКОСТИ, ПОСТРОЕННЫЕ БОЛЬШИХ ПОРИСТЫХ
ПОДЛОЖКАХ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Дэниел Джордж Кортни, Паоло Лозано

Июль 2011 года

#9-11

Эта работа основана на **unaltered text** реферата Дэниела Джорджа Кортни, присланного в **Department of Aeronautics and Astronautics** с целью выполнения части требований для получения степени доктора философии Массачусетского технологического института.

Массивы эмиттеров на основе источников ионов из ионной жидкости, построенные больших пористых подложках для двигателей космических аппаратов

Дэниел Джордж Кортни

Прислано в **Департамент Аэронавтики и Астронавтики**

3 июля 2011 года

с целью выполнения части требований для получения степени доктора философии

Реферат

Источники ионов из ионных жидкостей (ИИИЖ) являются подмножеством электрораспылителей, способных вытягивать биполярные пучки чистых ионов из ионных жидкостей. Ионные жидкости – соли, жидкие при комнатной температуре, характеризующиеся ничтожно малым давлением насыщенных паров, относительно высокой проводимостью и поверхностным натяжением, меньшим, чем у воды. В сравнении с коллоидными формами электрораспылителей, известными по применению в спектроскопии, ИИИЖ выдают моноэнергетические пучки с крайне малым разбросом энергий, состоящие преимущественно из ионов. В этом отношении они похожи на жидкометаллические источники ионов, но позволяют эмитировать как положительные, так и отрицательные ионы из (летучих|лёгких...) рабочих тел, остающихся в жидком виде в широком диапазоне температур.

В качестве электроракетных двигательных установок эти источники характеризуются высоким КПД и высоким удельным импульсом. Более того, низкий расход и ничтожное давление насыщенных паров ионных жидкостей позволяют создать пассивную систему подачи рабочего тела, которая может работать в условиях вакуума. Эта особенность позволяет избавиться от топливных баков или клапанов, которые (и баки, и клапаны) плохо поддаются минитюризации для использования на малых спутниках. Однако тяга этих

двигателей очень мала, не более 0,1 нН. Как следствие, с самого начала рассматривались компактные массивы активных ИИИЖ. Если получится достигнуть **высокой** (modest) плотности упаковки массивов (~ 5 эмиттеров/ мм^2), ИИИЖ как двигатели позволят создать масштабируемые двигательные установки, способные дать достаточную тягу для использования на малых спутниках, сравнимые по характеристикам с применяемыми, но трудно поддающимися миниатюризации двигателями на основе плазменных источников ионов.

В этом исследовании рассматривались способы создания массивов ИИИЖ из больших пористых подложек как части всего процесса микропроизводства полноценного двигателя. Реферат включает исследования возможных способов производства, которые одновременно подходили бы и для формирования массивов ИИИЖ, и интегрировались в технологию сборки всего двигателя. Электрохимическое травление обладает высокой точностью и может проходить со скоростью, ограниченной условиями переноса массы. В настоящем реферате мы покажем, как этот способ травления можно использовать для аккуратного удаления материала с поверхности большой металлической подложки без повреждения внутренней структуры пор. **Сухие плёночные фоторезисты** рассматриваются как подходящая альтернатива **to spin in techniques** для пористых материалов и могут применяться совместно с процессом электрохимического травления.

Двухшаговый процесс формирования массива ИИИЖ появился в результате численного моделирования процесса травления для предсказания профиля эмиттера и исследования влияния непостоянных условий травления. Эти концепции были апробированы на самодельной автоматизированной станции травления, способной к повторяемому производству массивов из 480 эмиттеров, разделённых 500 нм apart на пористой никелевой подложке размером 1x1 см, установленной и спозиционированной на кремниевой упаковке двигателя. Чтобы удовлетворительно работать с ИИИЖ, эмиттеры обычно имеют высоту 165 нм и закруглённые концы. Pulsed voltage conditions

were found to значительно enhance wafer level uniformity позволяющих формировать действующие эмиттеры на расстоянии нескольких сотен нм от границы подложки. Чтобы структуры подходили для использования их в качестве ИИИЖ, они **smoothed** и закругляются в повторном процессе травления с использованием электролитов **doped with хлорид никеля to suppress transient effects. These doped solutions** позволяют селективно удалять несколько нм поверхности пористого материала **while maintaining smooth features**.

Эти массивы были установлены и спозиционированы с электростатической решёткой, чтобы продемонстрировать их способности к эмиссии. Рабочее тело подавалось к эмиттерам по капиллярам в пористом материале и затем извлекалось разницей потенциалов не менее чем 850 В. Ток пучка достигал 100 нА как для положительной, так и для отрицательной полярности при использовании ионных жидких рабочих тел EMI-Im и EMI-BF₄. Два законченных устройства при испытаниях показали высокие токи пусков и высокий уровень transmission fractions (~88-100%) в обоих случаях.