

МОДЕЛЮВАННЯ УМОВ ЩОДО ДИСТАНЦІЙНОГО СТВОРЕННЯ ТИМЧАСОВОЇ ОБЛАСТІ ЛОКАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ У НЕМЕТАЛІЧНИХ РЕЧОВИН

Анотація: Пояснюється фізична суть та дається математичне обґрунтування процесу частотного резонансу, що протікає при опромінюванні радіопоглинаючого матеріалу надвисокочастотним електромагнітним сигналом, а також ефекту підсилення та згасання сигналу збудження.

Ключові слова: електропровідність, радіопоглинаюче покриття, радіолокаційна інформація, резонанс, сигнал.

Вступ

Сучасна техніка створюється з використанням неметалічних матеріалів у своїй конструкції. Це зрозуміло за рядом причин, основною з яких є кращі характеристики речовин, що використовуються. Існуючі підходи щодо отримання радіолокаційної інформації про такі об'єкти є непідходящими оскільки вони засновані на використанні ефектів, що протікають в металах під час їх опромінення електромагнітним НВЧ полем. Тому актуальним є завдання створення умов щодо дистанційної тимчасової зміни провідних властивостей для використання викликаних ефектів у існуючих способах радіолокації.

Метою дослідження є пошук підходів щодо створення штучної провідності у неметалічних матеріалах засобом резонансного впливу НВЧ поля на елементи кристалічної структури діелектрика (напівпровідника).

Наукове завдання, яке розглядається у роботі, присвячене розрахунку кількісних показників, що характеризують можливість зміни електропровідних властивостей діелектрика вуглецевого типу на відстані практичного застосування існуючих радіолокаційних систем.

Основна частина

Важливою обставиною, яка сприяє створенню локальної провідності, є наявність в атомів у зоні провідності електронів, що характерно для провідників. У напівпровідників і діелектриків зона провідності і валентна зона розділені забороненими зонами. Так у вуглецю, який широко застосовується у радіотехніці, ширина забороненої зони складає 5, 4eV [1]. Якщо припустити, що за певних умов, електрони з валентної зони атома вуглецю будуть переміщені

до зони провідності, то зазначена речовина буде виявляти властивості провідника. Це дасть змогу змінити погляди на застосування вуглецю, його з'єднань та інших діелектричних та напівпровідникових матеріалів у радіолокаційній техніці.

Як відомо, перехід електронів у зону провідності відбувається у збудженому стані атома [2]. Збудження атома можливо здійснити за умови впливу на нього зовнішнього електромагнітного поля великої потужності. Потрібна потужність поля опромінення P для переведення одного електрона з валентної зони у зону провідності визначається залежністю [3].

$$P = \frac{w}{\tau}, \quad (1)$$

де w – ширина забороненої зони (для діелектриків $> 2eB$);
 τ – час знаходження електрона у зоні провідності збудженого атома ($\tau = 0.00001$ с).

Для сажі, основу якої становить вуглець, потрібна потужність складає $8,64 \times 10^{-13}$ Вт. Враховуючи закон Авогадро, створення локальної зони провідності у діелектриків і напівпровідників потребує потужності опромінюючого поля від 10^2 до 10^4 Вт, що не має практичного змісту. Але, якщо зважити на те, що передача енергії для збудження атома буде відбуватися за умови досягнення частотного та фазового резонансу (коливань) зовнішнього джерела електромагнітного опромінення і власних коливань атома, тоді енергетичні затрати суттєво зменшуються.

Як свідчить практика [4], типова обзорна РЛС (з параметрами випромінювання: $P_u = 0,5$ МВт (імпульсна потужність), $\omega_n = 12$ ГГц (несуча частота), $\tau_u = 0,5$ мкс (тривалість імпульсу)) створює амплітуду коливань на частоті резонансної взаємодії з діелектриком типу сажка $U_k = 0,975$ В. Амплітуда коливань сигналу опромінення на частоті резонансної взаємодії з атомом вуглецю визначається потужною залежністю:

$$U_k = 2U_n \omega_n \tau_u \left| \frac{\sin\left(\frac{\omega_k}{2} \tau_u\right)}{\frac{\omega_k}{2} \tau_u} \right|, \quad (2)$$

де U_n – амплітуда сигналу опромінення на несучій частоті ω_n ;
 ω_k – частота гармоніки спектру амплітуд сигналу опромінення (визначається частотою власних коливань атома вуглецю з довжиною хвилі 4700 \AA).

Відповідно потужність сигналу опромінення на робочій дальності станції $D = 100$ км, яка визначається залежністю (3), складе $P = 2,5 \times 10^{-16}$ Вт при вихідному значенні $P = 0,94$ Вт.

$$P = \frac{2P_1 G \sigma}{(4\pi D^2)^2}, \quad (3)$$

де G – коефіцієнт підключення антени РЛС;
 σ – площа поверхні діелектрика (напівпровідника).

Якщо припустити, що на деякій відстані відбувається співпадання по фазі та частоті або їх різниця є ціла постійна величина сигналу опромінення та коливань атомів діелектрика (напівпровідника), то таку взаємодію слід розглядати як когерентну. При цьому відбувається збудження атома за рахунок передачі енергії поля опромінення зовнішнього джерела. У цьому випадку електрони з валентної зони переходять до зони провідності, що супроводжується випромінюванням радіохвилі. Тривалість випромінювання визначається часом надходження електронів у забороненій зоні після виведення атома із стану рівноваги і дорівнює $0,5 - 1$ мкс [4]. Результуюча енергія електромагнітного поля випромінювання визначається залежністю:

$$E_p = \sqrt{E_e^2 + E_{U_k} + 2E_e E_{U_k} \cos \Delta\varphi} \quad (4)$$

де E_e – енергія електрона;
 E_{U_k} – енергія сигналу опромінення на частоті резонансної взаємодії;
 $\Delta\varphi$ – різниця фаз взаємодіючих коливань.

Нескладні розрахунки показують, що на дальності 100 км при опроміненні зразка діелектрика на вуглецевій основі електромагнітним полем із характеристиками, які зазначаються на початку потужність зворотної радіохвилі становитиме $1,602 \times 10^{-7}$ Вт.

Окрім зазначеного ефекту під дією резонансного опромінення буде утворюватися локальна область провідності з часом існування до 1 мкс. Наявність цієї області пояснюється сходом електронів в зону провідності: тобто виникає електричний пробій діелектрика (напівпровідника). Тобто під час пробою можливе наведення на площі поверхні діелектрика вторинного електромагнітного поля НВЧ і супутнє віддзеркалення радіохвилі з довільною несучою частотою.

Зважаючи на вищевикладене, практичний інтерес викликає можливість визначення площі області локальної провідності діелектрика (напівпровідника) під час опромінення резонансним електромагнітним НВЧ полем. Для цього необхідно визначити інтенсивність резонансного радіовипромінювання матеріалу за формулою

$$I = \frac{\rho V U^2}{2}, \quad (5)$$

де ρ – густина матеріалу; V – швидкість радіохвилі; U – амплітуда коливань атома.

У випадку, що розглядається, інтенсивність радіовипромінювання діелектрика вуглецевого типу у збудженому стані складає $16,2 \times 10^{-15}$ Вт \times м³.

Якщо використати відому формулу [3],

$$S = \frac{E}{I}, \quad (6)$$

де S – площа зразка матеріалу; I – інтенсивність радіовипромінювання; E – енергія радіовипромінювання, то можливо стверджувати, що на практичній дальності роботи РЛС 100км можливо створити на поверхні діелектричного покриття вуглецевого типу локальну область провідності площею $0,101\text{м}^2$.

Зазначений підхід щодо дистанційного керування станом діелектричних та напівпровідникових матеріалів має практичну значимість, оскільки розширює можливості локації літальних апаратів, морських та наземних об'єктів у конструкції яких все ширше використовуються неметали.

Висновки

У статті наведені науково-обґрунтовані припущення щодо можливості дистанційного керування провідними властивостями діелектрика (напівпровідника) під дією резонансного електромагнітного НВЧ поля опромінення.

Нескладні розрахунки дозволяють отримати достатні з практичної точки зору результати щодо утворення площі резонансного збудження та локальної провідності зразка діелектрика вуглецевого типу. Наведені розрахунки показують, що ця площа складає $\approx 0,1\text{м}^2$, тобто достатня для наведення вторинного НВЧ поля і оброблення як сигналу збудження, так і сигналу віддзеркалення у існуючих приймальних системах з чутливістю $\geq 10^{-13}$ Вт.

Останні досягнення у галузі технології створення елементної бази радіоапаратури дозволяють виготовляти потужні і водночас малогабаритні передавачі. За цих обставин підвищення потужності сигналу опромінення на 20 – 30% дозволить в 10 разів збільшити площу локальної області провідності діелектрика, що забезпечить спрощення технічної реалізації способу локації об'єктів, конструкція яких містить більше 10% неметалічних речовин.

Бібліографічний список

1. Несветей Э.А. Специальные вопросы радиоэлектроники/ Киев, ВА ПВО СВ, 1990. - 424 с.
2. Кошкин Н.И. Элементарная физика /М., “Наука”, 1991.- 240 с.
3. Бескравный А.М. Основы построения средств радиолокационной разведки./ Киев, НТУУ “КПИ”, 1998.- 166 с.
4. Маккола Р. Справочник по системотехнике / М., “Советское радио”, 1970, 688 с.
5. Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация / М. “Радио и связь”, 1984, 312 с.

Отримано 20.02.2013