

ного на высоте $h=6a^2/(7\beta) + O(a^3)$ относительно невозмущенного, что представляет собой типично нелинейный эффект.

3. Существование таких волн обусловлено наличием стратификации: при $\omega_0=0$ они не имеют места.

Автор благодарит А. Г. Свешникова за внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Габов С. А., Свешников А. Г. Задачи динамики стратифицированной жидкости. М., 1986.
2. Габов С. А., Свешников А. Г. Линеиные задачи теории нестационарных внутренних волн. М., 1990.
3. Сретенский Л. Н. Теория волновых движений жидкости. М., 1977.
4. Бицадзе А. В. Некоторые классы уравнений в частных производных. М., 1981.
5. Ии Чна-шун//Нелинейные волны. М., 1977.
6. Габов С. А., Тверской М. Б.//ЖВМиМФ. 1988. 28, № 4. С. 608.
7. Габов С. А.//ДАН. 1988. 305, № 5. С. 1036.
8. Уизем Дж. Линеиные и нелинейные волны. М., 1977.
9. Бреховских Л. М., Гончаров В. В. Введение в механику сплошных сред. М., 1982.
10. Вайнберг М. М., Треногин В. А. Теория ветвления решений нелинейных уравнений. М., 1969.

Поступила в редакцию
15.01.96

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1996. № 4

РАДИОФИЗИКА

УДК 621.385.6

МЕТОД РАСЧЕТА ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПЛОСКОГО ОНДУЛЯТОРА

В. А. Кубарев

(кафедра физической электроники)

Методика, основанная на использовании потенциалов для периодических систем линейных зарядов, позволяет получить точные выражения для параметров электростатического ондулятора. Рассмотрена и оптимизирована конструкция продольно-поперечного типа с овальными и гофрированными электродами.

В зависимости от направления вектора электрического поля относительно плоскости симметрии электростатического ондулятора (ЭСО), в которой транспортируется электронный пучок, ондуляторы можно разделить на поперечные (поле перпендикулярно плоскости симметрии), продольные (поле в плоскости симметрии) и продольно-поперечные (присутствуют обе компоненты поля). Конструктивно это определяется геометрией электродов и распределением потенциалов на них.

Интерес к ЭСО связан с тем, что, во-первых, поперечные ЭСО могут использоваться для формирования винтовых релятивистских электронных пучков в СВЧ-устройствах с поперечным взаимодействием [1, 2]. Во-вторых, рассматриваются возможности применения продольных ЭСО в электростатических лазерах на свободных электронах [3]. В-третьих, ЭСО перспективны в качестве совмещенных ускоряюще-фокусирующих структур в линейных ускорителях электронов и ионов ондуляторного типа [4].

Методы расчета поперечных и продольных ЭСО изложены соответственно в работах [5, 6]. На основе аналогичного подхода далее рассмотрим ЭСО продольно-поперечного типа.

В этом случае, используя методику [5, 6], потенциал можно записать в виде (множители $k=2\pi/d$, где d — период ондулятора, в аргументах опущены)

$$\varphi = A \ln \frac{\operatorname{ch}(x+c) + \cos(y)}{\operatorname{ch}(x-c) - \cos(y)}, \quad A = \frac{\varphi_0}{\ln(Z)}, \quad Z = \frac{\operatorname{ch}(x_1+c) + 1}{\operatorname{ch}(x_1-c) - 1}, \quad (1)$$

где x_1, φ_0 — ширина рабочего зазора и потенциал электрода. Положительные линейные заряды расположены в точках $y=nd, x=c$, а отрицательные — в точках $y=(n+1/2)d, x=-c, n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Семейство эквипотенциалей описывается уравнением

$$\cos(y) = \frac{R \operatorname{ch}(x-c) - \operatorname{ch}(x+c)}{R+1}, \quad R = Z^{\varphi/\varphi_0}. \quad (2)$$

Имеются овалы и гофрированные эквипотенциалы, разделенные сепаратрисой, уходящей на бесконечность.

Для ондулятора с овальными электродами связь параметра c с его размерами получим из условия $\varphi(x_2, 0) = \varphi_0, x_2$ — высота электрода:

$$\operatorname{sh} c = \frac{\operatorname{ch} x_2 - \operatorname{ch} x_1}{\operatorname{sh}(x_2 - x_1)}. \quad (3)$$

Максимальная полуширина электрода y_0 задается уравнением (при $x=x_0$)

$$\cos y_0 = \frac{(\operatorname{sh} c - \operatorname{sh} x_1)}{\operatorname{ch} x_1 \operatorname{sh}(x_2 - x_1)/2}, \quad \operatorname{sh} x_0 = \operatorname{sh} c \operatorname{ch}(x_2 - x_1)/2 \quad (4)$$

и при большой его высоте ($x_2 \gg x_1$) стремится к четверти периода ондулятора.

Для ондулятора с гофрированными электродами из условия $\varphi(x_2, \pi) = \varphi_0$ соответственно получим

$$\operatorname{sh} c = \frac{\operatorname{ch} x_2 + \operatorname{ch} x_1}{\operatorname{sh}(x_2 - x_1)}. \quad (5)$$

Поверхности как овальных, так и гофрированных электродов задаются уравнением

$$\cos y = \frac{\operatorname{ch} x - \operatorname{sh}(x - x_1) \operatorname{sh} c}{\operatorname{ch} x_1}. \quad (6)$$

причем для первых $x_1 < c < c_0$, для вторых $c_0 < c$, где $c_0 = \operatorname{Arsh}(\exp(x_1))$. Распределения потенциала представлены соответственно на рис. 1, а, б.

По потенциалу (1) можно определить компоненты электрического поля ЭСО в произвольной точке.

Постоянная составляющая электрического поля равна

$$E_{x0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E_x dy = 2kA. \quad (7)$$

Вычисление амплитуд первых пространственных гармоник дает

$$E_{x1} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} E_x \cos y dy = -4kA \exp(-c) \operatorname{sh} x, \quad (8)$$

$$E_{y1} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} E_y \sin y dy = 4kA \exp(-c) \operatorname{ch} x. \quad (9)$$

Зависимости формфакторов ондуляторов $E_{x0}/(k\varphi_0)$, $E_{y1}/(k\varphi_0)$ в плоскости их симметрии (при $x=0$) от размеров электродов представлены на рис. 2. Максимальная напряженность электрического поля на электродах достигается в точке $(x_1, 0)$ и может быть вычислена аналитически.

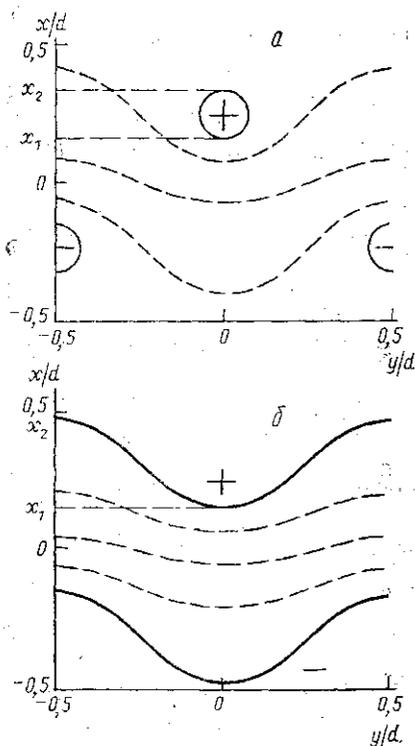


Рис. 1. Схемы и эквипотенциальные поверхности продольно-поперечных ЭСО с овальными (а) и гофрированными (б) электродами

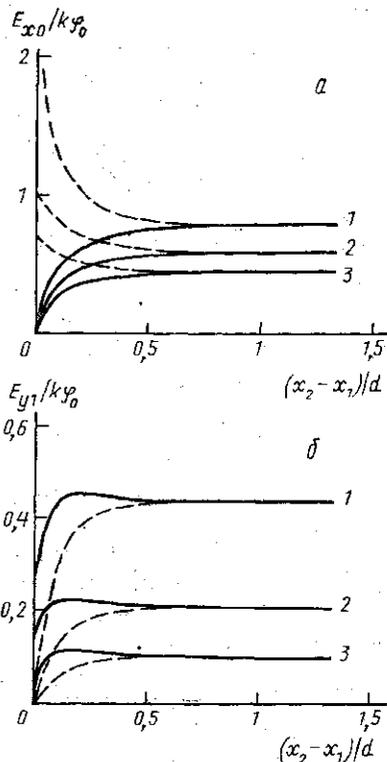


Рис. 2. Зависимость формфакторов $E_{x0}/(k\varphi_0)$ (а) и $E_{y1}/(k\varphi_0)$ (б) для овальных (сплошные кривые) и гофрированных (штриховые) электродов от их размеров: $kx_1=0,5$ (1), 1 (2) и 1,5 (3)

При подаче на электроды постоянного напряжения и транспортировке пучка в плоскости симметрии ондулятор является продольным, так как амплитуда первой пространственной гармоники поперечного электрического поля (8) при этом нулевая. Ондулятор может быть поперечным при использовании высокочастотного питания, когда накачка поперечных скоростей электронов осуществляется составляющей поля (7), что наиболее эффективно при совпадении частоты питания с циклотронной частотой электронов. Тогда продольная компонента поля (9) может использоваться для ускорения частиц.

Таким образом, изложенная методика позволяет рассчитать как распределения потенциала и напряженности электрического поля, так и необходимые для проектирования параметры продольно-поперечных ЭСО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А. Ф., Кубарев В. А., Луговской А. В. // Радиотехн. и электроника. 1992. 37, № 3. С. 535.
2. Александров А. Ф., Кубарев В. А., Черепенин В. А. // Там же. № 12. С. 2265.
3. Кузелев М. В., Рухадзе А. А. Электродинамика плотных электронных пучков в плазме. М., 1990.
4. Масунов Э. С. // ЖТФ. 1990. 60, № 8. С. 152.
5. Александров А. Ф., Кубарев В. А., Луговской А. В. // Радиотехн. и электроника. 1992. 37, № 4. С. 705.
6. Александров А. Ф., Кубарев В. А., Луговской А. В. // Там же. 1994. 39, № 5. С. 828.

Поступила в редакцию
25.03.96

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1996. № 4

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 539.293:537

ВЛИЯНИЕ АДСОРБЦИИ НА ПЕРЕНОС ЗАРЯДА В СИСТЕМЕ ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ — МЕТАЛЛ

В. М. Демидович, Г. Б. Демидович, С. Н. Козлов, С. П. Лунга, А. А. Петров
(кафедра общей физики и молекулярной электроники)

Изучено влияние адсорбции акцепторных и донорных молекул на вольт-амперные характеристики структур кремний — пористый кремний — металл. Показано, что изменение тока через структуру при адсорбционных воздействиях может достигать десятков и сотен процентов. Обнаружено, что знак адсорбционного эффекта определяется квазиобъемным молекулярным «легированием» пористого кремния в процессе адсорбции.

Введение

В последние годы пористый кремний стал объектом пристального внимания исследователей, в основном из-за перспектив использования его в оптоэлектронике [1, 2]. Однако электрофизические свойства пористого кремния и влияние на них адсорбции молекул обсуждались лишь в небольшом количестве работ (см., напр., [3—7]). В то же время его большая удельная поверхность и возможность варьировать размеры пор привлекают внимание к пористому кремнию как основе для химических сенсоров.

В данной работе изучено влияние тестовых акцепторных и донорных молекул на вольт-амперные характеристики системы кристаллический кремний — пористый кремний — металл.

Эксперимент

Слой пористого кремния толщиной 7 ± 1 мкм получали на поверхности монокристаллического кремния (*p*-тип, 12 Ом·см) анодирова-