

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ И ТОКА ЧЕРЕЗ МЕТАЛЛИЗОВАННУЮ ПЛЕНКУ, ИСПАРЯЕМУЮ ВСПЫШКОЙ ЛАЗЕРА (ИМПУЛЬСНОЕ ОКНО ДЛЯ СВЧ). ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗКИХ ФРОНТОВ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ.

Г. А. Аскаръян, Н. М. Тарасова

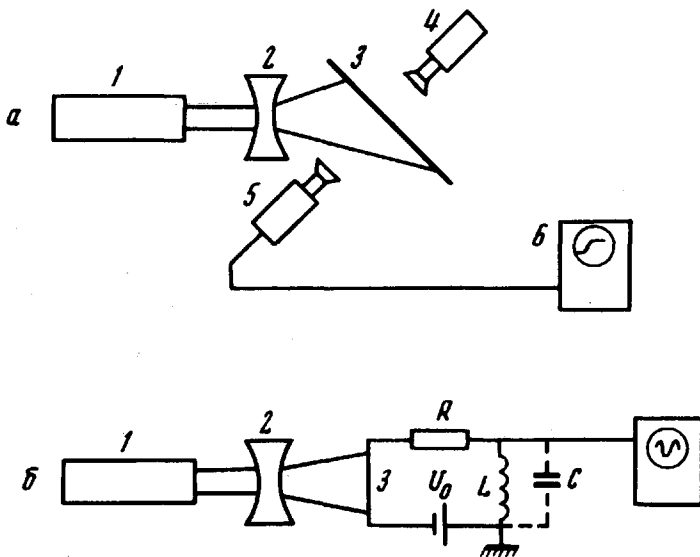
Показано, что при испарении металлизированной пленки коротким лазерным импульсом могут быть получены короткие фронты выпуска СВЧ, доходящие до долей длительности лазерного импульса.

Показано, что испарение вспышки лазера металлизированной пленки, по которой течет ток приводит к резкому прерыванию тока и появлению перенапряжения.

Рассмотрены возможности использования ЭМ импульсов с крутыми фронтами. Отмечено, что такие импульсы создают направленное движение электронов плазмы и постоянную составляющую магнитного поля.

В работе описаны эксперименты по быстрому лазерному отпиранию СВЧ излучения и прерыванию тока и дается обзор возможных применений СВЧ излучения с крутым фронтом нарастания или спада.

1. Прохождение СВЧ излучения и тока через металлизированную пленку, испаряемую лазером.



Известно, что лазерное излучение может вызвать быстрое испарение металлического слоя. Это явление используют, в частности, для укорочения переднего фронта лазерного импульса, помещая на пути нефокусированного мощного лазерного луча пленку с тонким металли-

ческим покрытием, которое испаряется за время порядка десяти наносекунд. (Время испарения, по крайней мере, не превосходит времени прогрева $t_T \sim d^2/\kappa \approx 1 \div 10$ нсек при начальной толщине слоя $d \lesssim 0,1 \div 0,3$ мкм и температуропроводности $\kappa \approx 0,1$ см²/сек).

В данной работе исследовано пропускание СВЧ излучения через металлизированную пленку при ее испарении лазерным импульсом. Загадывание и фронт пропускания могли оказаться достаточно длительными вследствие большого времени жизни неплотной, но действующей на СВЧ термической плазмы, образованной при нагреве металла пленки и поверхностного пробоя, но эксперимент показал, что пропускание получается достаточно коротким за время порядка времени испарения пленки.

На рис. 1, а дана схема установки. Был использован неодимовый лазер (1) с модулированной добротностью, дающий импульс с полушириной 20 нсек и энергией до 5 дж. Луч лазера проходил через металлизированную полимерную пленку (3), помещенную под углом 45° к лазерному лучу. По нормали к пленке направлялся луч СВЧ излучения от генератора (4) с длиной волны $\lambda = 1$ см, по другую сторону пленки помещался приемный детектор (5), сигнал от которого регистрировался быстрым осциллографом (6). Луч лазера расфокусировался рассеивающей линзой (2), передвижение которой позволяло менять размер пятна луча на пленке от 1,5 до 5 см. После вспышки лазера металлизация отсутствовала на всем пятне луча и образованное "окно" очищенной полимерной пленки было прозрачно для СВЧ.

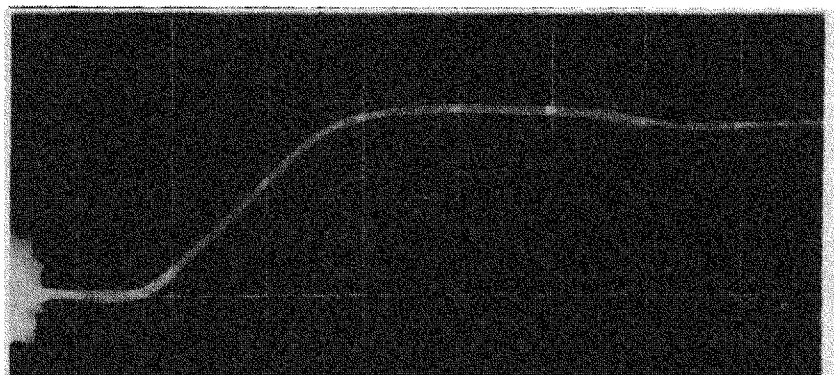


Рис. 2

На рис. 2 дан импульс с детектора, регистрирующего появление СВЧ при лазерном испарении пленки на развертке 10 нсек/дел для плотности лазерной энергии $\approx 0,3$ дж/см². Видно, что фронт возрастания до половинной амплитуды не превышает 10 нсек. Возможно, что поверхностное поглощение затягивает быстрое включение СВЧ, которое можно ускорить, уменьшая крутизну и длительность лазерного импульса, уменьшая толщину пленки и подбирая оптимальной мощность лазерного импульса. Такая пленка может быть использована как стенка высокодобротного резонатора, в котором накаливается излучение и быстро выпускается при испарении металлизации пленки.

Были исследованы (см. рис. 1, б) индукционные перенапряжения, возникающие при испарении пленки, по которой проходил ток. Резкое прерывание тока при лазерном испарении пленки, создавало импульсы напряжения, связанные с самоиндукцией $U \approx LI$ или с перекачкой энергии индуктивной в емкостную $\mathcal{E} \approx LI^2 \approx CU^2$ в случае ударного возбуждения контура, через который протекал ток, т. е. $U \approx LI_0 / \tau \approx \sqrt{L/CU_0} / R$.

Были получены при $L/C = 10^7$ м/ф и начальном токе $I_0 \approx 1$ А перенапряжения $U/U_0 \approx 10^3$.

Возможно создание импульсных "штор" для СВЧ, включаемых при поверхностном лазерном пробое.

Импульсные окна, выпускающие СВЧ из волноводов и резонаторов, могут создать волновые поля с резкими фронтами, которые обладают рядом специфических свойств в отношении взаимодействия с частицами.

2. Применение СВЧ излучения с резкими фронтами. Градиентное ускорение частиц. Генерация постоянных токов СВЧ полями.

Волновые поля с резким фронтом могут быть использованы, например, для градиентного ускорения частиц бегущим ЭМ полем, при котором сила зависит от градиента поля

$$f = - \frac{e^2}{m\omega^2} \nabla(E^2)_{cp}$$

Резкое нарастание или спад СВЧ поля позволяет осуществить направленное движение электронов в плазме. Например, для нарастающего поля

$$E(t) = E_0(1 - e^{-t/T}) \sin \omega t \quad \text{при } t > 0$$

получим при $\dot{x}(0) = 0$ для $t \gg T$ скорость $\dot{x} = -v_0 \cos \omega t + v_0 / [1 + (\omega T)^2]$,

где $v_0 = eE/m\omega$ — амплитуда скорости осцилляции. Видно, что при $\omega T \gg 1$ постоянная слагающая скорости $v_c \ll v_0$, в то время как при $\omega T \lesssim 1$, т. е. для неплавных фронтов нарастания $v_c \approx v_0$.

Для резкого включения и экспоненциального спада поля $E(t) = E_0 e^{-t/T} \sin \omega t$ при $t > 0$; получим при $\dot{x}(0) = 0$ для $t \gg T$ остаточную скорость

$$v_c = -v_0 / \left[1 + \left(\frac{1}{\omega T} \right)^2 \right].$$

Создание направленного тока и квазистационарного магнитного поля может проявиться при падении мощных крутых СВЧ или световых импульсов на плазму (в частности, рассмотренный эффект может быть одной из причин возникновения спонтанных магнитных полей, наряду со световым давлением и термоэлектронным движением). [1-2]

Физический институт
им. П.М.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
7 мая 1973 г.

Литература

- [1] В.В.Коробкин, Р.В.Серов. Письма в ЖЭТФ, 4, 103, 1966.
[2] Г.А.Аскарьян, М.С.Рабинович, А.Д.Смирнова, В.Б.Студенов. Письма в ЖЭТФ, 5, 116, 1967.