

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРЕГРАДУ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ УДАРЕ

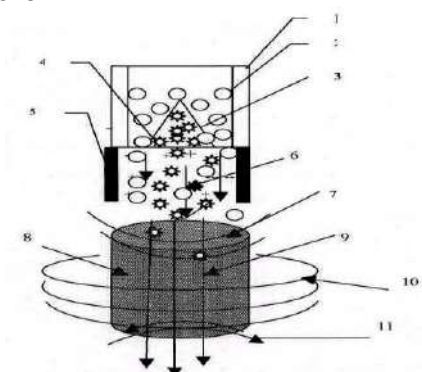
Овчинников В.И., Ильющенко А.Ф.

ОХП НИИ ИП с ОП ГНУ ИПМ, г. Минск, Беларусь, E-mail: impuls@bn.by

В работе представлены результаты исследований некоторых явлений вызываемых высокоскоростным ударом, которые представляют научный интерес, поскольку многие детали сопровождающих удар процессов: плазмообразования, эмиссии электронов и ионов, возникновение световых вспышек, инициирование электрических разрядов, импульса электромагнитного и ионизирующего излучения и т.д. пока исследованы недостаточно.

Образование магнитного поля в результате высокоскоростного удара

В результате соударения кумулятивной струи со скоростью 1,5-3,0 км/с, в состав которой входит поток ионизированных частиц порошка и плазмы, материал мишени намагничивается и на поверхности раздела и вокруг мишени индуцируется магнитное поле (рис. 1), величина которого будет зависеть от структуры, магнитных свойств материала и ионизации потока.



- 1 – корпус заряда; 2 – взрывчатое вещество (ВВ); 3 – кумулятивная воронка; 4 – частицы порошка; 5 – регулирующая опора; 6 – поток ионизированных частиц порошка и плазмы; 7 – ударная волна; 8 – металлический цилиндр; 9 – электрическое поле; 10 – силовые линии магнитного поля; 11 – отраженная волна

Рисунок 1 – Схема формирования электромагнитного поля

Импульсное магнитное поле индуцирует токи в металлическом проводнике, между токами, и магнитным полем возникают электромеханические силы взаимодействия. Рассмотрим, как будет действовать сила на единицу объема проводника в виде металлического цилиндра, находящегося в магнитном поле. Она будет равна:

$$\frac{d\vec{F}}{dV} = \vec{j} \times \vec{B} \quad (1)$$

где $\vec{j}$ – вектор плотности тока, индуцированного в проводнике;

$\vec{B} = \mu \vec{H}$ – вектор магнитной индукции;

μ – магнитная проницаемость проводника;

$\vec{H}$ – вектор напряженности магнитного поля;

V – объем проводника.

Из уравнения видно, что сила, действующая на заготовку, возрастает с увеличением плотности тока. В свою очередь, плотность тока тем больше, чем выше электропроводность заготовки. Поэтому магнитному воздействию наиболее хорошо подвергаются заготовки из материалов с большой электропроводностью (алюминия, меди, серебра и др.). Максимальное давление, действующее на заготовку, находящуюся в магнитном поле с напряженностью H , определяется уравнением:

$$p = \mu \frac{H^2}{8\pi} \quad (2)$$

С достаточной степенью точности можно считать, что магнитное поле распространяется в заготовке на глубину:

$$\Delta\delta = c\sqrt{\frac{\rho}{2\pi\omega}} \quad (3)$$

где ρ - удельное сопротивление материала;
 ω - частота.

Таким образом, глубина проникновения магнитного поля в заготовку зависит от удельного сопротивления материала заготовки и частоты. В связи с этим при осуществлении процесса электромагнитного деформирования металла большое значение имеет частота импульса (частота разрядного тока). Максимальное влияние магнитного поля на материал заготовки будет проявляться при глубине проникновения меньшей толщины заготовки. Если глубина проникновения превышает толщину заготовки, давление будет значительно меньше определяемого уравнением (4).

$$p = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2,5 \cdot 10} \text{ кГ/см}^2 \quad (4)$$

где H_1 и H_2 – напряженность поля перед стенкой заготовки и за ней.

Анализ проведенных измерений индукции магнитного поля для различных материалов подтверждает, что наибольшее значение магнитной индукции фиксируется для материалов с большим коэффициентом магнитной восприимчивости, ферритов, сталей аустенитного класса. При обработке таких материалов, как А1, Си, Ti величина магнитной индукции практически не изменяется и остается постоянной на уровне фона.

Зависимость магнитной индукции от энергии ускорителя

Использование взрывных ускорителей в экспериментах по высокоскоростному соударению микрочастиц с преградой, ранее не обращалось внимания и не учитывалось влияние неидеальной плазмы взрыва и заряженных микрочастиц в этих процессах, на изменение величины электромагнитного поля (ЭМП) и его влияния на обрабатываемые материалы. Аналогичные процессы происходят при взаимодействии сгустков космической пыли с космическими аппаратами (КА).

Продукты взрыва (ПВ) взрывчатых веществ (ВВ), представляют собой смесь газообразных и конденсированных продуктов при давлении 10- 40 ГПа и температуре 300-5000 К. В работе [1] показано, что подобные состояния типичны для низкотемпературной неидеальной плазмы с малой концентрацией заряженных частиц.

Проведенное экспериментальное исследование зависимости индукции магнитного поля от изменения энергии (массы) зарядов ускорителя, применяемых при разгоне микрочастиц, показало, что значение индукции магнитного поля увеличивается с увеличением энергии (массы) заряда, [2, 3]. Это связано с тем, что большие градиенты за фронтом инициирующей ударной волны в конденсированных ВВ могут приводить к распределению электрических зарядов в детонационной плазме. Результаты зависимости влияния энергии взрывного ускорителя (массы заряда) на изменение индукции магнитного поля представлены на рисунке 2. Распределение электрических зарядов вызывает распределение электрического поля и потенциала.

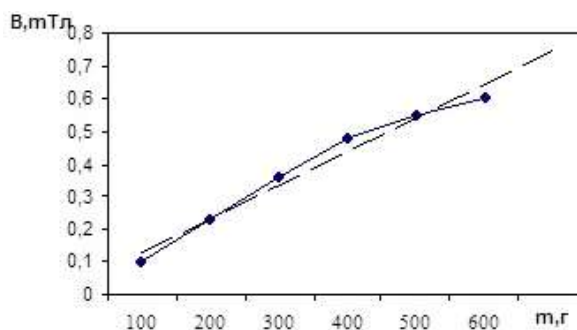


Рисунок 2 – Зависимость индукции магнитного поля от (энергии потока) массы заряда

Распределение потенциала было обнаружено при исследовании электропроводности детонационной плазмы вдоль распространения детонации в работе [3].

Влияние электромагнитного поля на полупроводниковые материалы

Аналогия лабораторных исследований взаимодействия высокоскоростных потоков микрочастиц (ПМЧ), сопровождающегося импульсом электромагнитного излучения (ЭМИ), с одной стороны, и взаимодействие сгустков космической пыли с КА и применяемых в системах их управления полупроводниковых приборов, с другой стороны, вызывает необходимость изучения воздействия ЭМИ на кремниевые полупроводниковые структуры, являющиеся основой для изготовления полупроводниковых приборов, в т.ч. интегральных микросхем (ИМС).

Наиболее информативным является исследование тестовых структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), так как в этих структурах, наблюдаются заметные деградиационные процессы. В работе использовались специально изготовленные МДП-структуры ($\text{Al-SiO}_2\text{-Si}$) до и после воздействия ПМЧ. После трехкратного воздействия ПМЧ и следовательно импульсов ЭМП длительностью 10 мкс с амплитудой $\sim 10^5$ А/м замечено смещение положения пика напряжений (U , В) в сторону меньших значений. Последующий анализ позволил обнаружить колебательное явление МДП – пластины, сопровождающееся изменением распределения U . Наряду с изменением U появилось около 15 % структур с низким значением $U < 2\text{В}$, что соответствует появлению дефектных МДП-структур. Это свидетельствует о необратимом изменении примесно-дефектных комплексов в полупроводнике и его деградации.

Особенно сильное влияние на параметры полупроводниковых структур может оказывать одновременное воздействие акустических колебаний (в нашем случае колебания, вызванные ударно-волновыми процессами соударения с потоком микрочастиц, частотой ~ 1 ГГц), что приводит к повышению динамической поляризации ядер, которая особенно сильно возрастает при условиях, соответствующих ядерному акустическому резонансу. Дополнительное акустическое воздействие приводит к наиболее значительному изменению предпробивных напряжений.

Снижения воздействия импульсного электромагнитного излучения на деградацию полупроводниковых приборов можно получить, применяя материалы с высокими магнитными характеристиками и изготовлением многослойных корпусов и защитных экранов для ИМС.

Заключение

Получено впервые экспериментальное подтверждение теоретической модели формирования электромагнитного излучения при соударении и взаимодействии высокоскоростного потока микрочастиц с металлической преградой. Установлены экспериментальные и теоретические зависимости интенсивности электромагнитного излучения от условий движения, распределения и величины зарядов в неидеальной плазме потока, зависящих от энергии ускорителя. Получена зависимость изменения интенсивности электромагнитного излучения от энергии потока микрочастиц, что вызывает изменение индукции магнитного поля от 5 до 80 мТл.

Список литературы:

1. Гилев, С.Д. Электропроводность продуктов детонации тротила [Текст] / С.Д. Гилев, А.М.Трубачев //Труды международной конференции 3-и Харитоновские научные чтения.- Саров.- 2002.- С.59-64.
2. Месяц, Г. А. Первичные и вторичные процессы взрывной электронной эмиссии [Текст]/ Г. А.Месяц// «Ж. прикл. мех. и техн. физ.».- 1980. - № 5. - с. 138.
3. Антипенко, А.Г. О зоне электропроводности при детонации конденсированных взрывчатых веществ [Текст] / А.Г. Антипенко, А.Н. Дремин, В.В. Якушев //ДАН СССР.- 1975.- Т.225, №5.- С.1086-1088.